

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**DEPARTAMENTO DE ENSEÑANZA, INVESTIGACIÓN
Y SERVICIO EN ZOOTECNIA**

POSGRADO EN PRODUCCIÓN ANIMAL

**CONTROL AUTOMATIZADO DE FACTORES AMBIENTALES Y
CONCENTRACIÓN DE GASES EN NAVES AVÍCOLAS**

TESIS

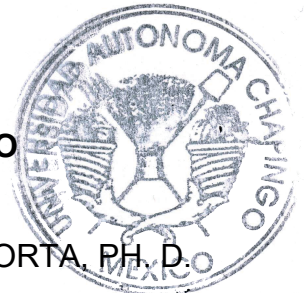
Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

Presenta:

DIANA YADIRA HERRERA MALDONADO

Bajo la supervisión de: **MARIANO J. GONZÁLEZ ALCORTA, PH. D.**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
ORIGINA DE EXAMENES PROFESIONALES



Junio 2017

Chapingo, Estado de México

**CONTROL AUTOMATIZADO DE FACTORES AMBIENTALES Y
CONCENTRACIÓN DE GASES EN NAVES AVÍCOLAS**

Tesis realizada por **Diana Yadira Herrera Maldonado** bajo la supervisión del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito
parcial para obtener el grado de:

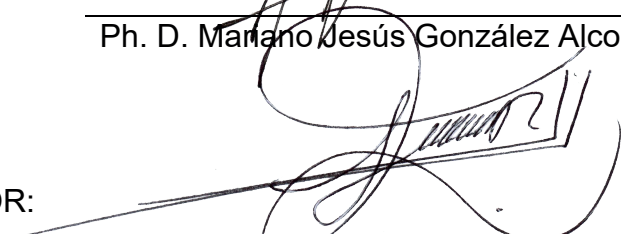
MAESTRO EN CIENCIAS EN INNOVACIÓN GANADERA

DIRECTOR:



Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta

ASESOR:



Dr. José Sergio Ruiz Castilla

ASESOR:



Dr. José Artemio Cadena Meneses

CONTENIDO

CONTENIDO	iii
LISTA DE CUADROS	ii
LISTA DE FIGURAS	ii
LISTA DE APÉNDICES	iv
LISTA DE ABREVIATURAS	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
DATOS BIOGRÁFICOS.....	viii
RESUMEN GENERAL	ix
GENERAL ABSTRACT	x
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Automatización	4
2.1.1. Domótica e inmótica.....	5
2.1.2. Tecnologías de automatización.....	6
2.1.3. Microcontrolador.....	8
2.1.4. Plataforma Arduino.....	9
2.1.5. Módulos.....	11
2.2. Producción avícola	17
2.2.1. Situación actual	18
2.3. Factores que afectan el crecimiento y la calidad del pollo	20
2.3.1. Bienestar animal.....	21
2.3.2. Densidad de pollos.....	21
2.3.3. Alimentación.....	22
2.3.4. Calidad del aire dentro de la nave.....	23
2.3.5. Humedad.....	26
2.3.6. Temperatura.....	27

2.3.7. Iluminación	28
2.4. Literatura citada	29
3. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA AMBIENTAL Y CONCENTRACIÓN DE GASES PARA NAVES AVÍCOLAS....	35
3.1. Resumen	35
3.2. Abstract.....	36
3.3. Introducción	37
3.4. Materiales y métodos.....	39
3.4.1. Selección de los sensores.....	39
3.4.2. Diseño, construcción e instalación del sistema	41
3.4.3. Calibración de los sensores	44
3.4.4. Automatización.....	47
3.4.5. Análisis estadístico.....	48
3.5. Resultados y discusión	49
3.6. Conclusiones	55
3.7. Recomendaciones	55
3.8. Literatura citada	56
4. SISTEMA DE MONITOREO DE FACTORES AMBIENTALES Y VENTILACIÓN AUTOMATIZADA DE BAJO COSTO, PARA NAVES AVÍCOLAS	58
4.1. Resumen	58
4.2. Abstract.....	59
4.3. Introducción	60
4.4. Materiales y métodos.....	62
4.5. Resultados y discusión	68
4.6. Conclusiones	73
4.7. Recomendaciones	73
4.8. Literatura citada	74
4.9. Apéndice.....	76

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Lista de sensores y gases que detectan (Arduino, 2017).....	13
Cuadro 2. Valores recomendados para dietas de engorde(Aviagen, 2014).....	23
Cuadro 3. Composición del alimento Pollo Crece y Pollo Finaliza.	64
Cuadro 4. Parámetros productivos y concentración de NH ₃ en los tratamientos T1 (sin automatización) y T2 (con automatización).....	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo de un autómata finito de un interruptor off/on (Hopcroft et al., 2008).....	5
Figura 2. Esquema general de un microcomputador (Valdés & Pallás, 2007). ...	8
Figura 3. Diagrama del circuito del sensor MQ135 (Winsen, 2015).	14
Figura 4. Gráfica de las características de sensibilidad el sensor MQ135 (Olimex, 2015)	14
Figura 5. Datos que envía el sensor DHT11.	15
Figura 6. Comunicación entre microcontrolador y DHT11 (Liu, 2014).	15
Figura 7. Diagrama esquemático del sensor de luz.	17
Figura 8. Principales países productores de pollo en 2016 (UNA, 2016).	19
Figura 9. Principales estados productores de pollo en 2016 (UNA, 2016).	19
Figura 10. Producción pecuaria en 2016 (UNA, 2016).	20
Figura 11. Diagrama esquemático del sensor DHT11.	40
Figura 12. Diagrama esquemático del sensor MQ135.....	40
Figura 13. Diagrama esquemático del sensor FC-28.....	41
Figura 14. Diagrama esquemático de la conexión de los sensores DHT11, MQ135, FC-28 y LDR con la placa microcontroladora.....	42
Figura 15. Diagrama de flujo de la rutina de lectura de sensores.	43
Figura 16. Distribución de los sensores en el prototipo.	44

Figura 17. Diagrama esquemático de la conexión de DHT11 con el microcontrolador.	45
Figura 18. Diagrama de flujo de la rutina de lectura del sensor DHT11.....	45
Figura 19. Diagrama esquemático de la conexión del sensor MQ135 en el microcontrolador.	46
Figura 20. Diagrama esquemático de la conexión de DHT11 y LED con el microcontrolador.	47
Figura 21. Diagrama de flujo de la rutina de encender el LED RGB automáticamente.	48
Figura 22. Registros de temperatura obtenidos durante el total del tiempo.	50
Figura 23. Registros de humedad relativa obtenidos durante el total del tiempo.	51
Figura 24. Registros de concentración de gases obtenidos durante el total del tiempo.	52
Figura 25. Datos del sensor de humedad de la cama.....	52
Figura 26. Datos de temperatura ambiental del sensor DHT11 (S1) comparados con los datos del termómetro análogo (A1).	53
Figura 27. Datos de humedad relativa del sensor DHT11 (HR1) comparados con los datos del termómetro análogo (HRA).	54
Figura 28. Diagrama tridimensional de los corrales y distribución de los sensores.	62
Figura 29. Diagrama tridimensional de la distribución de sensores y pollos.	63
Figura 30. Diagrama esquemático del sistema electrónico de monitoreo sin ventilación automática.	65
Figura 31. Diagrama esquemático del sistema electrónico de monitoreo con ventilación automática.	66
Figura 32. Diagrama conceptual de los estados del autómata.	66
Figura 33. Diagrama de flujo de la rutina de automatización de la ventilación.	67

Figura 34. Gráfica de temperatura ambiental y humedad relativa de los tratamientos.	68
Figura 35. Gráfica del registro de luz del T1 y T2.	69
Figura 36. Gráfica de humedad de la cama, periodo completo. T1 y T2.	70
Figura 37. Gráfica de concentraciones de amoniaco y límite de 25 ppm, periodo completo T1 y T2.	71
Figura 38. Tendencia del peso vivo de los dos sistemas, para T1 y T2.....	72
Figura 39. Tendencia del consumo de alimento por polos a lo largo de la engorda para T1 y T2	73

LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1. Captura de los datos recabados por el sistema.	76
Apéndice 2. Conexión física del sistema electrónico.	76
Apéndice 3. Datos analógicos obtenidos del sensor MQ135 (V_s , R_s) y su valor convertido a ppm de CO_2 y NH_3	77
Apéndice 4. Placa microcontroladora Arduino Mega 2560	77
Apéndice 5. Módulos utilizados en el sistema de monitoreo y automatización.	78
Apéndice 6. Captura de pantalla de los datos obtenidos en del sistema con automatización.....	78
Apéndice 7. Corral con pollos.	79
Apéndice 8. Sistema de monitoreo con automatización y sin automatización ..	79

LISTA DE ABREVIATURAS

ANN: (*Artificial Neural Network*) Red Neuronal Artificial

AVR: Familia de Microcontroladores *Atmel*

CNC: (*Computer Numerical Control*) Control Numérico por Computadora

CPU: (*Central Process Unit*) Unidad Central de Procesamiento

E/S: Entrada y Salida

EEPROM: (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) Memoria de sólo lectura programable y borrable eléctricamente

GPIO: (*General Purpose Input/Output*) Entrada y salida genérica

GPL: (*General Public License*) Licencia Pública General

LDR: (*Light Dependent Resistor*) Fotorresistencia

LED: (*Light-Emitting Diode*) Diodo emisor de luz

LGPL: (*Lesser General Public License*) Licencia Pública General Reducida

PAC: (*Programmable Automation Controller*) Controlador de automatización programable

PCB: (*Printed Circuit Board*) Placa de Circuito Impreso

PLC: (*Programmable Logic Controller*) Controlador Lógico Programable

PWM: Modulación por Ancho de Pulso

RC: (*Radio Controller*) Radio Control

RGB: (*Red, Green and Blue*) Rojo verde y azul

SCE: Sistema de Cableado Estructurado

SRAM: (*Static Random Access Memory*) Memoria Estática de Acceso Aleatorio

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia:

Mis padres:

✿ Roberto Herrera Herrera

✿ María de la Paz Maldonado Pérez

Mis hermanos: por haberme brindado su apoyo

✿ Silvia Karina Herrera Maldonado

✿ Roberto Erick Herrera Maldonado

✿ Ariadna Sarai Herrera Maldonado

A la persona que amo

✿ Saúl Hernández Aquino,
por estar conmigo en todo momento.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Posgrado en Producción Animal por haberme brindado la oportunidad de continuar mi superación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para el desarrollo y finalización de mis estudios de posgrado.

Al Ph. D. Mariano Jesús González Alcorta por sus esfuerzos realizados en la dirección de este proyecto.

Al Dr. José Sergio Ruiz Castilla y Dr. José Artemio Cadena Meneses por su asesoramiento y contribuciones en este trabajo de investigación

Al M. C. Saúl Hernández Aquino por su apoyo en el diseño, implementación del sistema y análisis de datos.

Al Lic. Roberto Erick Herrera Maldonado por su apoyo en el diseño y construcción del prototipo.

DATOS BIOGRÁFICOS



Nombre	Diana Yadira Herrera Maldonado
Fecha de nacimiento	30 de marzo de 1987
Lugar de Nacimiento	Texcoco, Estado de México
CURP	HEMD870330MMCRLN08
Profesión	Ingeniería en computación
Cédula Profesional	7453847

Desarrollo Académico

Bachillerato	Escuela Preparatoria Oficial No. 47 (2001 ñ2004)
Licenciatura	Ingeniería en Computación, Universidad Autónoma del Estado de México (2004 - 2009)
Maestría	Maestría en Ciencias en Innovación Ganadera, Posgrado en Producción Animal, Universidad Autónoma Chapingo, México (2015 - 2016)

RESUMEN GENERAL

CONTROL AUTOMATIZADO DE FACTORES AMBIENTALES Y CONCENTRACIÓN DE GASES EN NAVES AVÍCOLAS

El aumento en la concentración de amoníaco (NH_3) en las naves avícolas puede provocar daño en las vías aéreas, bajos consumo y peso vivo de los pollos. La disipación de éste gas mediante una buena ventilación mejoraría la calidad ambiental, la salud de los pollos y sus parámetros productivos. El objetivo del estudio fue desarrollar un sistema de monitoreo de factores ambientales y automatización de la ventilación para naves avícolas con poca tecnificación. El estudio se desarrolló en dos fases: la primera fue el diseño y programación del prototipo, calibración de los sensores DHT11 (temperatura ambiental y humedad relativa) y ajuste de valores analógicos del sensor MQ135 (concentración de NH_3); en la segunda se implementó el sistema en la nave avícola. La calibración fue con la comparación de los datos digitales con un patrón de referencia. El modelo fue completamente al azar para comparar los datos digitales y los analógicos. No hubo diferencia ($P>0.01$) entre ellos. El sistema se instaló en la nave avícola de la Granja Experimental de la UACh. Se consideró un diseño completamente al azar con dos tratamientos: T1 (sin sistema) y T2 (con sistema) con tres repeticiones. Para la automatización se estableció que la ventilación se encendía al superar la temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ y el valor analógico de concentración de gas de 177. Se realizó una comparación de medias de los niveles de amoníaco y de los parámetros productivos. Los resultados mostraron que el sistema de ventilación redujo ($P\leq 0.01$) los niveles de amoníaco en 20 ppm, no se observó diferencia ($P>0.01$) en el peso vivo de T1 y T2 (2.91 kg en promedio), a las siete semanas de edad. La conclusión principal es que la implementación de un sistema de ventilación disminuye los niveles de NH_3 en la nave avícola.

Palabras clave: sensores, temperatura ambiental, calibración, automatización, pollos de engorda.

GENERAL ABSTRACT

AUTOMATED CONTROL OF ENVIRONMENTAL FACTORS AND GASES CONCENTRATION IN POULTRY HOUSES

The increase in ammonia concentration (NH_3) within of poultry house may cause damage to the poultry in airways, low food intake and live weight of chickens. Good ventilation would improve environmental quality, bird health and its production parameters. The aim of this research was to develop an environmental monitoring and automation ventilation system for low technified poultry houses. This research development was divided into two phases: the first phase consisted in designing and programming a prototype, calibrating the DHT11 sensors (digital ambient temperature and relative humidity) and analogue values adjustment of the sensor MQ135 (NH_3 concentration); in the second phase, the system was implemented in the poultry house. Calibration was performed comparing digital data with a standard reference. A completely randomized design was performed to compare the digital and the analogic data. There were no differences ($P>0.01$) among them. The system was installed in the poultry house of the Experimental Farm of "UACH". A complete random design was considered with two treatments: T1 (without system) and T2 (with system), using three replicates per treatment. For automation, the system turn on if temperature exceeded $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ and analogue value of the gas concentration exceeded 177. A comparison of means of ammonia levels and also for the productive parameters were performed. The results showed a significant ($P\leq 0.01$) reduction of ammonia levels in 20 ppm, but no differences ($P>0.01$) in live weight of T1 and T2 (2.91 kg in average) at seven weeks old. The main conclusion is that the ventilation system implementation decreases NH_3 levels in the poultry house.

Keywords: sensors, environmental temperature, calibration, automation, broilers.

