

Diseño de un sistema de control gerencial de plantas avícolas utilizando redes de sensores inalámbricos con tecnología Open Hardware

Fabián, Vásconez-Barrera¹; Fernando, Molina-Granja²

Resumen

Se presenta el diseño del control automatizado de una planta avícola utilizando tecnología Open Hardware Arduino y cómo fue implementado en la Planta Académica Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador, además, de qué manera se acopla una tarjeta microcontroladora a otra diseñada para la conexión de los sensores y actuadores. Los sensores se seleccionaron en base a las características técnicas del proceso de crianza de pollos de engorde, utilizados para medir temperatura, humedad, intensidad de luz, amoníaco, monóxido de carbono y gases inflamables. Según el presente estudio, este módulo debe colocarse a una altura entre 0,80 y 1,5 m. y fuera de influencia directa de calefactores o ventiladores, de esta forma, se optimiza el envío de mediciones de manera inalámbrica, utilizando protocolo ZigBee a un computador que, mediante software desarrollado, las compara con parámetros considerados normales. También se desarrolló una aplicación web e implementó, para el monitoreo y control desde cualquier lugar. Utilizando este sistema se obtuvo una tasa de mortalidad de 0,2% y promedios de ganancia de peso superiores a 2600 g., lo que justifica el proyecto y es una opción a considerar por las avícolas, debido al ahorro de recursos obtenido.

Palabras Clave: Arduino; monitoreo; open hardware; planta avícola; protocolo ZigBee; redes de sensores inalámbricos; sensores.

Design of a management control system for poultry plants using wireless sensor networks with Open Hardware technology

Abstract

The design of the automated control of a poultry plant using Open Hardware Arduino technology and how it was implemented in the Poultry Academic Plant of the Faculty of Animal Sciences of the Polytechnic School of Chimborazo, Ecuador is presented. Microcontroller to another designed for the connection of sensors and actuators is also illustrated. The sensors were selected based on the technical characteristics of broilers breeding process, used to measure temperature, humidity, light intensity, ammonia, carbon monoxide and flammable gases. According to the present study, this module should be placed at a height between 0.80 and 1.5 m. and out of direct influence of heaters or fans, this way; it is optimized to send measurements wirelessly, using ZigBee protocol to a computer that, using developed software, compares them with parameters considered normal. It was also developed a web application and implemented, for monitoring and control from anywhere. Using this system, a mortality rate of 0.2% and weight gain averages above 2600 g were obtained, which justifies the project and is an option to be considered by poultry, due to the savings of resources obtained.

Keywords: Arduino; monitoring; open hardware; poultry plant; ZigBee protocol; wireless sensor networks; sensors.

Recibido: 11 de enero de 2016
Aceptado: 22 de septiembre de 2016

¹Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Docente Ocasional, Panamericana Sur Km. 1 ½, Ecuador, Teléfono: +593 3 2998200. Máster en Gerencia Informática. fvasconez@esPOCH.edu.ec

² Universidad Nacional de Chimborazo, Ecuador. Docente titular. Campus Norte "Ms. Edison Riera R." Avda. Sucre, Km. 1 1/2 Vía a Guano, Teléfonos: (593) 3 3730880. Master en Informática Aplicada, Cursando PhD en Informática y Sistemas. fmolina@unach.edu.ec

I. INTRODUCCIÓN

Las plantas avícolas que se han establecido en el país en su mayoría son de tipo artesanal, sin las instalaciones adecuadas para realizar un control apropiado del crecimiento de pollos de engorde, en cuanto a factores como temperatura, humedad relativa o gases tóxicos. En el presente proyecto se presenta el diseño de una solución que permite realizar el control de una planta avícola ubicada en la Facultad de Ciencia Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), utilizando tecnología que requiere bajo presupuesto y minimiza la utilización de energía.

Para llevar a cabo este fin se investigó sobre tecnología Open Hardware y seleccionó la plataforma Arduino, se determinaron los sensores a formar parte del módulo electrónico, así como la placa microcontroladora, los dispositivos de transferencia inalámbrica, entre otras partes que se acoplan, y programan para que ejecute el control deseado. De igual manera se realizaron pruebas para encontrar el lugar idóneo para la instalación del módulo y desarrollaron dos aplicaciones de software para utilizar los datos medidos por los sensores.

Una aplicación local permite recoger los datos suministrados por el módulo de sensores, utiliza la información que se procesa para tener medidas reales y las guarda en una base de datos, esta información es comunicada a los actuadores, que son dispositivos electrónicos que reciben una orden del microcontrolador y permiten, a través de la aplicación, activar o desactivar aparatos eléctricos que pueden controlar el microclima del lugar de crianza, por ejemplo, un ventilador o un calefactor.

La otra aplicación se ejecuta en un navegador en la que el técnico, al inicio del proceso de crianza de una parvada, debe ingresar datos sobre el proyecto, el galpón asignado y los parámetros normales sobre los que se va a trabajar en las variables determinadas. De esta forma se puede revisar la situación de las variables al comparar las medidas en tiempo real con las consideradas normales que se encuentran guardadas en la base de datos, e indica si todo está normal o hay algún problema. Además, la aplicación web permite generar diversos reportes que ayudan a tomar decisiones inherentes al proceso de crianza.

Este proyecto trabaja con leds que se encienden o apagan simulando los equipos eléctricos, pues aún no se trabaja en el país con calefactores a electricidad y sólo se lo hace con calefactores a gas. Finalmente, se prueba

también que los resultados esperados como bajar la tasa de mortalidad o mejorar el peso final se cumplan, a pesar de ser un prototipo y que los galpones no cumplen las recomendaciones técnicas requeridas para que el control sea óptimo.

Este artículo está organizado en una primera parte introductoria, una conceptualización de aspectos fundamentales para el desarrollo de esta investigación, la metodología aplicada, un análisis de los resultados obtenidos y finalmente conclusiones y referencias bibliográficas.