Master of Science Thesis, Universidad Autónoma Chapingo
Author: Diana Yadira Herrera Maldonado
Advisor: Mariano Jesús González Alcorta, Ph. D.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La FAO (2009) pronostica que para el año 2050 la población mundial aumentará en más de un tercio, lo que implicará aumento en la demanda de alimentos de origen animal. Para satisfacer dicha demanda se necesitará aumentar la cantidad de producción en el menor tiempo posible, por lo tanto, será importante incrementar la eficiencia de uso de recursos en los procesos productivos. La SAGARPA (2009) indica que la avicultura es una alternativa, pues su ciclo de producción es más corto en comparación con la cría de ganado bovino.

La avicultura presenta grandes avances no sólo genéticos y de nutrición, también en infraestructura, principalmente para tener mejor control en su producción, lo que ha ayudado a tener una producción más eficiente, por tal motivo es necesario implementar estrategias, en manejo y monitoreo, de principio a fin, con la finalidad de mejorar la producción (Lamelas, 2004). La intensificación de la producción avícola fomenta el aumento de la densidad de aves, esto conduce a una reducción del bienestar animal debido al decremento de la calidad ambiental dentro de la nave (Campo, Gil & Dávila, 2002). Guerrero, (2009) indica que la calidad del aire dentro de las naves avícolas depende de distintos factores como: dieta, humedad, temperatura, calidad del agua, línea de ave, enfermedades, entre otras. Al controlar mejor estos factores se reduce la concentración de gases y se mitigan sus efectos negativos, lo que mejoraría el rendimiento de parámetros productivos, como ganancia de peso, conversión alimenticia, uniformidad en la parvada y menor incidencia de enfermedades (Aray, 2012).

En ésta investigación se plantean dos premisas: la primera, para que el diseño y construcción de un sistema electrónico de monitoreo sea exitoso se requiere una calibración previa, en donde los datos obtenidos por el sistema sean similares a los datos analógicos del ambiente; y la segunda, si la implementación de un sistema automatizado de ventilación, reduce los niveles de NH_3 en las naves avícolas, con la finalidad de tener parámetros productivos aceptables por el mercado de pollos de engorda.

Las nuevas tecnologías desempeñan un aspecto muy importante en las investigaciones recientes, ya que, es prácticamente imposible realizar cualquier actividad sin hacer uso de éstas, entiéndase tecnología como el conjunto de teorías y técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico y, las nuevas tecnologías hacen referencia a los últimos desarrollos tecnológicos, sin embargo, por su carácter especializado y su lenguaje técnico, su manejo suele estar en manos de grupos relativamente reducidos de expertos, además suelen estar en campos muy específicos y pocas veces tienen una visión global de una disciplina científica (Retrato & Colado, 2015).

La tecnología de automatización y uso de sistemas inteligentes ha tenido gran desarrollo en la última década, sin embargo, su uso en sistemas de producción animal se ve limitado debido a los altos costos de implementación. Uno ejemplo es la producción avícola, ya que la tecnología utilizada en las naves es principalmente manual, aunque las grandes empresas avícolas cuentan con la incorporación de sistemas automatizados de ventilación, calefacción y bebederos (Lamelas, 2004). Se ha comenzado a desarrollar diversas tecnologías que podrían ayudar a mejorar la productividad con el propósito de reducir costos y mejorar el monitoreo de la producción. Lamelas (2004) menciona que los principales costos de producción relacionados con la calidad ambiental, en la producción avícola, son la calefacción y la mano de obra, el costo de este último por Kg de pollo se puede reducir a medida que se aumenta el nivel de tecnificación de la nave.

Las altas concentraciones de NH_3 , producen daños a la salud de los pollos, tales como lesiones en patas, piel y ojos, las aves son más susceptibles a padecer enfermedades respiratorias, infecciones por *E. coli*, coccidios y favorece el desarrollo de síndrome ascítico. Se ha demostrado que si las aves están sometidas a niveles inferiores de 25 ppm de amoníaco, proporcionan mayores índices productivos así como mejor uniformidad en la parvada (Beker, Vanhooser, Swartzlander & Teeter, 2004).

Stuart (1991) menciona que si las aves son sometidas a bajas concentración de oxígeno pueden presentar problemas de salud y por lo tanto de productividad. Debido a eso, la industria ha implementado estrategias para mitigar dichos efectos, una de ellas es la ventilación automatizada de las naves para controlar la concentración de gases (Fernández, 2007). Sin embargo, la automatización implica una fuerte inversión inicial, por lo que pequeños productores no pueden costearlo, a menos que esta tecnología tenga capacidades de expansión y versatilidad (Vásquez-Unyen, 2014). La capacidad de expansión implica que el sistema automatizado cuenta, en un principio, con un número pre-establecido de funciones (menor inversión inicial), y a medida que el productor necesite más, se podrán agregar al sistema. La versatilidad se refiere a la fácil implementación, sin importar el diseño de la nave y sin limitarse a una sola especie.

Los objetivos del estudio fueron: comparar los datos de temperatura ambiental registrados por sensores y termómetros analógicos; y comparar niveles de NH_3 en naves avícolas con y sin control automatizado en la ventilación.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Automatización

En los años treinta, Alan Turing, considerado como el padre de la computación moderna, estudió una máquina abstracta con todas las capacidades de las computadoras modernas, al menos en lo que respecta a los cálculos numéricos y simbólicos, dicha máquina ayuda a comprender lo que se puede esperar de un software, su objetivo era describir de forma precisa los límites de cálculo que la máquina podía y no podía hacer (Turing, 1996). A partir de entonces, una serie de investigadores estudiaron máquinas más simples denominadas autómatas finitos, que servían principalmente para modelar el funcionamiento del cerebro, después fueron utilizadas para otros propósitos (Istrail & Marcus, 2012)

Hopcroft, Motwani y Ullman (2008) definen a la teoría de los autómatas como el estudio de dispositivos de cálculo abstractos, es decir, de las máquinas. Un autómata es un modelo matemático formado por un sistema de entradas y salidas discretas, puede tener una cantidad finita de estados y son útiles para la creación e implementación de software y hardware, los estados finitos sirven para recordar lo que es importante del sistema y olvidar lo que no lo es, la ventaja de disponer de un número finito de estados es que se puede implementar el sistema mediante un conjunto fijo de recursos, se puede implementar en el hardware como un circuito, o una forma simple de programa que puede tomar decisiones al consultar una cantidad limitada de datos o la posición del propio código (Gómez de Silva & Ania, 2008).

Un ejemplo de un autómata finito no trivial más simple es un interruptor de apagado/encendido (*off / on*) (Figura 1), tiene un estado inicial (*off*), es capaz de recordar si está en el estado encendido (*on*) o apagado (*off*), permite al usuario pulsar un botón cuyo efecto es diferente dependiendo del estado del interruptor, es decir, si el interruptor está en el estado *off*, al pulsar el botón cambia al estado *on*, y si el interruptor está en el estado *on*, al pulsar el mismo botón pasa al estado *off* (Hopcroft et al., 2008).

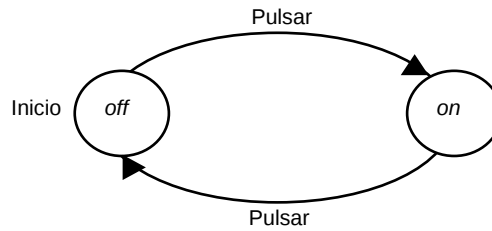


Figura 1. Modelo de un autómata finito de un interruptor off/on (Hopcroft et al., 2008).

La automatización se compone de teorías y tecnologías encaminadas a transferir las tareas de humanos a elementos electromecánicos. Los procesos más importantes desde el punto de vista de la automatización son: procesos continuos (tiempo continuo y/o discreto), procesos comandados por eventos y procesos de fabricación (Mendiburu, 2003).

2.1.1. Domótica e inmótica

Etimológicamente el término domótica se refiere a la automatización de las viviendas, permite la gestión eficiente de la energía, aporta seguridad, *confort* y se integra como parte de un mismo sistema centralizado e inteligente, todos los subsistemas que se conocen actualmente funcionan de manera autónoma, su principal característica se ve reflejada en los servicios que ofrece, como son: automatización y control; seguridad y vigilancia; comunicación y tele servicio; y ocio, además puede utilizar una red interna y externa (internet) para dar aviso de cualquier novedad en la vivienda (Saavedra, 2009).

Cuando el ámbito de la automatización aumenta hasta abarcar un edificio o inmueble se denomina *computer automated building* o inmótica, con el fin de destacar la presencia de computadoras encargadas de realizar el control del edificio. Los aspectos que se pueden controlan son: seguridad en áreas comunes, climatización, ascensores, riego en parques y jardines, nivel de contenedores de agua, video vigilancia, iluminación, entre otros (Romero, Vázquez & Castro, 2010; Saavedra, 2009).

La inmótica surge en la década de los setenta, donde aparecieron los primeros edificios automatizados, basados en la tecnología X-10, los primeros sistemas comerciales se limitaban a regular la temperatura ambiental. A finales de la década de los ochenta y principios de los noventa, se empezaron a incorporar, en los edificios, los Sistema de Cableado Estructurado (SCE) que facilitaban la conexión de cualquier tipo de terminales y periféricos, utilizaban un cableado estándar y tomas repartidas por todo el edificio. Estos cables permitían el transporte de datos, voz, conexión de algunos dispositivos de control y seguridad, a estos edificios se les comenzó a llamar edificios inteligentes (Huidobro et al., 2007).

Los sistemas inteligentes de edificios nos llevan a una mejora en la eficiencia energética, los equipos de control proporcionan la oportunidad de ahorrar más energía comparado con la intervención manual. La gestión técnica de edificios, proporcionan información sobre el funcionamiento, mantenimiento y servicios de los inmuebles, generación de registro, emisión de alarmas, por mencionar algunas (Romero et al., 2010). Cuando a una vivienda o edificio se le han integrado sistemas autónomos de monitoreo y control se dice que tiene un Sistema de Gestión Técnica de Instalaciones en la Edificación (SGTE). Los estudios iniciales crearon expectativas sobre el potencial de la inmótica en lo que se refiere al ahorro energético, *confort* y seguridad, sin embargo, su crecimiento ha sido lento, aunque constante, prueba de ello son las primeras promociones inmobiliarias, que incluían numerosos sistemas y aplicaciones con cierto grado de dificultad en su uso, que las nuevas promociones no, estas tienen un equipamiento más reducido y tienen menor dificultad en su manejo (Núñez & Sosa, 2004).

2.1.2. Tecnologías de automatización

La tecnología informática, junto con los mecanismos y procesos industriales, pueden ayudar en el diseño, implementación y monitoreo de sistemas de control (CGMINERÍA, 2009). Existen diferentes tipos de herramientas para la automatización como: ANN (*Artificial neural network*), PAC (*Programmable*

automation controller), CNC (Control numérico por computadora), instrumentación, control de movimiento y robótica (CEPYME, 2004). Un ejemplo, común, de un sistema de control industrial es un Controlador Lógico Programable (PLC) que funciona con diferentes lenguajes, listado de instrucciones, símbolos lógicos similares a las compuertas lógicas y símbolos de contactos, donde se usan redes de contactos (*ladder*). Algunas desventajas de los PLC son que el personal que los maneja deben ser altamente capacitados, son costosos y controlan tareas muy pequeñas o sencillas (Vallejo, 1970).

Entre las áreas en las que destaca la automatización se encuentra, en primer lugar, el *confort*, el cual juega un papel muy importante dentro de las especificaciones del sistema. El *confort* se encarga de tener un lugar placentero, además controla todos los equipos relacionados con esto. En segundo lugar, está la iluminación, que permite una gestión integral para evitar gastos innecesarios, esto se aplica tanto para la iluminación ornamental como para la esencial del proceso productivo. En tercer lugar, está el uso de luz infrarroja y radio frecuencia para el control de la instalación sin necesidad de accionar interruptores. En cuarta instancia se encuentra la climatización, que tiene mayor influencia en el *confort* del edificio ya que la temperatura de la habitación incide en la actitud y salud. En quinto lugar, se encuentran los sistemas de audio y video como elementos de información al usuario y para facilitar las tareas. Finalmente, la seguridad es uno de los factores más importantes, ya que abarca aquellos sistemas destinados a prevenir la intrusión y peligros derivados del mal funcionamiento de alguno de los sistemas de una edificación (Núñez & Sosa, 2004).

Las principales ventajas de aplicar automatización, según la CEPYME (2004) son:

- Reemplazo de operadores humanos en tareas repetitivas o de alto riesgo.
- Incremento de la producción. Al mantener la línea de producción automatizada, las demoras del proceso son mínimas, no hay agotamiento

o desconcentración en tareas repetitivas, el tiempo de ejecución se disminuye considerablemente según el proceso.

- Mejora la calidad en la producción.
- Maximiza el retorno de inversión.
- Reduce los costos de ingeniería, operaciones y mantenimiento.

2.1.3. Microcontrolador

Para hablar de un microcontrolador se debe entender que es un microcomputador. Un microcomputador es una computadora que utiliza un microprocesador como unidad central de procesamiento (CPU), memoria y dispositivos de entrada y salida (E/S), ocupan poco espacio físico en comparación con sus predecesoras, las *mainframes* y las minicomputadoras (Figura 2).

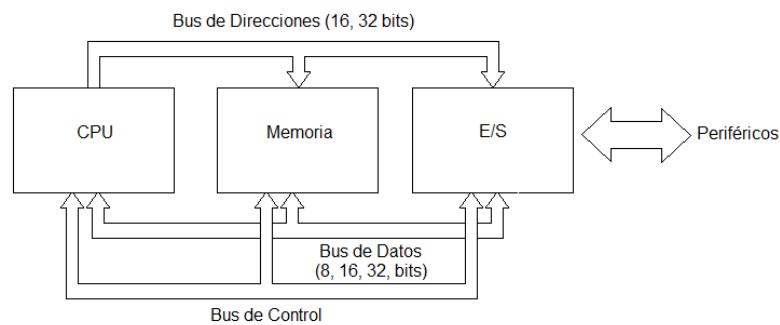


Figura 2. Esquema general de un microcomputador (Valdés & Pallás, 2007).

Un microcontrolador es un circuito integrado (*chip*) con capacidad de ser programable, tiene un oscilador que sincroniza todas las operaciones internas mediante pulsos, puede ser de tipo RC, se pueden encontrar dentro de multitud de dispositivos electrónicos de uso común (desde un timbre hasta un robot, juguetes, refrigeradores, televisores, lavadoras, hornos de microondas, impresoras, sistema de arranque de coches), cada vez existen más productos domésticos que incorporan algún tipo de microcontrolador con el fin de aumentar sustancialmente sus prestaciones, mejorar su fiabilidad, reducir su tamaño, costo y consumo (Valdés & Pallás, 2007). Sus principales características son: los

recursos de E/S y su manejo individual, como los interruptores o las señales analógicas; espacio optimizado, esto es tener el menor espacio posible a un costo razonable; seguridad en el funcionamiento, si el microcontrolador se pierde, se tomen acciones para corregir la situación; bajo consumo de energía; y la protección de los programas de las aplicaciones almacenados en la memoria (Valdés & Pallás, 2007). El microcontrolador está diseñado para ejecutar constantemente un conjunto de instrucciones predefinidas, dichas instrucciones van a tomar en cuenta la información obtenida y enviada por los recursos de E/S y reaccionarán en consecuencia, las instrucciones serán diferentes según el uso que se le quiera dar al microcontrolador y la función del programador.

2.1.4. Plataforma Arduino

Es una plataforma de fuente abierta de hardware y software, incorpora un microcontrolador reprogramable, tiene una serie de pines de E/S analógicas y digitales, en donde se pueden conectar diferentes tipos de módulos, para realizar lecturas y posteriormente convertirlo en una señal de salida (Arduino, 2017).

La placa Arduino es una placa hardware conocida como *printed circuit board* o placa de circuito impreso (PCB), su superficie es de un material no conductor como resinas de fibra de vidrio reforzada, cerámica o plástico, en las que se encuentran pistas laminadas de cobre como material conductor, la PCB es la forma más compacta y estable de construir un circuito electrónico en comparación con la *breadboard*, *perfboard* o similar, pero, al contrario de éstas, una vez fabricada, su diseño es bastante difícil de modificar (Torrente, 2013).

Cuando se trabaja con la placa Arduino se debe especificar el modelo concreto, ya que existen diferentes placas oficiales con características específicas como tamaño físico, número de pines-hembra, modelo de microcontrolador incorporado, cantidad de memoria (Torrente, 2013).

El proyecto Arduino surgió en el año 2005, de unos estudiantes del Instituto de diseño Interactivo Ivrea, su diseño está inspirado en otra placa de hardware libre

preexistente, conocida como placa *Wiring*, de Barragán (2011), estudiante del instituto. David Cuartiles Massimo, investigador en el instituto, y Gianluca Martino, desarrollador local contratado, desarrollaron la plataforma de hardware y software libre, más pequeña y económica, a la que llamaron Arduino. El entorno de desarrollo o software libre, es que se publica con una combinación de la licencia GPL (*General Public License*) para el entorno visual y la LGPL para el código fuente de gestión y control del microcontrolador.

Arduino es de multiplataforma, esto es que funciona en diferentes sistemas operativos como Linux, MacOS y Windows, para su funcionamiento se debe instalar en la computadora y permite escribir, verificar, guardar y cargar el programa en la memoria del microcontrolador (Díaz, 2007).

El lenguaje de programación libre tiene elementos similares a los de otros lenguajes como los bloques condicionales, bloques repetitivos, variables, comandos, órdenes o funciones que permiten especificar de una forma coherente y sin errores las instrucciones exactas que se quieren programar en el microcontrolador de la placa. Estos comandos se escriben mediante el entorno de desarrollo Arduino (Torrente, 2013).

El elemento principal de la placa Arduino es un microcontrolador Atmega168, Atmega328 o Atmega1280, de tipo AVR (arquitectura desarrollada y fabricada por Atmel) tiene un voltaje de operación de 5 V, voltaje de entrada recomendado de 7 a 12 V, límite de Voltaje de entrada de 6 a 20 V, el número de E/S dependen del modelo de placa y su corriente es de 3.3 V.

La memoria Flash es donde se almacena permanentemente el programa que ejecuta el microcontrolador tiene capacidad de 32 KB o 128 KB dependiendo del modelo de placa, la memoria SRAM es la memoria volátil donde se alojan los datos que en ese instante el programa crea o manipula. La memoria EEPROM: es en donde se almacenan datos que se desea que permanezcan grabados una vez apagado el microcontrolador para poderlos usar posteriormente en siguientes reinicios (Arduino, 2017).

Los datos analógicos provienen de un medio o simulación continuos de algún tipo de hecho, actividad o proceso, se representan con una onda. Romo (2004) lo explica con un reloj de manecillas, simula el avance del tiempo a través del movimiento de pequeñas manecillas que no dejan de moverse, facilitando la lectura de la hora actual. El correr de las manecillas, impulsadas por la cuerda o una batería no constituye el tiempo en sí: es sólo una forma de simularlo y cuantificarlo. En electrónica existe una rama denominada electrónica analógica, se encarga de estudiar los sistemas cuyas variables varían de una forma continua en el tiempo y pueden tomar (teóricamente) valores infinitos. Los humanos captan la información analógica mediante los sentidos (Miller & Miller, 2002).

Los dispositivos digitales, a diferencia de los dispositivos analógicos, no realizan simulaciones continuas de procesos o hechos, sino que funcionan con representaciones discretas. Romo (2004) lo ejemplifica como un reloj digital, esta muestra el tiempo en un momento dado representándolo con números en una pantalla, esto es dando una equivalencia a un proceso que está en marcha con otros símbolos o valores. La onda, que representa los datos analógicos, puede representarse en formato digital, al asignar a cada elemento o punto de esa onda un valor numérico (Miller & Miller, 2002). En electrónica la rama que estudia los datos digitales se llama electrónica digital, está basado en sistemas informáticos donde la información esta codificada en estados definidos y discretos, a diferencia de los sistemas analógicos donde la información toma un rango continuo de valores.

2.1.5. Módulos

La placa Arduino Mega dispone de 54 pines-hembra de entradas o salidas digitales, numeradas de 0 a 13, es aquí donde se conectan los módulos como sensores o actuadores para que la placa pueda enviarles las órdenes pertinentes, a los pines-hembra digitales de propósito general se les llama pines GPIO (*General Purpose Input/Output*) (Arduino, 2017).

Tiene 16 entradas analógicas en forma de pines-hembra etiquetados como A0 hasta A15 que pueden recibir voltajes dentro de un rango de valores continuos de entre 0 y 5 V. A pesar de esto, la placa sólo funciona con valores digitales, por eso se necesita convertir los valores analógicos en digital, mediante un circuito conversor analógico/digital incorporado en la propia placa, el cual es de 6 canales (uno por cada entrada) y cada canal dispone de 10 bits (los llamados bits de resolución) para guardar el valor del voltaje convertido digitalmente (Torrente, 2013).

Existen diferentes tipos de módulos para conectarlos en las diferentes entradas de la placa como: interruptores, relevadores, pantallas, micrófono cámara, sensores de rotación, sonido, humo, infrarrojos, táctil, temperatura, humedad, etc. Para que dichos módulos funcionen adecuadamente se necesitan librerías que proporcionan la funcionalidad extra en los *sketches*, esto ayuda a manipular los datos en diferentes formatos. Los planos de dichos módulos están bajo la licencia *Creative Commons*, por lo que puede haber varias versiones de un mismo sensor por lo que es necesario calibrarlos.

La calibración se refiere al proceso de comparación periódica entre uno o varios instrumentos de exactitud no verificada, con un instrumento de medida patrón o un sistema de exactitud conocida, con el objeto de asegurar una exactitud especificada trazable según normas internacionales, lo que en términos generales es la comparación entre lo que indica un instrumento y lo que debería indicar, de acuerdo con un patrón de referencia con valor conocido (Creus, 2009).

Los procedimientos de calibración pueden ser genéricos para un tipo de instrumentos, o específicos para un instrumento determinado. La calibración de este último, debe realizarse de acuerdo con las especificaciones dadas por el fabricante.

Los módulos MQ son los sensores que se encargan de la detección de gases, en el Cuadro 1 se listan algunos modelos, son utilizados en interiores y a temperatura ambiente, su funcionamiento depende de un calentador en su

interior con un sensor electroquímico, se pueden calibrar dependiendo de la resistencia de carga, pero se necesita la concentración conocida del gas, su salida es una señal analógica (Arduino, 2017).

Cuadro 1. Lista de sensores y gases que detectan (Arduino, 2017)

Sensor	Sensible a gases
MQ2 al MQ9	Metano, butano, GLP, humo, alcohol, etanol, gas GNC, monóxido de carbono, hidrógeno
MQ131	Ozono
MQ135	Calidad del Aire, benceno, Alcohol, humo, dióxido de carbono, butano, amoníaco
MQ136	Sulfuro de hidrógeno.
MQ137	Amoníaco
MQ138	Benceno, tolueno, alcohol, acetona, propano, gas formaldehído, hidrógeno.
MQ214	Metano, gas natural
MQ216	Gas natural, Gas de carbón

El sensor necesita dos voltajes de entrada, el voltaje de calentador (VH) encargado de suministrar la temperatura al sensor y el voltaje de circuito (VC) quien suministra el voltaje de detección de la resistencia de carga, el circuito básico del sensor se muestra en la Figura 3 (Winsen, 2015).

Se necesita un voltaje de 5 V para elevar la temperatura (50 o 60 °C) del calentador interno, existen algunos sensores que necesitan voltaje de 2 V, esto se pueden crear con una señal de Modulación de Ancho de Pulso (PWM), con el comando *analogWrite* y un transistor o MOSFET de nivel lógico, después del tiempo de quemado, el calentador debe estar encendido durante tres minutos aproximadamente antes de que las lecturas se vuelvan estables (Arduino, 2017).

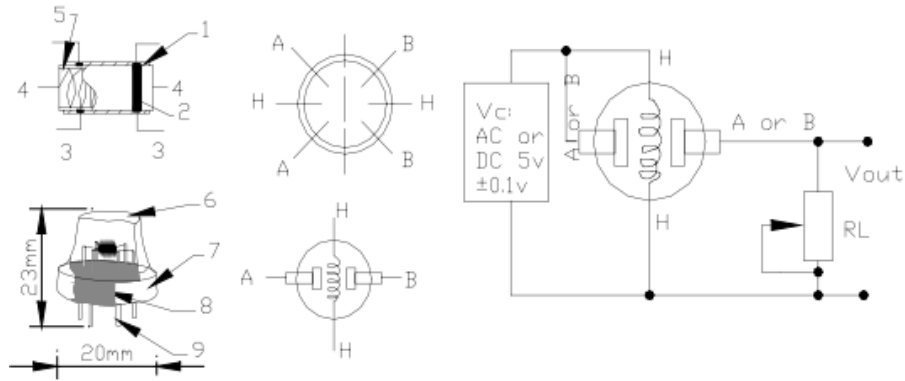


Figura 3. Diagrama del circuito del sensor MQ135 (Winsen, 2015).

El sensor MQ135 es utilizado para medir la calidad del aire, es sensible a gases como NH_3 , CO_2 , CO , NO_x , C_6H_6 , alcohol, humo, pero se debe conocer la resistencia de carga o Resistor Load (R_L) la cual es de $20\text{ K}\Omega$, que es usada para ajustar la sensibilidad del sensor para diferentes tipos de gases como se muestra en la Figura 4 (Winsen, 2015).

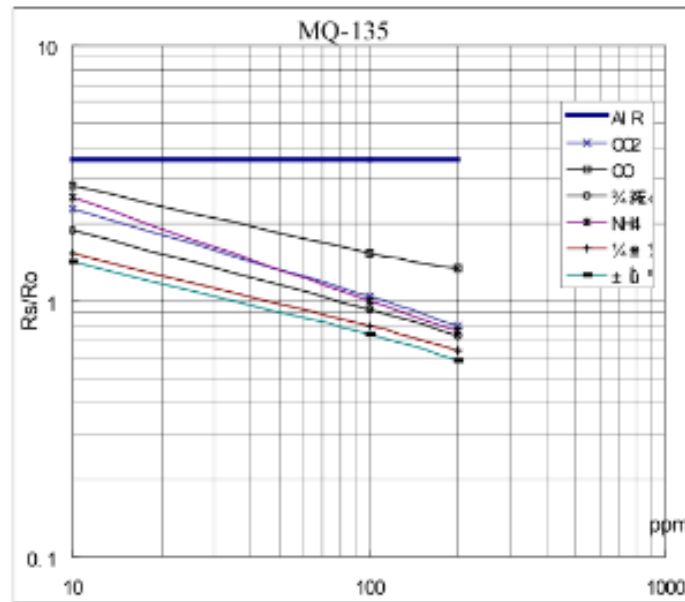


Figura 4. Gráfica de las características de sensibilidad el sensor MQ135 (Olimex, 2015)

Para medir temperatura ambiental y humedad relativa existen varios sensores, los más comunes son los DHT, utilizan tecnología de digital, está conectado en un chip de 8 bits, cuando el sensor detecta información es almacenada en la

memoria OTP (Arduino, 2017). Para comenzar a utilizarlo se deben conectar al GND, voltaje 5 V y el pin para los datos, el cual es el que registra los valores tomados por el sensor. Existen 5 modelos DHT11, DHT21, DHT22, DHT33 y DHT44, tienen bajo consumo de energía, su radio de medición es de hasta 20 m (Arduino, 2017). Los datos que envía al microcontrolador son de 40 b (16 b para la HR, 16 b para la temperatura y 8 b para la comprobación), por ejemplo, el sensor lee 0010 0001 para HR y 0001 1010 para temperatura, lo que es igual a 33% de HR y 26 °C de temperatura, respectivamente (Figura 5) (Liu, 2014).

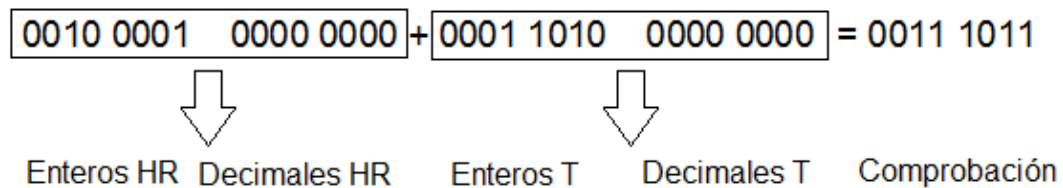


Figura 5. Datos que envía el sensor DHT11.

La Figura 6 muestra el funcionamiento del sensor DHT11, inicia cuando es conectado a la energía, tarda un segundo en estabilizarse, posteriormente el microcontrolador envía una señal al DHT11, el cual pasa de modo de bajo consumo de energía al modo de funcionamiento, posteriormente el DHT11 envía la señal de respuesta de 40 b, una vez que los datos son recolectados cambia al modo de bajo consumo hasta que reciba una nueva señal de inicio del microcontrolador.

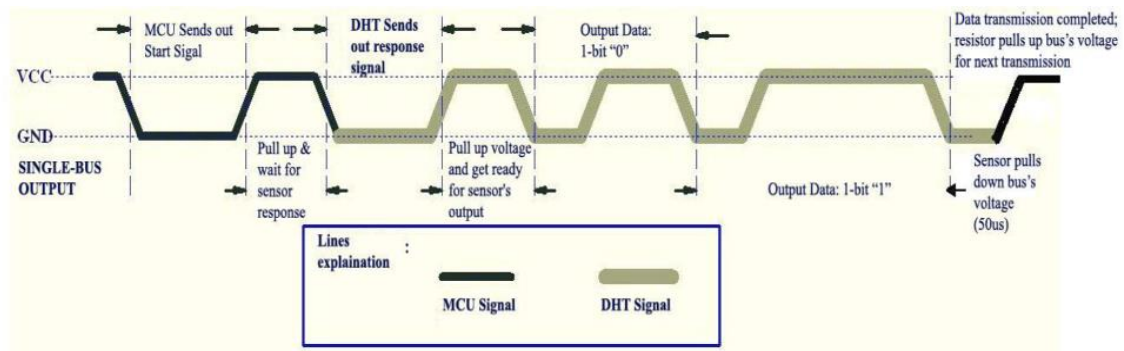


Figura 6. Comunicación entre microcontrolador y DHT11 (Liu, 2014).

El *shield* o escudo es una placa de circuito impreso que se coloca en la parte superior de la placa Arduino, su función es actuar como placas supletorias, para ampliar las capacidades y complementar la funcionalidad de la placa Arduino de

una forma más compacta y estable. Los *shields* comparten las líneas GND, 5 V (o 3 V), RESET y AREF con la placa Arduino, y además suelen monopolizar el uso de algunos pines de E/S para su propia comunicación, por lo que estos quedan inutilizados para cualquier otro uso (Torrente, 2013).