II. DESARROLLO

1. Conceptualización

Se coincide en que “el avance exponencial de las Tecnologías de la Información y Comunicación, en adelante TIC, en los patrones de comportamiento, hábitos de consumo de los ciudadanos y políticas públicas, genera una oportunidad de crecimiento económico e inclusión social para los países de la región, donde el conocimiento en base a la información se fortalece como el eje transversal de desarrollo, bienestar, progreso, institucionalidad y democracia”. (Barragán-Martínez & Guevara-Viejó, 2016). Fundamental el desarrollo, desde sus inicios, de las tecnologías de información y comunicación. (Díaz-Córdova, Cobo-Molina, & Bombón-Mayorga, 2016). Ya en el contexto específico de este trabajo, para un mejor entendimiento, se deben conocer conceptos básicos de los aspectos que manejará el sistema de control gerencial de plantas avícolas, utilizando redes de sensores inalámbricos con tecnología open hardware:

1.1 Control del medio ambiente. La temperatura y la humedad relativa se deben monitorear regularmente, por lo menos dos veces al día durante los primeros cinco días y, después, una vez al día. Para ello, han de usarse termómetros convencionales a fin de supervisar la precisión de los sensores electrónicos que controlan los sistemas automáticos. (Aviagen, 2013)

1.2 Temperatura. Cuando la crianza se realiza en un área limitada, se crea un gradiente de temperaturas. El calor se proporciona utilizando criadoras convencionales de campana. La Tabla 1 contiene una guía de las temperaturas que se requieren, cuando la crianza se realiza en un área limitada del galpón. (Aviagen, 2013)

Tabla 1. Temperaturas durante el proceso de crianza

Edad (días)	Temperatura (°C)
1	29
3	28
6	27
9	26
12	25
15	24
18	23
21	22
24	21
27	20

Fuente: Manual de Manejo de Pollos de Engorde. Empresa Aviagen

1.3 Humedad relativa. La humedad relativa en la incubadora y al final del proceso de incubación debe ser elevada (80% aproximadamente). Los sistemas en los que se calienta todo el galpón, particularmente si cuentan con bebederos de niple (tetina o chupón) pueden tener niveles de humedad relativa de tan solo 25%. Si el equipo es más convencional generan niveles más elevados de humedad relativa, por lo general rebasando el 50%. Con el objeto de reducir el impacto que sufre el pollo después de sacarlo de la incubadora, los niveles de humedad relativa durante los primeros 3 días deben ser del 70% aproximadamente. Conforme crece el pollito, el nivel ideal de humedad relativa disminuye.

El exceso de humedad relativa de los 18 días en adelante, puede causar cama húmeda y todos los problemas con ella asociados. Conforme se incrementa el peso corporal de los pollos, se pueden controlar los niveles de humedad relativa usando los sistemas de ventilación y calefacción.

Cuando se eleva la humedad relativa, disminuye la pérdida evaporativa de calor y esto aumenta la temperatura aparente de los animales. La temperatura que siente un animal depende de la combinación de la temperatura de bulbo seco y de la humedad relativa. La humedad relativa elevada aumenta la temperatura aparente ante una misma temperatura de bulbo seco, mientras que al reducirse la humedad relativa disminuye también la temperatura aparente. La Tabla 2 predice la temperatura de bulbo seco que se requiere para lograr el perfil deseado de temperatura, ante diferentes niveles de humedad relativa. La información que se presenta en la Tabla 2 se puede

usar en situaciones en las que la humedad relativa varía a partir del rango objetivo (del 60 al 70%).

Tabla 2. Temperaturas ante Niveles de Humedad Relativa

Edad (días)	Ideal			
	50%	60%	70%	80%
0	33.0	30.5	28.6	27.0
3	32.0	29.5	27.6	26.0
6	31.0	28.5	26.6	25.0
9	29.7	27.5	25.6	24.0
12	27.2	25.0	23.8	22.5
15	26.2	24.0	22.5	21.0
18	25.0	23.0	21.5	20.0
21	24.0	22.0	20.5	19.0
24	23.0	21.0	19.5	18.0
27	23.0	21.0	19.5	18.0

Fuente: Manual de Manejo de Pollos de Engorde. Empresa Aviagen.

Si la humedad relativa está fuera del rango meta, la temperatura del galpón al nivel de los pollitos se deberá ajustar a los niveles indicados en la Tabla 2. En todas las etapas es necesario supervisar la conducta de los animales, para asegurar que éstos experimentan una temperatura adecuada. Si el comportamiento subsecuente de los animales indica que tienen demasiado frío o demasiado calor, será necesario hacer los ajustes apropiados en el galpón.

1.4 Ventilación. La calidad del aire es un factor crítico durante el período de crianza. Se requiere usar la ventilación durante este tiempo, para mantener la temperatura y la humedad relativa en los niveles correctos, permitiendo suficiente recambio de aire para impedir la acumulación de gases nocivos como, monóxido de carbono, bióxido de carbono y amoníaco. Una buena práctica es establecer una tasa mínima de ventilación desde el primer día de vida, lo cual asegura el aporte de aire fresco para los pollitos, a intervalos frecuentes.

1.5 Iluminación. El sistema que han utilizado convencionalmente los productores de pollo ha sido el de luz continua, con el objeto de elevar al máximo la ganancia diaria de peso. Después se debe reducir gradualmente la intensidad de la luz de tal manera que hacia los 21 días se encuentre alrededor de los 10 lux. (Aviagen, 2013)

1.6 Calidad del aire. A medida que crecen los pollos consumen oxígeno y producen gases de desecho. Así mismo la combustión de las criadoras contribuye a generar gases nocivos en el galpón. Por lo tanto, el sistema de ventilación debe eliminar estos gases de desecho del galpón y proporcionar aire de buena calidad. (Aviagen, 2013)

1.7 Open Hardware. El software libre (Free Software Foundation) ofrece al usuario cuatro libertades: libertad de uso, de estudio y modificación, de distribución, y de redistribución de las mejoras. Existen licencias que las garantizan y que dan una cobertura legal, como por ejemplo la GPL (Licencia Pública GNU). El hardware abierto o libre toma estas mismas ideas para aplicarlas en su campo. Sin embargo su empleo no es tan directo. La filosofía del software libre es aplicable a la del hardware libre y forma parte de la cultura libre. En este contexto se inserta OSHD (Open Source Hardware) que no es una licencia sino una colección de principios que ayudan a identificar como open source a un producto. (Open Source Hardware Association, 2012)

1.8 Arduino. Arduino es una plataforma de tipo electrónico de código abierto, conocida también como open source, basada en hardware y software flexibles y fáciles de usar. (Arduino, 2016). Su objetivo se inició con fines didácticos, la idea era tener hardware listo para armar, no perder tiempo y preocuparse de programarlo para desarrollos específicos. (Pérea, 2015). Debido a su asequibilidad, el microcontrolador Arduino ofrece una oportunidad para las instituciones educativas con pequeños presupuestos, que buscan establecer laboratorios de animales para fines de investigación y enseñanza. (Pineño, 2014)

1.9 Red de sensores inalámbricos. Una red de sensores inalámbricos o WSN (Wireless Sensors Networks) son una gran cantidad de dispositivos pequeños, con independencia de uso y distribución física, denominados nodos de sensores, instalados en las inmediaciones de un fenómeno para ser monitoreado, almacenar y transmitir datos en una red, inalámbricamente (Akyildiz & Can Vuran, 2010) (Archila & Santamaría, 2013). Los recientes avances en las redes de sensores inalámbricos han llevado a muchos nuevos protocolos específicamente diseñados para redes de sensores, donde la

conciencia de la energía es una consideración esencial (Akkaya & Younis, 2005).