También hay que tener en cuenta los requerimientos de alimentación eléctrica que necesitan los *shields*. Una placa Arduino recibe alrededor de 500 mA (ya sea mediante conexión USB o mediante conexión *jack* externa), por lo que la corriente que queda para el funcionamiento de un posible *shields* es pequeña. Ejemplos de *shields* que consumen mucho (de hasta 300 mA) son los que tienen pantallas LCD o los que proporcionan conectividad Wi-Fi. También hay que tener en cuenta que si un *shield* necesita una tensión de 3.3 V para su funcionamiento (Torrente, 2013).

Existen diversos trabajos en los que se utiliza Arduino, uno de ellos es el Zade, Harwani y Bawankule (2017), en donde desarrollaron un diseño de monitoreo de temperatura ambiental y humedad relativa, de bajo costo, en un invernadero, el sistema es capaz de controlar los parámetros esenciales para el crecimiento de las plantas, y tiene la característica de que se comunica con el servidor web para controlar y vigilar el invernadero.

El sensor LDR es un dispositivo cuya resistencia varía en función de la luz recibida. Esa variación puede medir, a través de las entradas analógicas, una estimación del nivel de luz. Está constituido por un semiconductor, típicamente sulfuro de cadmio (CdS) (Figura 7). Al incidir la luz los fotones son absorbidos, y provocan que electrones pasen a la banda de conducción y, por lo tanto, disminuyen la resistencia del componente. Los valores típicos son de 1 M Ω en total oscuridad, a 50-100 Ω bajo luz brillante. Sin embargo, la variación de la resistencia es relativamente lenta, de 20 a 100 ms. Esto significa que no es posible registrar variaciones rápidas, como las producidas por fuentes de luz artificiales alimentadas por corriente alterna. Esto se podría tomar como una ventaja pues dota al sensor de una gran estabilidad (Krishnamurthi et al., 2015; Opiron, 2012).

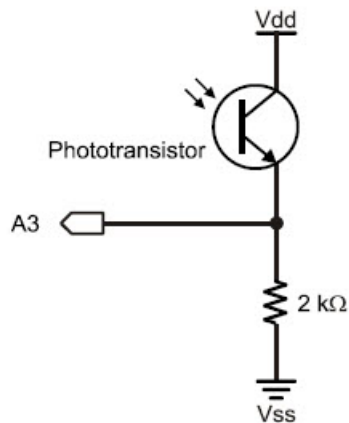


Figura 7. Diagrama esquemático del sensor de luz.

2.2. Producción avícola

La carne de pollo es un alimento nutritivo que aporta proteínas, vitaminas, y minerales (potasio, calcio y fósforo) (Castañeda et al., 2013). La carne de pollo, comparada con la carne bovina y porcina, contiene menor cantidad de grasa, es más barata y de fácil preparación, por lo que es preferida por el consumidor (Friedmann & Weil, 2010).

La avicultura es un sistema de producción pecuaria que ha alcanzado altos niveles productivos y tecnológicos, es una actividad eficiente que permite obtener productos de excelente calidad, en periodos cortos de tiempo, lo que la hace una buena alternativa para satisfacer la demanda de la población, las principales líneas de pollos de engorda son Ross y Cobb (Meléndez & Juárez, 2014).

Los tipos de productores que hay en México se clasifican de acuerdo al número de animales en su parvada, para los pollos de engorda están los productores grandes, medianos y pequeños. El sistema de producción extensivo está desarrollado por pequeños productores y el intensivo es el aplicado por las empresas comerciales (Friedmann & Weil, 2010).

Otra clasificación de los productores avícolas depende de la escala de producción, en estados como Querétaro, se considera como pequeños al grupo de productores que engordan entre 10 mil y 15 mil pollos por ciclo, medianos entre 5 y 10 millones y grandes son los que tienen la capacidad de tecnificar sus instalaciones y seguir los lineamientos establecidos por las empresas, sus escalas de producción son arriba de 100 mil pollos por ciclo (Real, 2005).

Para que el pollo de engorda alcance el peso para el mercado en 35 o 49 días depende de cuatro aspectos importantes, el primero es la genética, esto es que las características heredadas por sus padres deben estar dirigidas a producción de grandes masas musculares; el segundo es la nutrición, para que un animal pueda expresar su potencial genético es necesario tener una adecuada alimentación, el pollo necesita dietas balanceadas en su etapa de crecimiento para lograr su desarrollo y peso de mercado; el tercero es la sanidad, esto es que las aves deben estar libres de enfermedades, ya que si el animal no está sano, no se puede enfocar en el crecimiento por lo que se vuelve ineficiente y poco rentable, un elemento clave es la bioseguridad, la cual consiste en acciones para evitar la salida y entrada de gérmenes a las naves; por ultimo está el manejo, son las actividades que se realizan dentro de la nave enfocadas a bienestar y *confort* de los animales, esto para asegurar la eficiencia productiva (Castañeda et al., 2013).

2.2.1. Situación actual

El sector avícola juega un papel muy importante en la alimentación de las personas, en México, seis de cada diez personas consumen productos avícolas debido a que el precio del huevo y pollo se han reducido en términos reales en la última década (UNA, 2016). Se ha mantenido un crecimiento constante, durante la última década, la producción y el consumo de carne de pollo crecieron a tasas promedio anuales de 2.4 y 3.1%, respectivamente, se ubicaron en niveles máximos históricos de 2.88 y 3.48 millones de toneladas en 2014, esto significa incrementos de 2.5 y 3.0% con respecto a 2013 (AFIRA, 2015).

Los principales países productores de pollo en el mundo son Estados Unidos, China y Brasil, México ocupa el séptimo lugar (Figura 8), en cuanto a la producción nacional, los principales estados son Aguascalientes, Querétaro, Veracruz y La Laguna (Figura 9) (UNA, 2016).

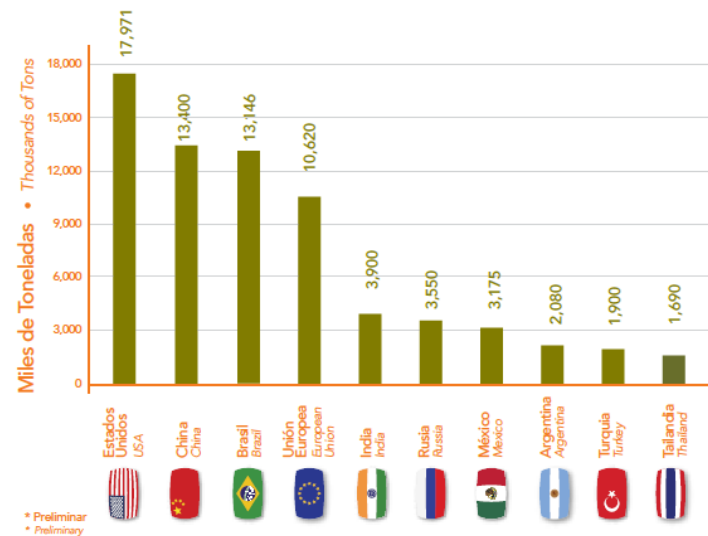


Figura 8. Principales países productores de pollo en 2016 (UNA, 2016).

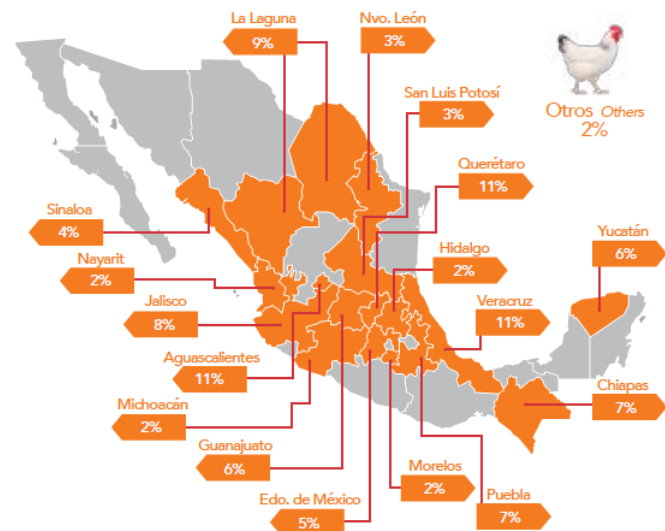


Figura 9. Principales estados productores de pollo en 2016 (UNA, 2016).

En la Figura 10 se puede observar que, comparado con otros, la producción avícola es del 63.6%, y la de pollo es del 34.7%. En México el consumo per-cápita de pollo ha aumentado de 25.8 Kg en 2012 al 25.9 Kg en 2013 (UNA, 2016).

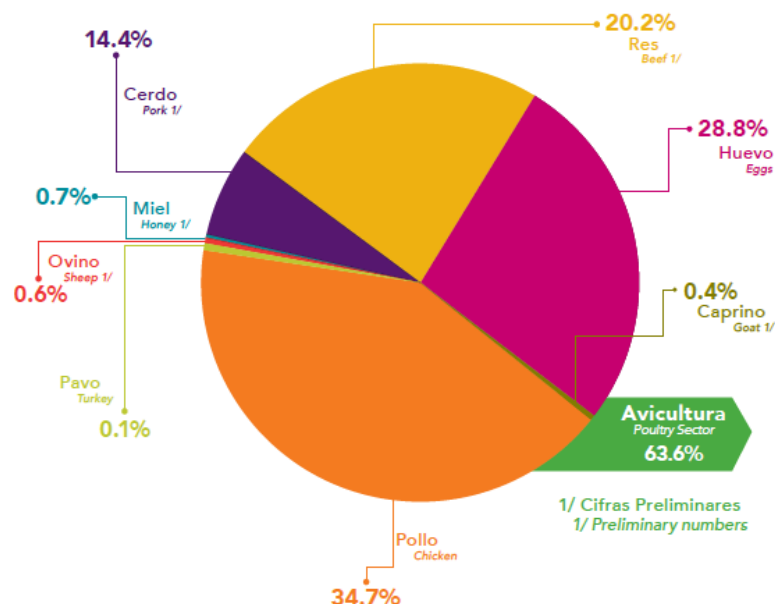


Figura 10. Producción pecuaria en 2016 (UNA, 2016).

2.3. Factores que afectan el crecimiento y la calidad del pollo

En la crianza de pollos de engorda existen diversos factores que determinan una buena producción, por ejemplo, los pollos de un día de edad, son incapaces de regular su temperatura, por lo tanto, se necesita proveerles calor artificial mediante criadoras o focos. La cama de la nave debe ser de calidad, ya que funciona como aislante térmico entre los pollos y el piso. La concentración de gases también influye en el crecimiento, ya que bajos niveles de oxígeno ocasionan problemas de salud, esto evita, que el pollo se desarrolle adecuadamente (Castañeda et al., 2013).

El síndrome ascítico en los pollos de engorda, es una manifestación patológica, que está relacionado con diferentes agentes causales, y su principal manifestación clínica consiste en la acumulación de fluido corporal a nivel de cavidad abdominal. Esta enfermedad provoca importantes pérdidas económicas en la industria avícola del mundo, calculándose en más de un billón de dólares (Arce, Ávila & López, 2002), en Perú es una barrera para la crianza intensiva del pollo de engorde en la región andina.

Las diversas causas que provocan el síndrome ascítico en pollos de engorde, son: factores genéticos, alimenticios, climatológicos y sanitarios. Dentro de cada uno de ellos se resalta algunos aspectos que han sido determinados a través de la experimentación.

2.3.1. Bienestar animal

Bienestar animal es el modo en que un animal afronta las condiciones de su entorno, surgió en países europeos a mediados del siglo XX, se dice que un animal está en buenas condiciones de bienestar, cuando está sano, cómodo, bien alimentación y en seguridad, para que pueda expresar su máximo potencial productivo (Sánchez, Maimran & Segura, 2014).

Las aves bien cuidadas cumplen mejor los objetivos de peso al sacrificio y tienen menos probabilidades de ser rechazadas por los consumidores (Aviagen, 2014).

En Europa, desde el 1 de julio de 2010 se establecieron las normas mínimas para la protección de los pollos destinados a la producción de carne, esta norma se aplica en todas las granjas de producción de más de 500 pollos de carne que establece requisitos generales para todas las explotaciones y adicionales dependiendo de la densidad de cría (Sánchez et al., 2014).

En México existen cuatro normas oficiales enfocadas a la protección y el bienestar animal: NOM-033-ZOO-1995 que se refiere al sacrificio humanitario de los animales domésticos y silvestres, NOM-045-ZOO-1995 de características zoonosanitarias para la operación de establecimientos donde se concentren animales para ferias, exposiciones, subastas, tianguis y similares, NOM-051-ZOO-1995 de trato humanitario para la movilización de animales y la NOM-062-ZOO-1995 de especificaciones técnicas para el cuidado y uso de los animales de laboratorio.

2.3.2. Densidad de pollos

La densidad poblacional en la nave tiene un impacto en el bienestar de las aves, y en su desempeño productivo, el área de piso que requiere cada ave depende del peso vivo, edad de sacrificio, clima, tipo de nave y equipo de ventilación (Aviagen, 2014). El Real Decreto 692/2010, en España, indica que la máxima de población en una nave avícola no excederá en ningún momento de 33 Kg de peso vivo por m² de zona utilizable. En caso de densidad superior, es necesario documentar la tasa de mortalidad diaria y acumulada, calculada por el titular o el criador, así como el híbrido o línea de los pollos.

Para la línea Ross 308, se deben colocar en un área de cinco por cinco m², lo que da como resultado, una densidad inicial de 40 aves por m², si se aumenta la poblacional, también deberán incrementarse el número de comederos y bebederos, así como la capacidad de calefacción de la criadora, para la Cobb, en climas cálidos, una densidad de lote de 30 Kg m⁻² es cercana a lo ideal (Aviagen, 2014; Cobb, 2013). La densidad máxima permitida para la manutención de pollos de engorda es de 36-39 Kg m⁻² (SAGARPA, 2009).

2.3.3. Alimentación

En la producción de pollos de engorda, el alimento representa una fuerte inversión, debe ser formulada con el equilibrio adecuado entre energía, proteína, amoniacos, minerales, vitaminas y ácidos grasos esenciales. El programa de alimentación debe ser formulado dependiendo de la etapa de iniciación, crecimiento y finalización (SAGARPA, 2009). Lesson y Summers (2009) mencionan cinco periodos de alimentación: pre-iniciadora de 7 a 10 días, iniciación de 11 a 17 días, crecimiento de 15 a 21 días, finalización de 5 a 17 días y retiro entre 5 a 10 días, depende de la edad de ave para el mercado.

Los ingredientes en las dietas deben ser de alta calidad, tanto en términos de digestibilidad de nutrientes como en calidad física. Los principales son: trigo, maíz, soja, soja con toda su grasa, harina de girasol, harina de colza, aceites y grasa, caliza, fosfato, sal, bicarbonato de sodio, minerales y vitaminas, otros aditivos como enzimas, absorbentes de micotoxinas. La composición que debe

tener el alimento, dependiendo del periodo en el que está el ave, dicha composición se muestra en el Cuadro 2. (Aviagen, 2014).