Las WSN son un concepto novel en adquisición y procesamiento de datos, que se utilizan en un sinnúmero de aplicaciones en áreas tales como, entornos industriales, domótica, entornos militares, y detección ambiental. (Gaura, Girod, Busey, Allen, & Challen, 2010). La selección de sensores y su utilización efectiva para resolver problemas del dominio agrícola, ha sido una tarea ardua para los usuarios principiantes, debido a la falta de información conglomerada en la literatura. (Abbasi, 2014)

1.10 Protocolos de comunicación inalámbrica. Los protocolos de comunicación inalámbrica se han venido desarrollando en los últimos años, permitiendo la evolución de la tecnología de redes de sensores inalámbricos. Entre los estándares más utilizados y comercializados para esta tecnología se encuentran, el IEEE 802.15.1 Bluetooth y el IEEE 802.15.4 ZigBee.

Se pretende facilitar las comunicaciones entre equipos móviles y fijos, eliminar los cables y conectores entre éstos, ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales. (Labiod, Hossam, & Santis, 2014). En cambio, ZigBee hace prácticamente lo mismo, pero minimizando el tiempo de actividad de la radio para evitar el consumo de energía. (Wang, Jiang, & Zhang, 2014)

Para decidir cuál protocolo utilizar se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Una red ZigBee puede constar de hasta 65535 nodos, distribuidos en subredes de 255 nodos, Bluetooth trabaja con máximo 8 nodos en una subred.
- Bluetooth tiene un mayor consumo de electricidad que ZigBee. Esta última consume 30mA transmitiendo y 3uA en reposo, comparado a los 40mA en transmisión y 0,2mA en reposo de Bluetooth, esto porque ZigBee permanece casi siempre en letargo mientras Bluetooth permanece transmitiendo y/o recibiendo.
- ZigBee tiene una velocidad de transmisión de hasta 250 kbps, Bluetooth transmite hasta 1 Mbps. (Ballesteros & Chaparro, 2008)

2. Metodología

Un control automatizado como el requerido en este trabajo demanda elementos electrónicos que obtengan datos, para luego ser utilizados por una aplicación informática, con la intención de procesarlos y entregar información que permita tomar acciones. La solución requiere que se utilice tecnología barata, de bajo consumo energético, de tamaño pequeño y permita medir varias variables, diferenciándose de soluciones adoptadas por avícolas privadas y de envergadura, en el costo de la solución. Es decir, mientras estas empresas invierten varios miles de dólares, la solución propuesta debe tener un costo asequible a avícolas artesanales, cuyos propietarios no tienen el poder adquisitivo de grandes compañías.

Como inicio, se elabora una placa conocida como Shield, la cual se conecta a la microcontroladora y permite acoplar los sensores, que realiza la conexión de un módulo de transmisión de datos de tecnología ZigBee, conectada inalámbricamente a un módulo igual enchufado al CPU ubicado en la oficina del Plantel Avícola (Schwartz, 2014). Luego se conectan los actuadores que permiten el control de encendido y apagado de aparatos eléctricos, aunque los mismos son simulados en este trabajo a través de una pantalla led donde se puedan ver las mediciones in situ. Todo lo especificado forma en conjunto un nodo que es capaz de enviar inalámbricamente la información de cada sensor para ser almacenada en una base de datos para su análisis. Las partes que componen el módulo Arduino para este estudio son : a) Sensor de Temperatura / Humedad Relativa, b) Sensor de Intensidad de Luz, c) Sensor de Amoníaco, d) Sensor de Monóxido de Carbono, e) Sensor de Gases Inflamables, f) Actuadores, g) Pantalla Led, h) Placa Shield, i) Microcontroladora Arduino Uno, y j) Módulo ZigBee

En cuanto al software desarrollado, consta de una aplicación de escritorio que el encargado del plantel avícola debe utilizar, para ingresar datos necesarios, tanto para determinar la parvada que ingresa al galpón designado, así como los parámetros en los cuales se basará la aplicación para controlar las variables a medir. En este punto, se debe aclarar que ningún proceso de crecimiento de pollos de engorde se puede basar en los mismos parámetros, pues son muchos los factores que influyen en un óptimo

desarrollo de las aves y que hacen la diferencia. Por ejemplo, las parvadas pueden ser de diferentes líneas genéticas (Ross, como en este estudio, Cobb, etc.), llegar en diferentes días desde su nacimiento, en diferentes épocas del año, entre otras que inciden en la determinación de los parámetros a determinar.

Ajustados los valores de inicio, que pueden cambiarse si se modifican ciertas condiciones, se empieza la recolección de los datos que envían los sensores, los mismos son almacenados en PostgreSQL, Sistema Gestor de Base de Datos de código abierto, para seguir la línea del proyecto. De igual manera, se utiliza el entorno de desarrollo integrado (IDE) de código libre llamado NetBeans, hecho para el lenguaje de programación Java principalmente, el cual es libre, gratuito y sin restricción de uso. En esta herramienta se desarrolla la aplicación Web que tiene pantallas, tanto para resumir datos y graficarlos, como también la aplicación de escritorio encargada de generar las alarmas cuando una variable pasa de los parámetros establecidos (en mayor o menor de ser el caso), haciendo que se activen los actuadores y simulando el encendido o apagado de un ventilador o de un calefactor, dependiendo del asunto.

Por ejemplo, si las medidas de los gases tóxicos sobrepasan las partes por millón determinadas como máximas, entonces se activa una alarma y automáticamente se simula el encendido del ventilador para que se evacúen esos gases nocivos, y del calefactor para que no se enfríe el microclima, en la programación también se toma en cuenta la acción de persianas para que circule aire limpio. Cuando se consigan estos aparatos simplemente se conectan los actuadores o relés electrónicos y se podrá controlar automáticamente o de forma manual, desde la aplicación web y cualquier lugar del planeta.

Además, los datos almacenados durante el proceso de crecimiento y engorde son comparados con métodos manuales anteriores o con nuevos controles automatizados para medir la eficiencia del control. Este es básicamente el mecanismo que se utiliza para obtener la información, procesarla, presentarla a los técnicos o avicultores, así como, en última instancia, poder controlar los actuadores mediante las variables.

2.1 Electrónica. - Se trabaja sobre tecnología Open Hardware y plataforma Arduino. (El Emary

& Ramakrishnan, 2013), tarjeta microcontroladora Arduino Uno R3 (Revisión 3) con controlador ATmega328 y 32Kb de memoria. Así mismo se utilizan sensores DHT11 (Temperatura y Humedad Relativa) que son de tipo digital, sensor de luz o fotocelda, sensor de Metano MQ-2, sensor de Monóxido de Carbono MQ-9 y Sensor de Amoníaco MQ-135. Todos los determinados son sensores análogos excepto el primero.

Se diseña una placa tipo accesorio denominada Shield, que se conecta directamente a la placa Arduino y sirve para conectar los sensores y la pantalla LCD. Esta Tarjeta de Circuito Impreso (PCB), consta de las partes electrónicas necesarias para la conexión de los sensores en esa sola placa y se hizo a medida de la solución, con asesoría electrónica de la empresa que proporciona las piezas. De igual manera se adiciona un módulo Arduino XBee que utiliza el protocolo de

comunicación inalámbrica ZigBee. Hecho esto, se procede a programar la electrónica para que arroje datos entendibles tanto a la pantalla LCD, como para que se puedan ver y utilizar en la computadora. Como parte de la electrónica, se utiliza la versión 8.2.22067 del software Proteus, definido como una compilación de programas de diseño y simulación electrónica que actúa como un simulador para facilitar el diseño de PCBs. Proteus permite el diseño tanto a nivel hardware como software y realiza la simulación en un mismo y único entorno (García Breijo, 2009).

El nodo Arduino se encuentra a unos 40 metros de la oficina donde se halla el computador que recibe los datos sin mayores obstáculos entre los dos puntos, donde se realiza el estudio a una parvada de 200 pollos de engorde de línea genética Ross, durante 56 días. Ver Figura 1.

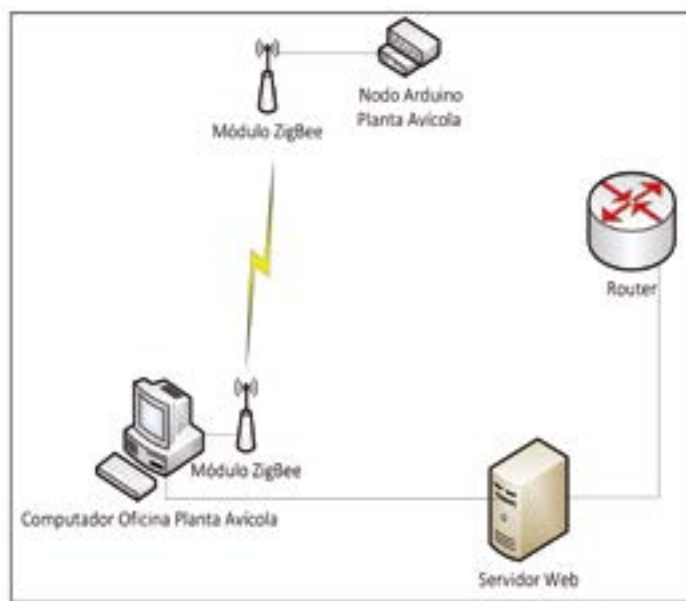


Figura 1. Esquema de Conexiones Hardware
Fuente: Los autores

2.2 Software. - Se utiliza la metodología Scrum (Kniberg, 2007), conocida por su forma ágil de gestionar proyectos. Es una estrategia de desarrollo incremental en la que no se piensa en el producto terminado, sino en la calidad de ese producto, Scrum se interesa en el conocimiento de grupos que se auto organizan antes que en la calidad de los procesos. Además, se pueden solapar las fases del desarrollo y no hacerlas secuencialmente o en cascada.

(Scrum). Así mismo se divide en períodos de tiempo denominados sprint, de entre una y cuatro semanas.

Al obtener los datos de los sensores por medio del módulo ZigBee, la librería rxtx en conjunto con la librería Arduino, permiten leer los datos en el IDE NetBeans, de la cadena obtenida de la librería Arduino. Posteriormente se clasifican los datos asignando los valores para cada

sensor y éstos se monitorean en la interfaz

llamada ventana control, la cual muestra los datos de los sensores provenientes del nodo Arduino y los datos de la tabla control, con los que se comparan y emiten mensajes de acuerdo a las reglas establecidas para cada sensor. De acuerdo a estas reglas se dan las

acciones de apagado o encendido del calefactor, del ventilador, y se efectúa un aviso de abrir o cerrar las persianas. Cabe resaltar, que este software también cuenta con un modo manual de encendido y apagado, en el caso de que falle el control automático.