Cuadro 2. Valores recomendados para dietas de engorde(Aviagen, 2014).

	Energía (MJ/Kg)*	Proteína Bruta (%)	Lisina Total (%)	Metionina y Cistina Total (%)
Iniciador	12.65	22-25	1.43	1.07
Crecimiento	13.20	21-23	1.24	0.95
Finalizador	13.40	19-23	1.09	0.86

Energía Metabolizable (EM) expresada como Energía Metabolizable Aparente corregida a cero retenciones de nitrógeno (AMEn).

2.3.4. Calidad del aire dentro de la nave

La calidad del aire es un factor muy importante en la producción avícola, ya que influye tanto en la salud, producción y bienestar animal de las aves, así como en la salud humana y el ambiente (Vázquez, 2011).

Para una buena producción de pollos es necesario satisfacer las necesidades de los animales. Lo primero que se debe monitorear es el comportamiento de los pollos para saber si están en *confort*, otro indicador clave es el ambiente, pues estos generan problemas costosos que no son tomados en cuenta. En la actualidad se realizan prácticas como la suministración de oxígeno, eliminación de humedad y amoníaco y regulación la temperatura (Donald, 2009).

La ventilación es la herramienta más importante de manejo del ambiente de la nave, es cuando se introduce aire exterior a la nave y se saca el aire que está dentro. Una ventilación adecuada significa remover la cantidad correcta de aire en el momento preciso y de manera tal que modifique la temperatura, humedad y concentración de gases, a valores óptimos para el desarrollo de las aves (Donald, 2009).

Es importante que las aves tengan niveles adecuados de oxígeno, humedad relativa y mínimos niveles de dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), amoníaco (NH₃) y polvo, Una ventilación mínima e inadecuada da como

resultado una baja calidad de aire dentro de la nave, esto trae como consecuencia elevados niveles de NH_3 , CO_2 , temperatura y humedad y lo que ocasiona un aumento en el estrés calórico y los síndromes productivos relacionados como ascitis (Cobb, 2013).

El amoniaco es un gas producido naturalmente en el suelo por bacterias, por plantas y animales en descomposición y por desechos de animales que se usan como abono para el suelo después de su descomposición (Merchán & Quezada, 2013). Tiene un olor fuerte cuando hay una mayor concentración del gas (50 ppm) en el aire. El amoniaco puede llegar al aire por plantas de producción y depósitos, gasoductos, camiones que transportan amoniaco o por la fertilización de campos de cultivo (IPC & IDPH, 2005).

Yahav (2004) indica que el rendimiento y la termorregulación de los pollos de engorda, varían dependiendo de las concentraciones de amoniaco (NH_3) (54 ± 5 ppm), temperatura del ambiente (32°C) y humedad relativa (60 – 65%). Yahav (2004) reportó que el peso corporal y la ingesta de alimento disminuyeron significativamente, al aumentar la concentración de amoniaco en el aire. También se afectó la capacidad de los pollos para termorregularse.

Merchán y Quezada (2013) mencionan que la intensificación de la producción avícola ha ocasionado problemas ambientales, principalmente se deteriora la calidad del aire por la emisión de partículas y gases nocivos, siendo el amoniaco uno de los más perjudiciales y abundante.

Si se sobrepasan los límites de exposición de los pollos, al amoniaco, se producen efectos adversos en la salud tales como: quemaduras de patas, lesiones de ojos, ampollas en la pechuga/lesiones de piel, bajo peso corporal, baja uniformidad, también son más susceptibles a padecer enfermedades respiratorias ya que daña el tejido pulmonar, como la enfermedad de Newcastle, aerosaculitis, infecciones por *E.coli*, coccidiosis y al disminuir la capacidad pulmonar de intercambio gaseoso se favorece el desarrollo de ascitis (Beker et al., 2004). Estos problemas afectan directamente la producción ya que consumo

de alimento disminuye y los niveles de mortalidad suben (Merchán & Quezada 2013).

En las naves de engorde, se llegan a alcanzar hasta 50 ppm de amoniaco, lo cual es peligroso para los pollos, exposiciones continuadas a 50 ppm pueden llegar a reducir el crecimiento de los pollos hasta un 8% a las siete semanas, se ha demostrado que niveles inferiores a 25 ppm proporcionan mejores índices productivos así como una mayor uniformidad en los lotes, es por ello que las concentraciones de NH_3 no deben ser superior a 20 ppm (Cobb, 2013; Reece, Lott & Deaton, 1981).

Las condiciones de alojamiento en las naves convencionales, implican variaciones considerables de temperatura y mala ventilación, debido a esto se acumulan agentes irritantes para el tracto respiratorio del animal, lo que ocasiona que los pulmones del pollo manifiesten daño oxidativo elevado durante la crianza (Arrieta et al.,1999).

Aray (2012) realizó un estudio en donde indica que los niveles de amoniaco influye directamente en los parámetros productivos de los pollos, los efectos negativos comienzan cuando las concentraciones superan las 20 ppm de amoniaco, se ven reflejados en los parámetros productivos como la ganancia de peso, la conversión y la reproducción, el reducir los niveles de amoniaco, ayuda a mejorar dichos parámetros. También afecta el rendimiento de los trabajadores, incrementa el consumo de energía por ventilación, provoca corrosión de los equipos metálicos y se generan olores desagradables.

Beker et al. (2004) relacionaron la incidencia de problemas en la salud de pollos de engorda comerciales, como lesiones traqueales, lesiones conjuntivas, síndrome ascítico, baja en el nivel hematocrito (HCT), ácido úrico en sangre (BUR) y nitrógeno ureico en sangre, con concentraciones altas de NH_3 (60 ppm). Determinando una baja en el consumo de alimento y menor rendimiento productivo.

El CO₂, es un gas producto de la respiración, es más denso que el aire y por eso suele acumularse a baja altura, en altas concentraciones es tóxico, la producción de CO₂ por parte de las aves es proporcional a su producción de calor metabólico, que depende del peso vivo metabólico, se relaciona con la temperatura y con su actividad, una buena ventilación es fundamental para evitar altas concentraciones de CO₂ (Calvet, Cambra-López, Estellés & Torres, 2011).

A cualquier edad de las aves la ventilación debe remover el exceso de calor, vapor de agua y CO₂, es importante que la nave esté equipada con sistemas de ventilación y, si fuese necesario, de calefacción y refrigeración, diseñados, contruidos y utilizados de manera que el CO₂ no supere las 3000 ppm, medidas al nivel de las cabezas de los pollos (Aviagen, 2014; Cobb, 2013).

El uso de herramientas para medir humedad relativa, dióxido de carbono y amoníaco permitirá una evaluación adecuada y cuantitativa de la nave.

2.3.5. Humedad

La humedad relativa (HR) en el interior de la nave debe ser monitoreada constantemente con la ayuda de un higrómetro, si llegara a estar por debajo de 50 % en la primera semana, el ambiente será seco y polvoroso, lo que ocasiona que los pollitos comiencen a deshidratarse y desarrollen predisposición a trastornos respiratorios. La HR de la criadora con bebederos de niple es de aproximadamente de 25 %. En las naves con equipos más convencionales, que tienen bebederos de campana, presentan una HR mucho más alta, normalmente por encima de 50 % (Aviagen, 2014).

Las naves se encuentran entre 60 y 70% durante los tres primeros días. Los pollitos que se mantienen en niveles apropiados de humedad tienen menos posibilidades de deshidratarse y por lo general tienen una iniciación mejor y más uniforme.

En casos de temperatura elevada (28-30 °C) y altos niveles de humedad relativa, el ave no puede evaporar por la vía pulmonar (mediante el jadeo) toda el agua

que necesita para mantener su temperatura corporal, esto empeora el estrés térmico y se produce el denominado golpe de calor. Es muy importante evitar heces líquidas para no incrementar los niveles de humedad en la cama (Barroeta, Izquierdo & Pérez, 2014).

2.3.6. Temperatura

Las aves no tienen un control eficiente de su temperatura corporal desde que nacen hasta los 15 - 20 días, posteriormente, el calor depende de la interacción del animal con el medio, las formas en las aves pierden calor son: convección, que serán mayores en función del aire y su movimiento; conducción por contacto de patas y abdomen con la cama, depende de la capacidad de aislamiento del material y el grosor de la cama; radiación hacia otros objetos más fríos, es mayor con temperaturas ambientales más bajas; y evaporación de agua a través de la respiración (Guitarte, 1995).

El pollo se encuentra en equilibrio térmico cuando el calor perdido es igual al calor producido, para poder mantener dicho equilibrio, la temperatura ambiental ha de ser la adecuada a su edad, desde el primer día, en el que los pollos llegan a la nave (30 °C) y va bajando gradualmente conforme van creciendo, después de los 27 días de edad, la temperatura debe permanecer a 20 °C, o se debe ajustar dependiendo del comportamiento (Aviagen, 2014).

La temperatura rectal de un pollo al nacer es de 37.5 °C, a los 15 días, de 41.5 °C, si la temperatura del ambiente se encuentra entre 20 y 28 °C, el pollito no puede mantener su temperatura corporal, que irá disminuyendo rápidamente, para llegar al límite letal inferior de 28 °C, por el contrario, a 38 °C, la temperatura del pollito alcanza el límite letal superior que es aproximadamente 47-48 °C (Barroeta et al., 2014).

En aves adultas la zona de *comfort* térmico es más amplia, en gallinas podría situarse entre los 10 y los 23 °C. Por eso es importante que los pollitos recién nacidos reciban la temperatura que necesitan. Los animales se deben mantener

en la zona de neutralidad térmica, donde se sientan *confortables*. La temperatura varía con la edad y depende de otros factores como la humedad relativa del ambiente (Barroeta et al., 2014).

El consumo de agua varía dependiendo de la temperatura ambiental, calidad del alimento y sanidad del lote, aumenta su consumo un 6 % por cada grado extra de temperatura entre los 20 y los 32 °C, aumenta un 5 % por cada grado extra de temperatura entre los 32 y los 38 °C y disminuye un 1.23 % por cada grado extra de temperatura entre sobre los 20 °C (Cobb, 2013).

2.3.7. Iluminación

En la producción avícola se tienen que implementar programas de iluminación para modificar el crecimiento de las aves, por lo que contar con ciclos definidos de luz y oscuridad ayuda a que las aves tengan patrones naturales de crecimiento, desarrollo y comportamiento (Aviagen, 2014).

Los programas de iluminación deben ser simples y fáciles de implementar, están sujetos a las legislaciones locales, las cuales deben tenerse en cuenta en el diseño del programa, están diseñados para impedir el crecimiento excesivo entre los 7 y los 21 días de edad, ya que reducen la mortalidad debido a ascitis, síndrome de muerte súbita, problemas de patas y picos de mortalidad de causas desconocidas (Cobb, 2013)

Después de los 7 días de edad, el suministro de 5 horas de oscuridad puede ser óptimo (4 - 6 horas), la intensidad lumínica, pero una intensidad de 30-40 lux (3 - 4 pies candela) durante los primeros 7 días de edad, y de al menos 5-10 lux (0.5 - 1.0 pies candela) a partir de entonces, mejorará el consumo de alimento y el crecimiento, a baja intensidad de la luz durante el día (menos de 5 lux por 0.5 pies candela) puede tener un impacto negativo en la mortalidad, la conversión alimenticia y el crecimiento (Aviagen, 2014).

2.4. Literatura citada

- AFIRA. (2015). Panorama Agroalimentario. Avicultura carne 2015. *Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial*. Consultado en diees@fira.gob.mx.
- Aray Z., J. B. (2012). Alternativas para disminuir la emisión de Amoníaco en granjas avícolas en el Cantón Balsas. (Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil), 74.
- Arce, M. J., Ávila, G. E. & López, C. C. (2002). Edad de reproductora pesada y peso del huevo sobre los parámetros productivos y la incidencia del síndrome ascítico en la progenie. *Técnica Pecuaria México*, 40(2), 149–155.
- Arduino, A. (2017). What is Arduino? Consultada en <https://www.arduino.cc/>.
- Arrieta A, J. M., Díaz C., A., Ávila G., E., Guinzberg P., R. & Pilla G., E. (1999). Daño oxidativo pulmonar del síndrome ascítico en pollos de engorda con dosis altas de vitaminas E y C. *UNAM*, 47–55.
- Aviagen. (2014). Manual de manejo del pollo de engorde Ross 308. Consultado en www.aviagen.com.
- Barragán, H. (2011). Wiring. Consultada en <http://wiring.org.co>.
- Barroeta, A. C., Izquierdo, D. & Pérez, J. F. (2014). Manual de avicultura. Breve manual de aproximación a la empresa avícola para estudiantes de veterinaria. *Departamento de Ciencia Animal y de Alimento*.
- Beker, A., Vanhooser, S. L., Swartzlander, J. H. & Teeter, R. G. (2004). Atmospheric Ammonia Concentration Effects on Broiler Growth and Performance. *Poultry Science Association*, 13 (1), 5–9.

- Campo, J. L., Gil, M. G. & Dávila, S. G. (2002). El bienestar de los animales domésticos. Departamento de Mejora Genética, Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria. Madrid.
- Calvet, S., Cambra-López, M., Estellés, F. & Torres, A. G. (2011). Characterization of gas emissions from a Mediterranean broiler farm. *Poultry Science*, 90(3), 534–42.
- Castañeda S., M. del P., Braña V., D. & Martínez V., W. (2013). Carne de pollo mexicana, Ajuchitlán, Colón, Querétaro: SAGARPA – CONACYT.
- CEPYME. (Confederación de la Pequeña y Mediana Empresa Aragonesa). (2004). Manual para la evaluación y prevención de riesgos en líneas automáticas de producción. Consultado en www.conectapyme.com/documentacion/2011-DGA2.pdf.
- CGMINERÍA. (Coordinación General de Minería). (2009). Procedimiento para el monitoreo y control de tecnologías de información. México.
- Cobb. (2013). Guía de Manejo del Pollo de Engorde. Consultado en www.pronavícola.com/contenido/manuales/Cobb.pdf.
- Creus S., A. (2009). Instrumentos Industriales, su ajuste y calibración (3ª ed.). Bogotá: Alfaomega
- Díaz S., J. (2007). Open hardware y software, herramientas para el desarrollo de competencias educativas. *Revista Iberoamericana de Producción Académica Y Gestión Educativa*, 2(2007–8412), 1–19.
- Donald, J. O. (2009). Manejo del ambiente y en el galpón de pollo de engorde. Estados Unidos: Aviagen.
- Fernández Poza, M. del M. (2007). Mejores técnicas disponibles para control de la contaminación en granjas avícolas de puesta. *Mundo Ganadero*, 198, 4.