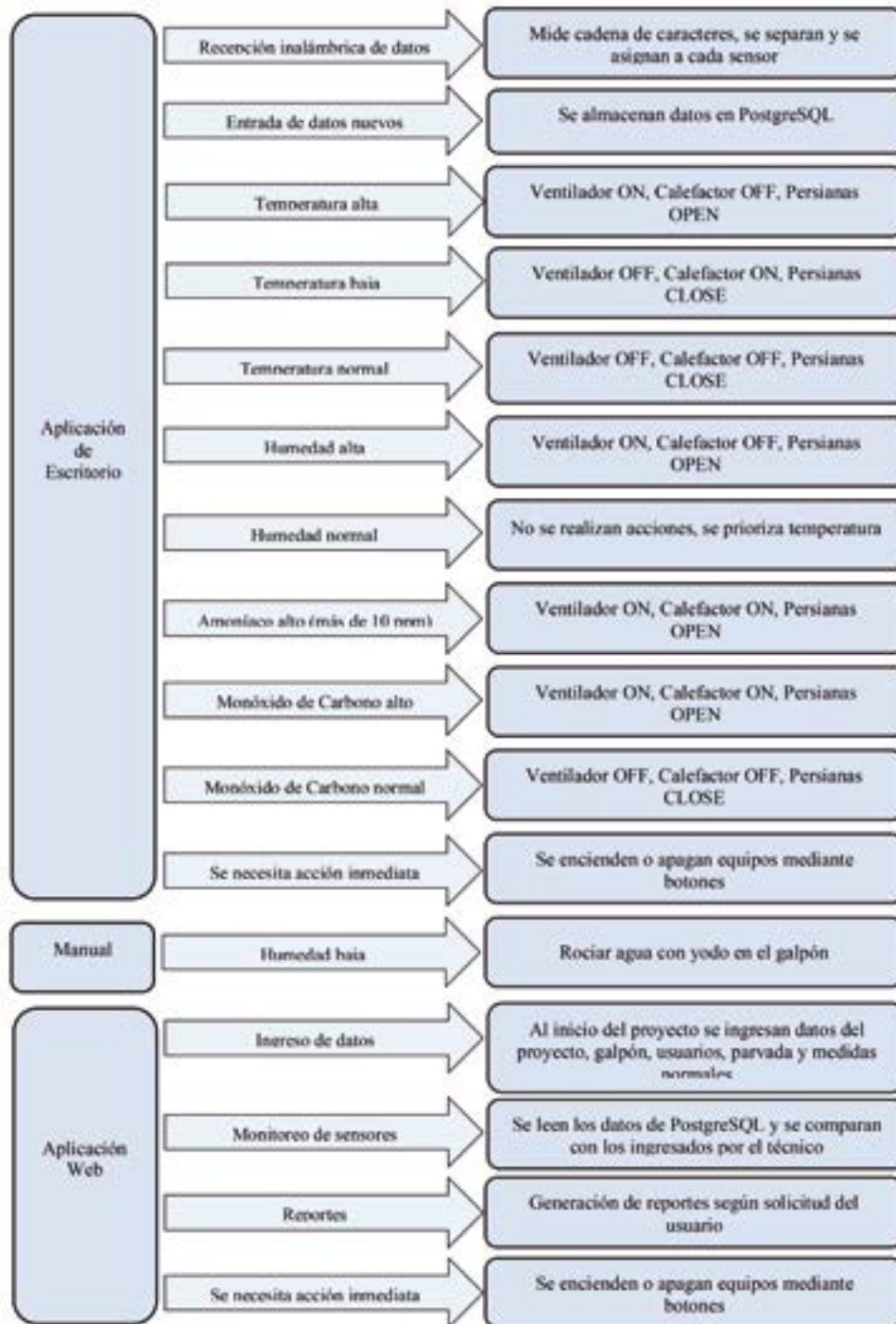


Figura 2. Lógica de funcionamiento del Software

Una vez implementado el software descrito se realizó el trabajo de campo, en el que se puso en funcionamiento lo desarrollado. Se construyó un galpón adaptado para el crecimiento de 200 pollos de engorde de la línea Ross 308, los cuales sirvieron de investigación para un proyecto de titulación de pregrado, donde se probaba un simbiótico formulado a base de jugo de caña, yogurt natural y suero de leche en la alimentación de la parvada, como se muestra a continuación en las Figuras 3 y 4.

Acabado el proceso de engorde de la parvada, el software permitirá consultar los datos para realizar una comparación de resultados en lo referente al peso que obtuvieron los pollos y la mortalidad, para cotejar con estudios anteriores, realizados con control manual, en los mismos galpones, expuestos en tesis

de pregrado de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH, y determinar si se mejoraron los resultados con el control automatizado.

En relación a la aplicación web, ésta contiene interfaces que permiten la introducción de los datos y parámetros iniciales, por parte de los técnicos y al analizar diversos factores pueden modificarse para que las medidas se comparen con parámetros que representen la realidad del momento. Además, en esta aplicación se obtienen reportes sobre las medidas arrojadas por cada sensor y permite encender o apagar manualmente los aparatos eléctricos, en caso que el modo automático no funcione por algún motivo. En las Figuras 5 y 6 se presentan ventanas de la aplicación web.



Figura 3. Galpón
Fuente: Los autores



Figura 4. Nodo en funcionamiento en galpón
Fuente: Los autores

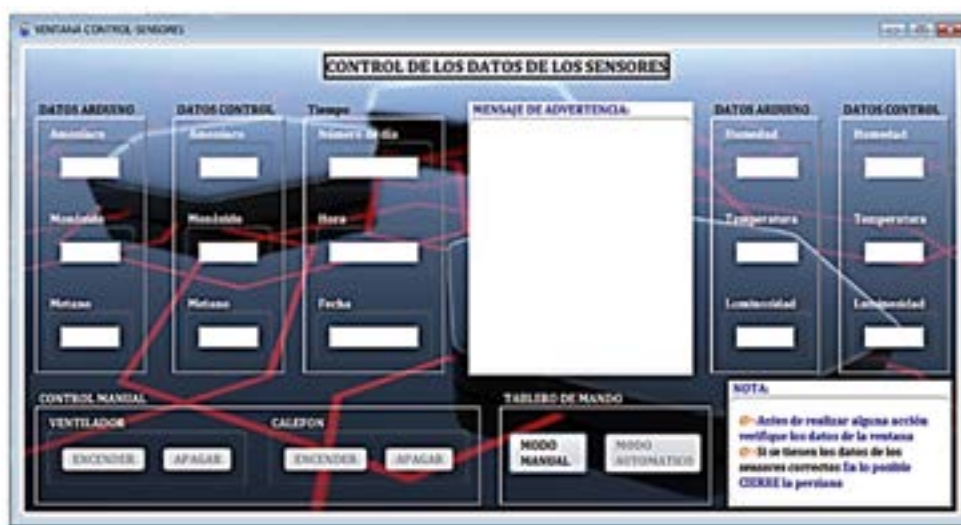


Figura 5. Ventana Control
Fuente: Los autores

Nombre	# pollos inicio	# pollos fin	Peso inicio	Peso fin	Dimensión	Observaciones	Estado
probando modificación	200	0	500.5		56'56		O
Ingresando desde la pagina	200	0	500.5		56'56		O
galponmod	200	0	56.0		12'12	Cambio letra	O
galponingreso	200	0	56.0		12'12		O
galponmod	200	0	56.0		12'12	Cambio letra	O
galpon prueba funciónsdif	200	0	20.30		30'30		O
galpon prueba función	200	0	20.30		30'30		O
galpon prueba función	200	0	20.30		30'30		O
Test	400	5000	40000	---	---	---	O
Espoch-Risamba-Pecuarías	500	8000	7000	---	80X30	---	O
#3	400	300	700.00	---	40X40	---	O
#4	300	300	900.00	---	30X30	---	R

Figura 6. Ventana Administración de Galpones
Fuente: Los autores

3. Resultados

3.1. Evaluación preliminar

Para saber el impacto del proyecto se realizó una encuesta dirigida al personal del plantel avícola, a las autoridades y docentes de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la ESPOCH. Los resultados obtenidos indican que hay un impacto alto y positivo alcanzado con este trabajo por varias razones. Primero, porque no existen muchas investigaciones que se relacionen directamente con los elementos técnicos y comunicacionales propuestos en este trabajo, lo que ha causado una buena impresión, tanto en los implicados directos (responsable zootecnista del plantel avícola, practicantes galponeros, directores y asesores de tesis de carácter avícola, tesisistas), como indirectos (autoridades de la facultad y docentes). En la encuesta participaron 32 personas, el 93,75% de los encuestados concuerda en que el trabajo tiene un beneficio alto, el mismo porcentaje piensa que el control automatizado arrojará un mejor resultado en comparación con el control manual.