- FAO. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Roma, Italia: Secretaría del Foro de Alto Nivel de Expertos. Consultada en <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/I>.
- Friedmann, A. & Weil, B. (2010). Producción avícola, negocio en crecimiento. Paraguay Vende. Paraguay: *USAID*.
- Gómez de Silva G., A. & Ania B., I. de J. (2008). Introducción a la computación. México: Cengage Learning.
- Guerrero O., H. A. (2009). Monitoreo y control de la calidad del aire al interior de una granja avícola (amoníaco NH_3 y Dioxido de Carbono CO_2). (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro).
- Guitarte G., J. L. (1995). Manejo de pollos de engorde. *Veterinarios Sin Fronteras*, 11, 7.
- Hopcroft, J., Motwani, R. & Ullman, J. (2008). Introducción a la teoría de autómatas, lenguajes y computación. *Pearson Prentice-Hall* (3ª ed.). Madrid: Pearson educación S. A. Consultado en <http://www.eafranco.com/docencia/teoriacomputacional/files/books/TeoriaDeAutomatas,lenguajesYComputacion-Hopcroft.pdf>.
- Huidobro, J. M., Novel, B., Calafat, C., Suller, E., Nogales E., A., Toledano, J. C. y Lastres, C. (2007). La Domótica como solución de futuro. Energy Management Agency. Madrid: APIEM.
- IPC, (Illinois Poison Center) & IDPH, (Illinois Department of Public Health). (2005). ¿Qué es el amoníaco? Illinois.
- Istrail, S. & Marcus, S. (2012). Alan Turing and John von Neumann - Their brains and their computers. In *13th International Conference on Membrane Computing*. Budapest, 7762: 26–35.
- Lamelas, K. (2004). Costos de producción en granjas integradas de pollos

parrilleros. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos*. Consultado en www.corti.org.ar/upload_folder/ejemplo.pdf.

Lesson, S. & Summers, J. (2009). *Commercial Poultry Nutrition* (3ª ed.). England: Nottingham University Press.

Liu, T. (2014). Digital relative humidity & temperature sensor RHT03. 2014, 1–6. Consultado en <http://dlmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/Weather/RHT03.pdf>.

Meléndez G., J. R. & Juárez R., T. (2014). Antecedentes de la Avicultura en México. *Los avicultores y su entorno*, 80, 120.

Mendiburu D., H. A. (2003). *Aplicación de la automatización industrial y el control de procesos, en la protección y conservación del medio ambiente*. Perú: INDECOPI.

Merchán V., I. S. & Quezada U., J. C. (2013). Reducción de amoníaco de la pollinaza de pollos broiler mediante la adicción de zeolita en la ración alimenticia durante el periodo de crianza en la parroquia Paccha del cantón Cuenca, provincia del Azuay. (Tesis profesional, Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca).

Miller, R. & M. R. Miller, 2002, *Electronics the Easy Way* (3ª ed.), US, Barron's Educational.

Núñez, R. & Sosa, L. (2004). Generalidades sobre domótica e inmótica en Automatización integral de edificios. *EPSIG*. pp. 1–44.

Olimex. (2015). Technical Data. MQ135 Gas Sensor. Consultado en <https://www.olimex.com/>.

Opiron. (2012). *Detección de luz con sensor LDR*. Consultado en www.opiron.com/.

- Real C., G. (2005). Los sistemas de articulación en la industria avícola queretana, impacto del entorno global en el ámbito local. (Tesis de doctorado, Universidad Iberoamericana).
- Reece, F. N., Lott, B. D. & Deaton, J. W. (1981). Low Concentrations of Ammonia During Brooding Decrease Broiler Weight. *Poultry Science*, 60 (5), 937–940.
- Retrato I, L. J. & Colado P., E. (2015). Una mirada histórica del desarrollo de la educación científica en la república de Angola: los estudios ciencia, tecnología y sociedad una necesidad en el currículo de la escuela de formación de profesores. *Órbita Científica*, 21(82), 8.
- Romero M., C., Vázquez S., F. & Castro L., C. (2010). Domótica e Inmótica. Viviendas y Edificios Inteligentes (2ª ed.). España: Ra-Ma.
- Romo Z., F. (2004). Entre lo analógico y lo digital. *DGSCA UNAM*, 1–4.
- Saavedra S., R. (2009). Automatización de viviendas y edificios. Barcelona, España: Ceac.
- SAGARPA. (2009). Manual de Buenas Prácticas Pecuarias en Unidades de Producción de Pollo de Engorda. México: UNA.
- Sánchez F., L. M., Maimran S., D. & Segura B., D. A. (2014). Bienestar animal en una explotación de gallinas de pollos de carne. *Política Agraria y Desarrollo Rural*, 1–19.
- Stuart, J. C. (1991). Síndrome de ascitis-muerte súbita-neumonía. *Selecciones Avícolas*, 540–552.
- Torrente, Ó. (2013). ARDUINO, Curso básico de formación. México: Alfaomega. Consultado en <https://doi.org/9788494072505>.

- Turing, A. M. (1996). Intelligent Machinery, A Heretical Theory. *Philosophia Mathematica*, 4(3), 256–260. Consultado en <https://doi.org/10.1093/philmat/4.3.256>.
- UNA, (Unión Nacional de Avicultores). (2016). Indicadores Económicos. Consultado en <http://www.una.org.mx/index.php/component/content/article/2-uncategorised/19-indicadores-economicos->.
- Valdés P., F. E. & Pallás A., R. (2007). Microcontroladores: Fundamentos y Aplicaciones con Pic. España: Marcombo.
- Vallejo, H. D. (1970). PLC. Los Controladores Lógicos Programables. *Saber Electrónica*, 166, 3–11.
- Vázquez B., S. (2011). Efecto del volteo de la cama sobre la calidad del aire en la cría de pollos de engorde (Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Valencia).
- Vásquez-Unyen, M. (2014). Factibilidad técnica y económica de la tecnologización de galpones para gallinas ponedoras en Chiclayo. (Tesis Profesional, Universidad de Piura).
- Winsen. (2015). Air Quality Gas Sensor. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. Consultado en www.winsen-sensor.com/d/files/semiconductor/mq135.pdf.
- Yahav, S. (2004). Ammonia affects performance and thermoregulation of male broiler chickens. *EDP Sciences*, 53 (4), 289–293. Consultado en <https://doi.org/10.1051/animres>.
- Zade, A. V, Harwani, S. & Bawankule, P. (2017). A Smart Green House Automation System by Wireless Sensor Networks. *International Journal of Research in Advent Technology*, 5(3), 48–50.

3. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE TEMPERATURA AMBIENTAL Y CONCENTRACIÓN DE GASES PARA NAVES AVÍCOLAS

3.1. Resumen

En México, la mayoría de los pequeños productores carecen de un sistema de monitoreo de temperatura ambiental y concentración de gases, lo que ocasiona problemas sanitarios en las aves y una producción ineficiente en el uso de recursos e ineficaz para alcanzar los parámetros productivos que demanda el mercado. Los objetivos de ésta investigación fueron: diseñar, ensamblar y programar un sistema de monitoreo de factores ambientales; comparar los datos digitales con datos analógicos; evaluar la viabilidad de la automatización; y valorar el funcionamiento ininterrumpido del sistema para ser implementado en naves avícolas. Se construyó el sistema con una placa Arduino Mega y sensores DHT11, MQ135, FC-28 y LED RGB, la calibración del sensor se hizo con la comparación de los datos digitales (DHT11) con un patrón de referencia analógico. El sistema se instaló en una nave avícola de la Granja Experimental de la UACH. Se consideró un modelo completamente al azar ($Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$) y una prueba de medias de Tukey para comparar los datos digitales con los analógicos de temperatura ambiental. Una vez construido el sistema se obtuvieron lecturas digitales de temperatura, ambiental (12 a 42 °C), humedad relativa (25 a 93 %) concentración de gases (36 a 253 valor analógico) y humedad de suelo (378 a 1023 valor analógico). No hubo diferencias ($P > 0.01$) entre los datos digitales ($\bar{x} = 26.83$ a °C) y analógicos ($\bar{x} = 27.03$ a °C). Para la automatización se encendía el LED RGB a 23 °C. El sistema funciona ininterrumpidamente durante 17 días seguidos. Se consideró que el sistema funcionó adecuadamente para realizar el monitoreo de factores ambientales en naves avícolas, los datos analógicos y digitales de temperatura fueron equivalentes. Así mismo, es viable la automatización del sistema y funciona de forma consecutiva en periodos largos de tiempo.

Palabras clave: monitoreo, sensores, temperatura ambiental, calibración.

DEVELOPMENT OF A SYSTEM OF MONITORING OF TEMPERATURE AND CONCENTRATION OF GASES FOR POULTRY SHIPS

3.2. Abstract

In Mexico, most of small poultry producers lack of a monitoring system for environmental temperature and gas concentration, which causes poultry health problems and its production is inefficient in the use of resources and ineffective to reach the productive parameters demanded by the market. This research was carried out to design, to assemble and to program an environmental monitoring system. The second goal was to compare digital data with analog data. The third goal was to evaluate the feasibility of automation. And fourth one was to evaluate the uninterrupted operation of the system to be implemented in poultry houses. The system was built with an Arduino Mega board and DHT11, MQ135, FC-28 and RGB LEDs. Sensors calibration was performed, through a comparison of digital data (DHT11) with an analog data standard reference. The system was installed in poultry house of the Experimental Farm of "UACH". A completely randomized model ($Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$) was considered to compare the digital data with the analog ones, a Tukey mean test was performance to compare the digital data with the analogue ambient temperature. The results showed digital readings of temperature (12 to 42 ° C), relative humidity (25 to 93 %) gas concentration (36 to 253 analogue value) and soil moisture (378 to 1023 analog value). There were no differences ($P > 0.01$) among the digital temperature ($\bar{x}=26.83a$ °C) and analog one ($\bar{x}=27.03a$ °C). For automation evaluation, the RGB LED was turned on at 23 °C. The system worked continuously for 17 days in a row. There for it is concluded that the system worked adequately to carry out the monitoring of environmental factors in poultry houses, analogue and digital temperature data were equivalent. Also, it is viable the automation of the system and works consecutively in a long periods of time.

Keywords: monitoring, sensors, ambient temperature, calibration.

3.3. Introducción

La producción avícola tecnificada en México juega un papel muy importante en proveer proteína de origen animal a bajo costo, debido a que es un sistema de producción eficiente en el uso de recursos y eficaz para alcanzar los objetivos de producción que demanda el mercado. Las grandes empresas avícolas cuentan con naves de grandes dimensiones con equipo automatizado que les permite tener un mejor control en la administración de su producción. Los pequeños productores producen con poca tecnología que les permita alcanzar metas productivas eficazmente tal como lo han evaluado Glatz & Pym (2010).

En México son escasos los trabajos realizados para los pequeños productores, se limitan a pruebas en menor escala, lo que dificulta su implementación a nivel comercial. Por lo que este trabajo se enfoca en el desarrollo de un sistema automático de bajo costo, expandible, versátil, diseñado para la producción avícola, dirigido, principalmente, a pequeños productores avícolas que carecen de sistemas de monitoreo de factores ambientales en sus naves y que desean mejorar tanto la eficiencia como la eficacia en alcanzar el objetivo de peso vivo que demanda el mercado.

Dado que la problemática tecnológica y ambiental de los pequeños productores avícolas es muy compleja, en ésta investigación se plantean cuatro hipótesis. La primera de ellas es que si es posible crear un sistema con sensores funcionales que detecten cambios ambientales en las naves avícolas. En segundo lugar, se tiene que el sistema electrónico de monitoreo sea exitoso se requiere una calibración previa, en donde los datos obtenidos por el sistema (datos digitales) sean similares a los datos analógicos del ambiente tomados de termómetros ordinarios. En tercer lugar, se plantea que si es viable la automatización del sistema con límites preestablecidos de temperatura. Finalmente se propone que el sistema funcione correctamente por periodos largos de tiempo, durante la engorda de pollos.

Es fundamental el acceso a dispositivos que ayudan a facilitar las tareas diarias, es por ello que la incorporación de herramientas tecnológicas en las investigaciones científicas ha ayudado a solucionar los problemas que surgen día a día (Pere & Vilanova, 2005).

Los sistemas inteligentes y de automatización han ido desarrollándose a lo largo de la última década, son parte del progreso industrial y son producto de la evolución del uso de técnicas de medición y control, sin embargo, su uso en sistemas de producción animal se ve limitado debido a los altos costos de implementación, por ello es que los sistemas automatizados de ventilación, calefacción y bebederos, los tienen las grandes empresas (Bullón, 2009; Lamelas, 2004).

Existen microempresas o industrias avícolas muy bien conformadas con problemas de alto consumo de agua, desperdicio de alimento y uso excesivo de recursos humanos; lo que aumenta los costos de producción. Por tal motivo, se desarrolló un sistemas de control y monitoreo de la nave avícola, principalmente para reducir los costos en granja, lo que permite una administración más cómoda, segura y confiable (San Lucas & Garzón, 2011).

Los objetivos de esta investigación fueron: en primer lugar, diseñar, ensamblar y programar un sistema de monitoreo de factores ambientales con sensores funcionales; en segundo lugar, comparar los datos digitales obtenidos de los sensores de temperatura con los datos de los termómetros analógicos; en tercer lugar, evaluar la viabilidad de la automatización con limites preestablecidos y finalmente valorar si el sistema funciona ininterrumpidamente por periodos largos de tiempo, para que cubra todo el periodo de engorda de los pollos.

3.4. Materiales y métodos

La metodología para probar las cuatro hipótesis planteadas fue la siguiente. En primer lugar, el diseño, construcción y programación del sistema, se presenta en el punto 3.4.2. En segundo lugar, la metodología para la comparación de datos analógicos y digitales se muestra en el punto 3.4.3. En tercer y cuarto lugar, la metodología en lo que concierne a la automatización y al funcionamiento ininterrumpido del sistema se encuentra en el punto 3.4.4.

3.4.1. Selección de los sensores

La selección de los sensores se realizó bajo los criterios de costo, rango de medida y facilidad de uso, siendo los más adecuados los siguientes. Una alternativa, accesible económicamente, para tecnificar las naves avícolas es la plataforma de fuente abierta Arduino, ya que al ser de fuente abierta la conviene en una herramienta accesible a cualquier persona.

Sensor DHT11

Es un sensor digital que proporciona la temperatura y la humedad relativa, utiliza un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir la temperatura del aire circundante (Figura 11), tiene un encapsulado con cuatro pines, su rango de medición de temperatura va de los 0 a 50 °C, con una resolución de 16 bit y precisión de ± 2 °C, y humedad relativa de 20 a 90 % con resolución de 16 bit, una tolerancia del 5 %.

La velocidad de refresco es de 2 segundos. Su ventaja frente a otros sensores como el LM35 radica en que es digital y no requiere de una conversión a nivel de software, además de que tiene el añadido de la lectura de humedad relativa. Sin embargo, se requiere de un proceso de calibración para asegurarse de que las medidas son las correctas. Su rango de trabajo a pesar de parecer limitado se encuentra dentro de los rangos en los que ésta cualquier nave avícola, es utilizado para desarrollos de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) (Aosong, 2010; Krishnamurthi, Thapa, Kothari & Prakash, 2015).

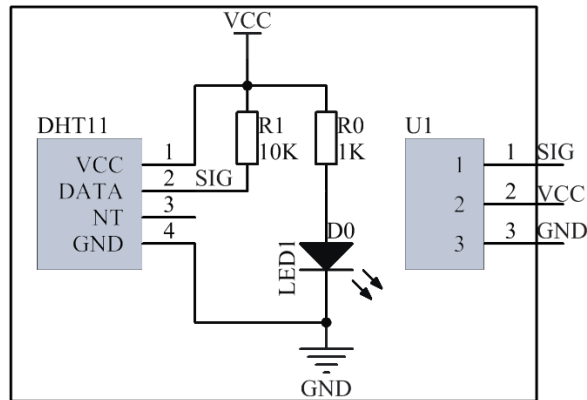


Figura 11. Diagrama esquemático del sensor DHT11.