El personal técnico vio que el funcionamiento de la solución puede ser de gran utilidad al plantel avícola y los beneficios que puede obtener cualquier empresa avícola de tipo artesanal, que no tiene control automatizado del microclima, destacando el bajo presupuesto, la mínima utilización de energía y el tamaño que permite su colocación fácil y rápida. El 37,5% de las personas encuestadas piensan que hay un ahorro, de recursos económicos, personal, logísticos y de tiempo. El 25%

cree que se beneficia en por lo menos 2 aspectos y el restante 43,75% piensa que se puede optimizar por lo menos un recurso.

En cuanto a los reportes que se arrojan y las reglas que se utilizan para controlar automáticamente aparatos eléctricos, existe unanimidad en que el beneficio es alto, pues permitiría que la revisión sea continua, las acciones sean automáticas y no se necesite un galponero las 24 horas del día en el sitio. De igual manera, el 100% de los encuestados opina que los datos estadísticos y los reportes que se emiten son beneficiosos para el proceso.

Además, la utilización de una aplicación web permite realizar el control desde cualquier lugar del mundo donde exista servicio de Internet, se ve como la solución óptima para esta problemática por el ahorro de recurso humano, que implica debe estar presente para poder encender o apagar los equipos eléctricos con cuenta una planta avícola, en un futuro inmediato es importante tener las mediciones necesarias que faciliten la toma de decisiones acertadas en base a datos comprobados y en tiempo real. En definitiva, el 100% de los encuestados piensa que la opción de controlar equipos eléctricos es una ventaja principal. Por último, se hizo calificar sobre 5 puntos el proyecto y se obtuvo una calificación promediada de 4,38.

3.2. Análisis de resultados

El objetivo principal de este proyecto era el de optimizar el control de una planta avícola utilizando sensores

inalámbricos con tecnología Hardware y Software libre. La implementación de esta solución se realizó en la Planta Académica Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En este proyecto se transfirió datos de forma inalámbrica, desde los sensores instalados (temperatura, humedad relativa, intensidad de luz, amoníaco, monóxido de carbono y gases combustibles) a una computadora instalada aproximadamente a 40 metros de distancia. Para ello, las aplicaciones desarrolladas permitieron la utilización de estos datos para realizar comparaciones con los parámetros climáticos normales, en esta área de la zona Sierra centro de Ecuador, y se emitieron alertas cuando alguna medición sobrepasaba estos parámetros.

Otra meta era investigar los diversos componentes electrónicos y determinar los más eficientes para este proyecto. Cabe indicar que existe una variedad de sensores que bien escogidos permiten solucionar cualquier proyecto multidisciplinario. Y que, en este punto, revisadas las especificaciones técnicas, se seleccionó los componentes y sensores que permitieron medir los factores técnicos que inciden en los resultados de un proceso de crianza de aves de engorde, determinados gracias a la información proporcionada por los técnicos del área y que se especifican en el marco teórico. Por lo tanto, analizados los datos obtenidos se determinó que el escogimiento de los sensores y demás componentes, fue correcto.

Había luego otra cuestión interesante que era determinar en qué lugar colocar el módulo ya armado.

En este caso, se realizaron pruebas tomando en cuenta factores como, la facilidad de revisión de los datos in situ por medio de una pantalla led incluida en el nodo, la medición real de variables como los gases nocivos que tienden a elevarse, y la cercanía del módulo al suelo para una correcta medición, o la humedad relativa que puede dar una lectura errónea al estar cerca de, por ejemplo, agua de los bebederos o regada en el colchón que está hecho en base a cascarilla de arroz. Además, está el factor que si las aves están cerca del nodo lo pueden dañar por diversas causas como picotazos, aleteos o movimientos bruscos, igualmente pueden dañar los cables eléctricos y causarse daño ellas mismas. Entonces, a pesar que la empresa Aviagen, reconocida internacionalmente por sus soluciones en este campo, recomienda en el Manual de Manejo de Pollos de Engorde Ross 308, que si se utilizan sensores estos deben estar a nivel de las aves, como resultado se prueba que, por los puntos expuestos, es más idóneo colocar los nodos entre 0,80 y 1,5 metros sobre el nivel del suelo. Véase Figura 7.

Otro factor a tomar en cuenta es la distancia a mantener del área de influencia directa de una cuna o calefactor, de un ventilador, o de las ventanas que en estos galpones suelen no tener vidrios, para que mediante la apertura o cierre de las cortinas se pueda controlar el ambiente. De estar cerca a uno de estos factores, las mediciones no representarían la realidad del entorno y se pudieran tomar decisiones equivocadas. Por esto, debe colocarse a una distancia en horizontal de 0,5 m de ventiladores o calefactores. Véase Figura 8.



Figura 7. Colocación del módulo - altura
Fuente: Los autores



Figura 8. Colocación del módulo - distancia horizontal
Fuente: Los autores

En este contexto, vale indicar que la mayor parte de las avícolas artesanales no cuentan con un microclima totalmente cerrado, recomendación que debe tratarse de cumplir para que sea más fácil el control, ya que esto influye drásticamente en los resultados de los métodos de crianza. Lamentablemente el factor económico no permite que se pueda cumplir a cabalidad con esta importante sugerencia, lo que resulta en un control menos eficiente.

Llegado a ese punto, ya se pudo utilizar los datos suministrados por los sensores a las aplicaciones desarrolladas. Al comparar los parámetros ingresados por los técnicos al inicio del proceso (que pueden modificarse por algún evento no considerado), la programación sigue reglas técnicas para controlar de forma automática aquellas mediciones que se salgan de los rangos considerados normales y se puedan tomar medidas inmediatas para corregir el problema. La primera acción, es la emisión de alertas visibles y sonoras para indicar la anomalía.

Por otro lado, los reportes a emitir ayudan también a analizar el proceso particular, complementado con las estadísticas, brindan soporte al momento de tomar decisiones de acuerdo al entorno específico del momento. Es sabido que cada zona, cada parvada y cada factor hacen que un proceso sea diferente a otro, así que en ningún caso los responsables del proceso pueden ser omitidos.

En cuanto a la aplicación web, permite algo

importante que es realizar el control desde otro lugar remoto donde el técnico se encuentre y pueda inspeccionar sin tener que estar en el lugar, esto es importante porque si se da alguna dificultad con las variables medidas a una hora cuando nadie se encuentre, como la madrugada, se puede tener pérdidas importantes. La opción de controlar manualmente el encendido o apagado por si las circunstancias ameritan un cambio fuera de las reglas establecidas, también es importante para que el control sea óptimo.