Sensor de MQ135

Se utiliza para la detección de gases tóxicos que afectan la calidad del aire en interiores. La capa de detección de gas de la unidad del sensor está hecha de dióxido de estaño (SnO_2), ésta tiene una conductividad más baja en aire limpio, mientras que su conductividad es directamente proporcional a la contaminación del aire (Figura 12).

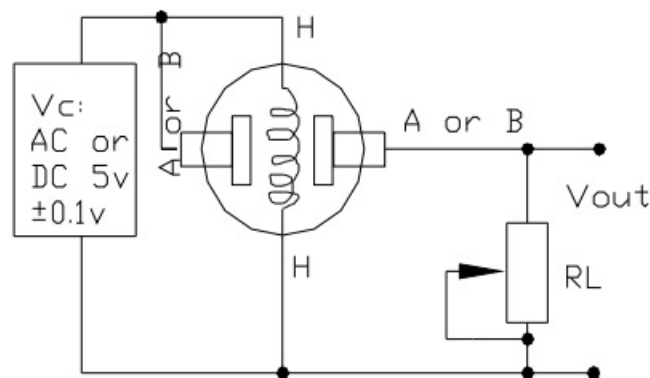


Figura 12. Diagrama esquemático del sensor MQ135.

El sensor reacciona con el amoníaco (NH_3), óxidos de nitrógeno (NO_x), benceno, CO_2 y otros gases nocivos. El rango de detección de NH_3 va de 10 a 300 ppm. Para calibrar el sensor se utiliza un potenciómetro que permite ajustar la resistencia de carga del circuito del sensor. Está diseñado para utilizar una fuente de alimentación de 5 V (Krishnamurthi et al., 2015; Sainsmart, 2013).

Sensor FC-28

Es un sensor que mide la humedad del suelo por medio de la variación de su conductividad, devuelve valores analógicos dependiendo de su conductividad por lo que requiere ajustes a nivel de software, debe ser alimentado con 3.3 a 5 V (Figura 13). El sensor se distribuye con una placa de medición estándar que permite obtener la medición como valor analógico o como una salida digital, activada cuando la humedad supera un cierto umbral. Los valores obtenidos van desde 0, saturación de agua, a 4000, en suelo seco. Un suelo ligeramente húmedo daría valores intermedios. La salida digital se dispara cuando el valor de humedad supera un cierto umbral ajustable. Una desventaja de este sensor es que no se cuenta con la calibración para transformar los datos analógicos a porcentaje de humedad. Sin embargo, se puede utilizar y obtener datos binarios (húmedo y seco) (Krishnamurthi et al., 2015; Sainsmart, 2012).

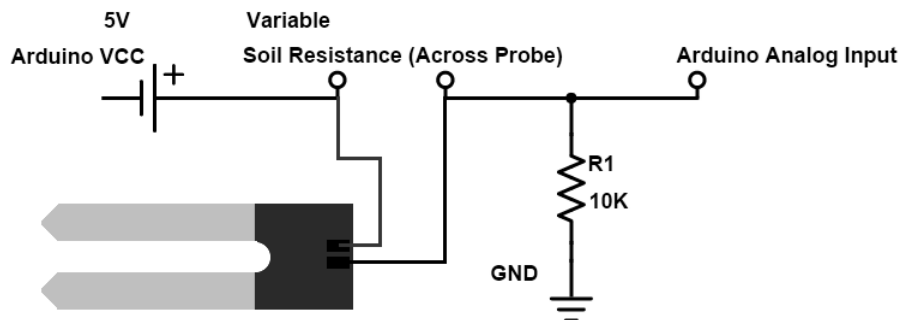


Figura 13. Diagrama esquemático del sensor FC-28.

3.4.2. Diseño, construcción e instalación del sistema

La conexión y diseño de los circuitos se realizó de forma virtual en el software EasyEDA V4.4.4 (Figura 14), se utilizó la plataforma Arduino con una placa Mega 2560 en donde se conectaron los sensores seleccionados (DHT11, MQ135, FC-28 y LDR).

Para la construcción física, sólo se utilizaron cuatro sensores dos DHT11, un MQ135 y un FC-28. Éstos, se conectaron a la placa microcontroladora con cable UTP. La placa a su vez se conectó a una fuente de alimentación de AC de 12 V

y para la transferencia de datos se conectó a una computadora mediante interfaz USB. La programación y carga del programa se hizo con el IDE Arduino Software. Las funciones programadas fueron: medición y registro de la temperatura ambiental, humedad relativa, humedad de suelo y concentración de gases.

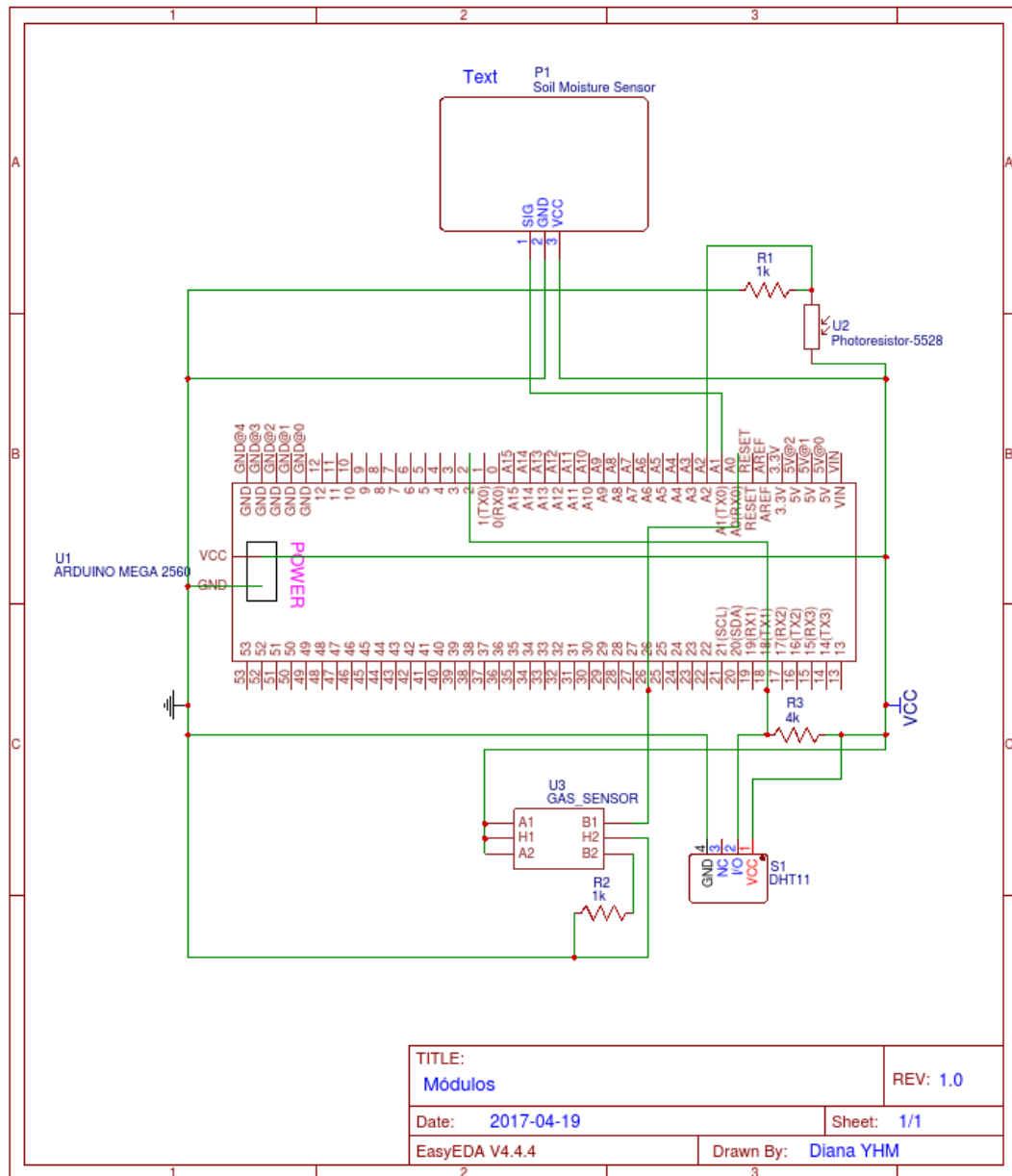


Figura 14. Diagrama esquemático de la conexión de los sensores DHT11, MQ135, FC-28 y LDR con la placa microcontroladora.

La programación de todos los sensores sigue la rutina del diagrama de flujo de la Figura 15.

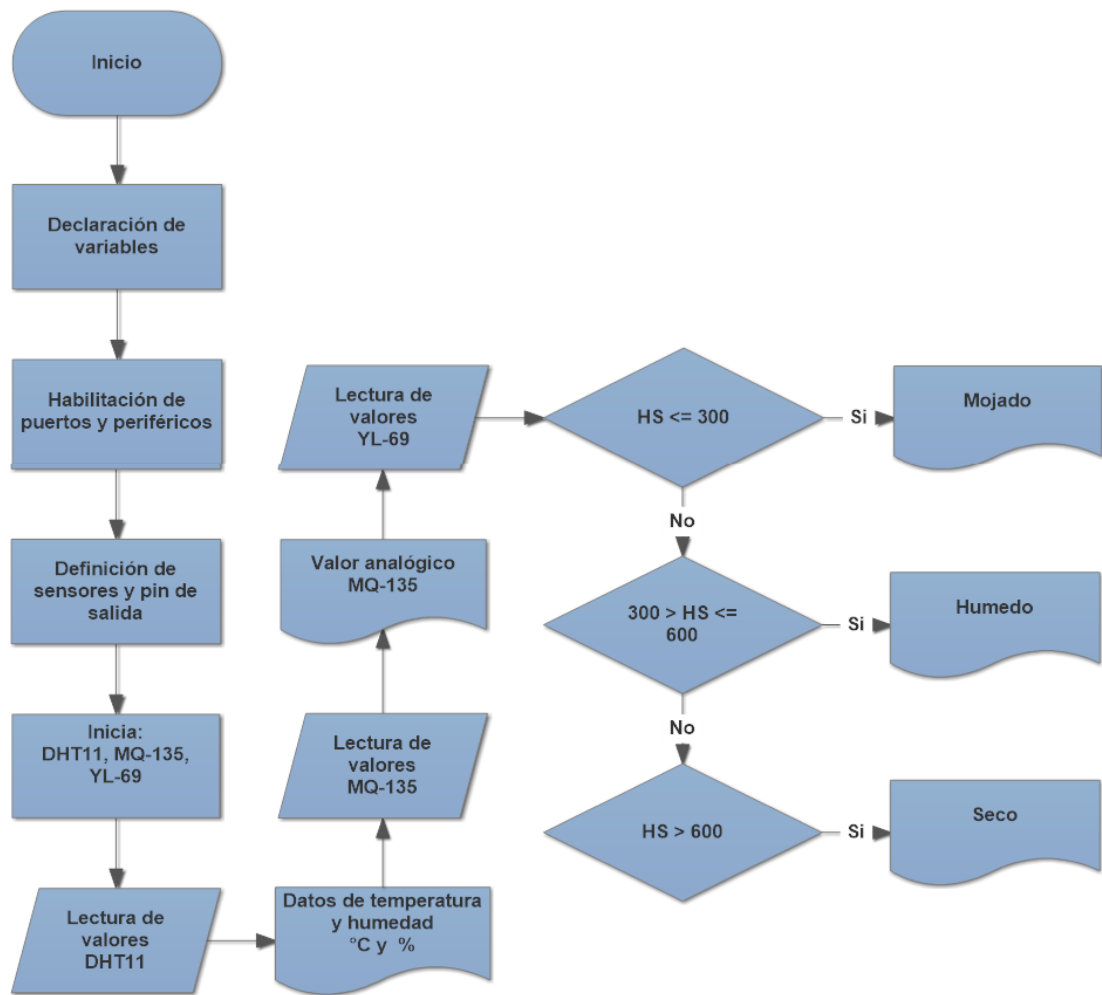


Figura 15. Diagrama de flujo de la rutina de lectura de sensores.

El prototipo del sistema se instaló en la nave uno, de producción de pollo de engorda perteneciente a la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo del 22 de junio al 8 de julio del 2016.

El diseño consistió en un cuadrado de 2.5 m² donde en cada esquina se encontraba un sensor, la distribución de los sensores se puede ver en la Figura 16. Cada sensor se encontraba a 15 cm de la cama, a excepción del FC-28 que se colocó por debajo.

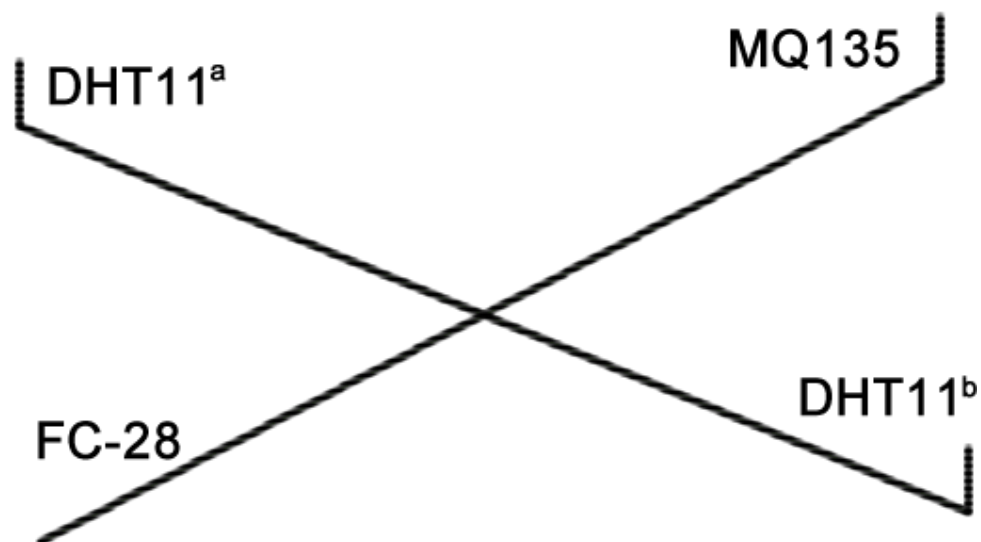


Figura 16. Distribución de los sensores en el prototipo.

El prototipo se colocó de tal manera que el sensor DHT11^a y MQ135 quedarán debajo de una criadora, mientras que el FC-28 se encontraba cerca de un bebedero y el DHT11^b quedó fuera del rango de las criadoras. El cableado se protegió con una estructura tubular de CVPV el cual se cubrió con el aserrín que constituía la cama. El sistema registró datos desde tres días antes del comienzo de la engorda y posteriormente hasta el día ocho.

3.4.3. Calibración de los sensores

Temperatura ambiental y humedad relativa.

El sensor DHT11 se conectó a una placa microcontroladora Mega 2560 (Figura 17). y se programó con el IDE Arduino Software, siguiendo la secuencia de la Figura 18. Para la calibración se compararon mediciones entre los valores del DHT11 y los valores de un termómetro-higrómetro análogo.

Se registraron mediciones de temperatura y humedad, en un ambiente con temperatura controlada, en lapsos de 10 min por periodos de 4 h, hasta obtener cien registros.