Para continuar, se determinó que el peso promedio de las aves al salir del proceso de crianza y la tasa de mortalidad, así como el tiempo de duración, fueron suficientes para reafirmar los beneficios esperados.

Otra precisión es que en el proyecto se trabaja con un solo módulo que resulta suficiente para el control de la parvada de 200 pollos, para proyectos mayores se pueden enlazar dos o más módulos y con pequeños cambios en la programación de los nodos Arduino los cuales tienen que ver con la identificación de las medidas de los sensores emitidos por cada módulo y con la forma de retransmisión que cada nodo puede realizar (Schwartz, 2014), permitiendo controlar galpones mucho más grandes.

Posteriormente se hizo la comparación respectiva con tres investigaciones que se desarrollaron como proyectos de titulación de pregrado para Ingenieros Zootecnistas de la Facultad de Ciencias Pecuarias y que realizaron los procesos de crianza en los mismos

galpones del plantel avícola (Rojas, 2009) (Bonilla, 2011) (Suqui, 2013). En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para los 4 proyectos. En ésta, la columna identificada como proyecto 4 es la estudiada en este trabajo, donde precisamente se han automatizado dichos procesos. Cabe señalar que se tomaron los datos del primero de varios ensayos de los otros proyectos ya que ese primer ensayo representa el ciclo de crecimiento sin ningún factor especial de estudio (con placebos, por ejemplo) o con valores mínimos. En el caso del estudio actual se utilizan los datos del ensayo 2, que es donde específicamente se coloca el módulo.

Finalmente, al analizar los resultados se puede ver que la ganancia de peso del proceso controlado automáticamente está en un valor de 2678,10 g., el cual

constituye un resultado muy aceptable en comparación con los otros estudios, resultado que concuerda con un proceso de crianza relacionado con el mercado al cual se quiere comercializar. Por ejemplo, si se va a vender a comercios de pollos asados, brosters, etc., van a preferir pollos no demasiado grandes para que su utilidad sea alta. Un pollo de engorde en parámetros normales debe salir del proceso en un peso de 2500 a 3500 g., siempre dependiendo de para qué mercado va a comercializarse. Por lo expuesto, el peso en este caso es muy aceptable y se puede ver la comparación gráfica expuesta en la Figura 9, donde se ilustra la suma del peso inicial (muy pequeño, de 40 g. aproximadamente) y la ganancia de peso en los procesos, que sumados dan el peso final.

Tabla 3. Comparación de resultados finales de diversos trabajos de investigación

Factor	Proyecto 1 (Suqui, 2013) Ensayo 1	Proyecto 2 (Rojas, 2009) Ensayo 1	Proyecto 3 (Bonilla, 2011) Ensayo 1	Proyecto 4 (Control automatizado) Ensayo 2
Peso Inicial (g)	43,17	39,11	40,00	42,00
Peso final (g)	3045,07	2539,00	2433,67	2678,10
Ganancia de Peso (g)	3001,90	2499,89	2393,67	2636,10
Mortalidad (%)	6,00	4,29	0,22	0,20

Fuente: Los autores

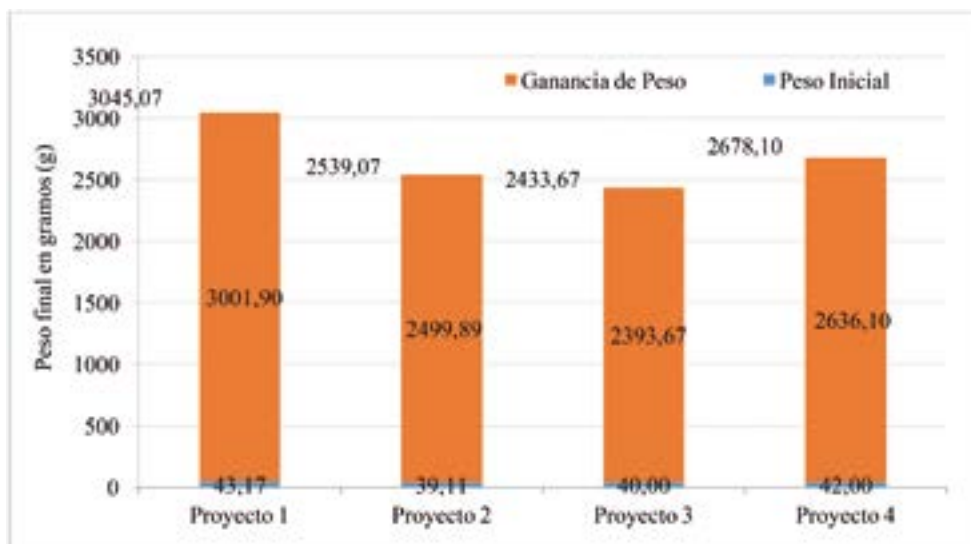


Figura 9. Comparativo del Peso Final

Fuente: Los autores

En cuanto a la tasa de mortalidad se puede advertir que el porcentaje del estudio controlado de forma automática está en un valor de 0,2% que resulta ser el más bajo de los cuatro proyectos. La máxima tasa permitida como aceptable es 5% (Aviagen, 2013), por consiguiente, el resultado en este factor es muy bueno.

Estos resultados pueden mejorar en la medida que las recomendaciones, en cuanto a las condiciones mínimas necesarias en los galpones, se cumplan. En la Figura 10 se puede analizar el gráfico de mortalidad para los proyectos.

Con lo revisado se puede indicar que todos los objetivos planteados se cumplieron en un cien por ciento y se finaliza con éxito el proyecto, a pesar de la influencia de factores externos no cuantificables al momento de analizar los resultados obtenidos, destacando el impacto alto positivo en el personal técnico zootecnista y docente.

El otro punto es que se maneja el concepto de Open Hardware-Software, obteniendo un proyecto más económico de construir y un consumo energético bajo, dos cuestiones importantes para que la solución pueda implementarse por avicultores de escasos recursos monetarios.

III. CONCLUSIONES

Se mejoraron los procesos manuales de la Planta Académica Avícola de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ESPOCH, a través del monitoreo automático implementando sensores inalámbricos con tecnología Open Hardware Arduino, integrando sensores y actuadores para una solución de bajo costo.

Se logró diseñar una placa accesoria en la que se integraron los componentes electrónicos, se acoplaron dispositivos ZigBee para la comunicación inalámbrica y revisaron los diversos tipos de sensores y componentes electrónicos, determinando los más indicados para el monitoreo constante de temperatura, humedad relativa, intensidad de luz, amoníaco y gases inflamables, con lo cual se pudo ejecutar acciones automáticas cuando una de estas variables sobrepasaba los parámetros normales.

De igual manera, una vez realizadas las pruebas pertinentes, se pudo determinar los lugares idóneos para instalar un módulo Arduino, tomando en cuenta que el amoníaco y el monóxido de carbono son menos densos que el aire y tienden a subir, pero los gases que componen el gas licuado de petróleo tienden a bajar, por lo que la altura para colocar un nodo debería estar entre 0,80 y 1,5 metros sobre el suelo. Además, han de estar fuera de la influencia directa de calefactores y ventiladores, recomendando instalarse a una distancia en horizontal de por lo menos 0,5 m de los equipos mencionados.

Así mismo, se evidenciaron mejoras en los resultados del proceso de crianza. La tasa de mortalidad del proceso controlado automáticamente se situó en 0,2%, la cual es mucho más baja cotejada con procesos manuales anteriores que se llevaban en

la planta avícola y con la tasa máxima aceptable que es del 5%. De igual forma, el peso final promedio de los pollos fue muy aceptable, 2678,10 g.

Por último, la aplicación web desarrollada permite el control automático a distancia del galpón lo que representa un ahorro de recursos económicos, humanos y de tiempo, reforzado por los informes y gráficos estadísticos que permitieron una mejor toma de decisiones.

IV. REFERENCIAS

- Abbasi, A. Z. (febrero de 2014). A review of wireless sensors and networks' applications in agriculture. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2), 263–270. doi:10.1016/j.csi.2011.03.004
- Akkaya, K., & Younis, M. (2005). A survey on routing protocols for wireless sensor networks. *Ad Hoc Networks*, 3(3), 325–349. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.adhoc.2003.09.010
- Akyildiz, I. F., & Can Vuran, M. (2010). *Wireless Sensor Networks*. Chichester: Wiley.
- Archila, D., & Santamaría, F. (2013). Estado del Arte de las Redes de Sensores Inalámbricos. *Revista digital TIA*, 2(1), 4 - 14.
- Arduino. (2016). *What is Arduino?* Recuperado el 09 de marzo de 2015, de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Aviagen. (2013). *Manual de manejo del pollo de carne ROSS*. Escocia.
- Ballesteros, B., & Chaparro, S. (2008). *Captura, monitoreo y análisis de datos transmitidos a través de WSN*. Bucaramanga: Universidad Nacional de Santander.
- Barragán-Martínez, X., & Guevara-Viejó, F. (2016). El gobierno electrónico en Ecuador. *Revista Ciencia UNEMI*, 9(19), 110 - 127. Obtenido de <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/333/289>
- Bonilla, D. (2011). *Utilización de Xilanasa + Fitasa y SFF como enzimas exógenas con reducción de energía y fósforo en dietas para pollos de engorde*. Riobamba: Tesis de Grado para optar por el título de Ingeniero en Zootecnia, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Date, C. (2001). *Introducción a los Sistemas de Bases de Datos*. Juárez: Prentice Hall.
- Díaz-Córdova, J., Coba-Molina, E., & Bombón-Mayorga, A. (2016). Facturación electrónica versus facturación.

- Revista Ciencia UNEMI*, 9(18), 63 - 72. Obtenido de <http://ojs.unemi.edu.ec/index.php/cienciaunemi/article/view/305/267>
- El Emary, I. M., & Ramakrishnan, S. (2013). *Wireless Sensor Networks: From Theory to Applications*. Boca Ratón: CRC Press.
- Enríquez Herrador, R. (2009). *Arduino Guía del Usuario*.
- Free Software Foundation. (s.f.). *FSF*. Recuperado el 09 de 03 de 2015, de <http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.es.html>
- García Breijo, E. (2009). *Compilador C CSS y simulador Proteus para microcontroladores PIC*. Barcelona: Marcombo, Ediciones Técnicas.
- Gaura, E., Girod, L., Busey, J., Allen, M., & Challen, G. (2010). *Wireless Sensor Networks*. Londres: Springer.
- González, I., González, J., & Gómez-Arribas, F. (2003). *Hardware libre: clasificación y desarrollo de hardware reconfigurable en entornos GNU*.
- Kniberg, H. (2007). *Scrum y XP desde las trincheras*. Estados Unidos: C4Media.
- Labiód, H., Hossam, A., & Santis, C. (2014). *Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee and Wimax*. Dordrecht: Springer.
- Licencia Pública GNU. (s.f.). *GNU*. Recuperado el 09 de 03 de 2015
- McRoberts, M. (2010). *Beginning Arduino*. New York: Springer.
- Open Source Hardware Association. (2012). *OSHW*. Recuperado el 09 de 03 de 2015
- Open Source Hardware Association. (2012). *OSHW*. Recuperado el 09 de 03 de 2015, de <http://www.oshwa.org/research/brief-history-of-open-source-hardware-organizations-and-definitions/>
- Pérea, F. (2015). *Arduino, Essentials*. Birmingham: Packt Publishing.
- Pineño, O. (2014). ArduiPod Box: A low-cost and open-source Skinner box using an iPod Touch and an Arduino microcontroller. *Behavior Research Methods*, 46, 196–205. doi:10.3758/s13428-013-0367-5
- Rojas, L. (2009). *Utilización de 3 niveles 400, 500 y 600 g/tn. de complejo enzimático en dietas con el 3,5% menos de la relación energía proteína en la alimentación de pollos broiler*. Riobamba: Tesis de Grado para optar por el título de Ingeniero en Zootecnia, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Schwartz, M. (2014). *Arduino Networking*. Birmingham: Packt Publishing.
- Scrum. (s.f.). *Scrum.org*. Recuperado el 03 de 12 de 2015, de <https://www.scrum.org/>
- Silvia, J. (2015). *Evaluación de un simbiótico nativo formulado a base de jugo de caña, yogurt natural y suero de leche en la alimentación de pollos broiler*. Riobamba.
- Suqui, X. (2013). *Evaluación de los efectos productivos al implementar un coccidiostato natural Zingiber Officinale (Jengibre) en la producción de pollos broiler*. Riobamba: Tesis de Grado para optar por el título de Ingeniero en Zootecnia, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Universidad de Alicante. (s.f.). *Servicio de Informática de la Universidad de Alicante*. Recuperado el 13 de 03 de 2015, de <http://si.ua.es/es/documentacion/asp-net-mvc-3/1-dia/modelo-vista-controlador-mvc.html>
- Wang, C., Jiang, T., & Zhang, Q. (2014). *Zigbee Networks Protocols and Applications*. Boca Ratón: CRC Press.