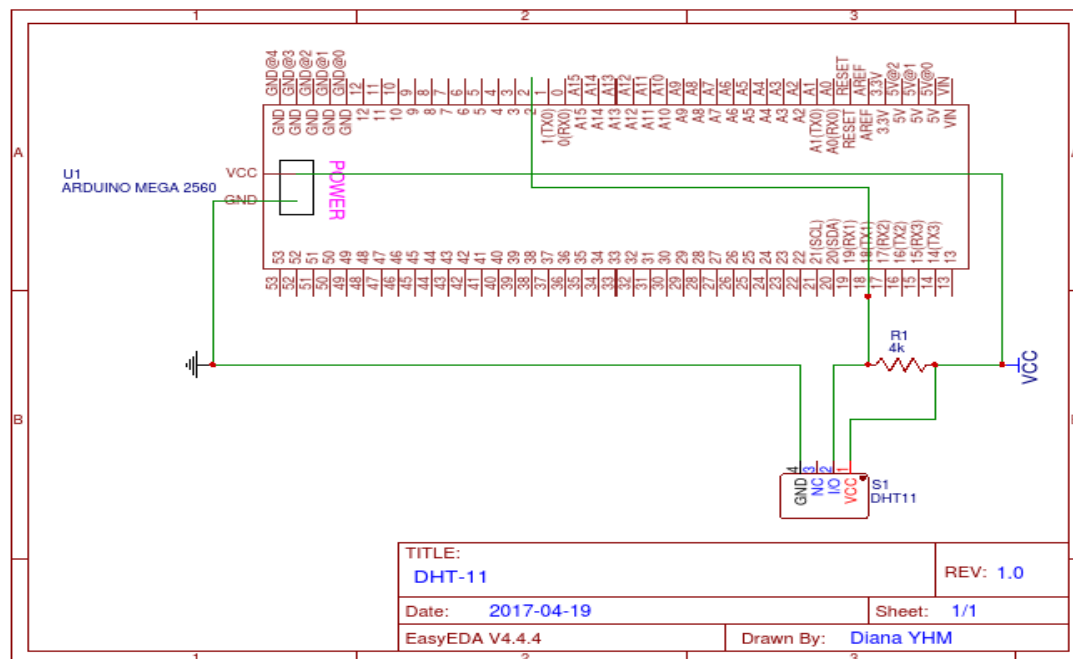


Figura 17. Diagrama esquemático de la conexión de DHT11 con el microcontrolador.

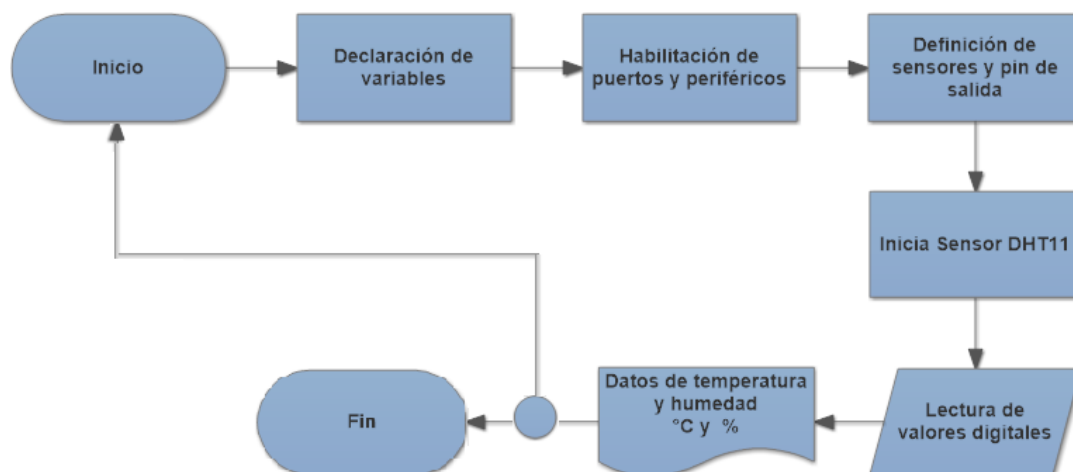


Figura 18. Diagrama de flujo de la rutina de lectura del sensor DHT11.

Concentración de NH_3 .

De igual forma se realizó la conexión del sensor MQ135 con la placa microcontroladora Mega 2560 (Figura 19).

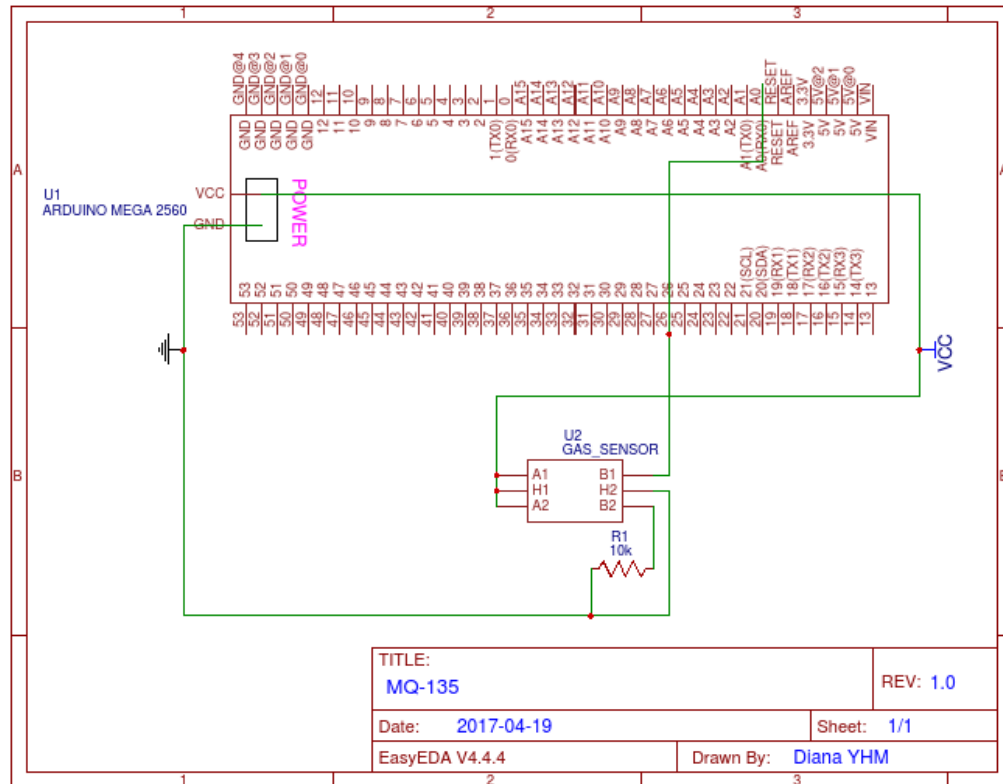


Figura 19. Diagrama esquemático de la conexión del sensor MQ135 en el microcontrolador.

En este caso el sensor envía una señal analógica, por lo que se requirió una transformación de sus valores originales a una escala cuantificable, esto se realizó mediante lo especificado por el fabricante (Sainsmart, 2013) con la Ecuación (1)

$$y = ax^b \quad (1)$$

Se sustituye en términos de la concentración de gas que se quiere conocer lo que resulta en la Ecuación (2):

$$\text{ppm} = a (R_s/R_o)^b \quad (2)$$

donde:

R_s = resistencia del sensor

R_o = resistencia del sensor a 100 ppm de NH_3

De acuerdo a la hoja técnica del sensor se obtienen la Ecuación (3) para el NH₃:

$$y = 161.7 \times x^{-2.26} \quad (3)$$

3.4.4. Automatización

La automatización se realizó al conectar el LED RGB en el pin cinco de la placa Arduino (Figura 20), el cual recibió la señal de encendido o apagado dependiendo de la temperatura registrada por el DHT11.

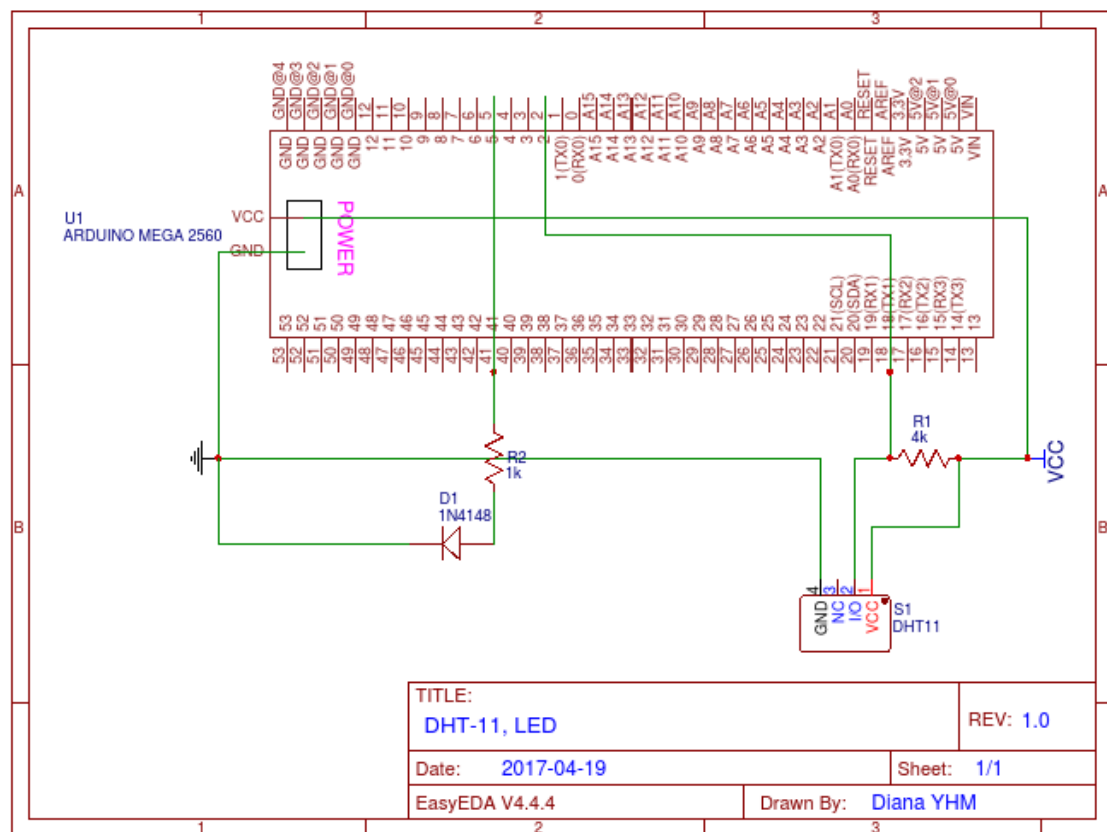


Figura 20. Diagrama esquemático de la conexión de DHT11 y LED con el microcontrolador.

En la Figura 21, se establece la rutina de la automatización, en donde el LED RGB se encontraba en señal de alerta si se superaban ciertos rangos de temperatura, para la prueba se estableció el límite de 23 °C de temperatura, al superar este valor el led se encendía y se apagaba con lecturas menores a 23 °C.

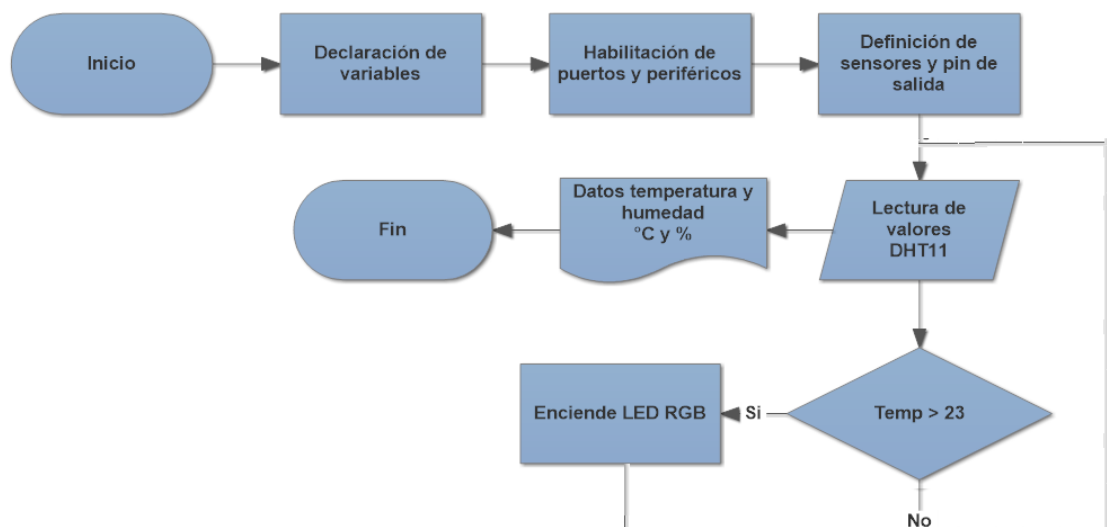


Figura 21. Diagrama de flujo de la rutina de encender el LED RGB automáticamente.

El sistema estuvo instalado, conectado y en funcionamiento las 24 h al día, por lapsos de cinco minutos, durante 17 días consecutivos en la engorda de pollos de junio a julio del 2016.

3.4.5. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el paquete estadísticos SAS 9.1, y el procedimiento GLM. Para todas las comparaciones realizadas en este trabajo (comparación de datos digitales y analógicos, comparación entre ubicación de los sensores DHT11), el modelo estadístico utilizado fue el de la Ecuación (4). Se realizó una la prueba de Tukey.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

ε_{ij} = Error

3.5. Resultados y discusión

En lo que concierne a los resultados de las hipótesis planteadas, se presentan en el orden que se menciona a continuación. En primer lugar, la evaluación de la funcionalidad del sistema creado en cuanto a la medición de factores ambientales se presenta en la sección de “Registro de factores ambientales en naves avícolas”. En segundo lugar, la comparación entre datos analógicos y digitales se encuentra en la sección “Calibración comparativa del sensor digital DHT11”. En tercer lugar, la viabilidad de automatizar el sistema en el rango de temperatura ambientales de la nave establecido se encuentra en la Figura 23 de la sección de “Registro de factores ambientales en naves avícolas”. Finalmente, en cuarto lugar, el funcionamiento ininterrumpido del sistema durante 17 días consecutivos puede observarse en las Figuras 22 a la Figura 25.

Registro de factores ambientales en naves avícolas.

El diseño y la distribución de los sensores no presentó problemas de instalación debido al diseño, y los sensores funcionaron correctamente tal y como lo mencionan Zade et al. (2017). Sin embargo, durante el transcurso del ensayo se tuvo problemas debido a la negligencia del personal que laboraba en la nave, por lo que se limitó el registro de los datos a sólo 17 días. Se obtuvo un total de 3402 registros por sensor utilizado.

Temperatura.

Se registraron temperaturas en dos puntos distintos (Figura 22), uno debajo de la criadora y el segundo a un costado. A pesar de que los sensores no estaban distantes uno del otro, presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$). La diferencia numérica fue en promedio de 20 °C. Lo cual podría afectar el desarrollo de los pollos, pues si el rango de acción de la criadora es limitado, se requerirá una mejor estrategia o utilizar un mayor número de éstas. También cuando el sensor DHT11^b registraba temperaturas menores a 23 °C el LED RGB se encendía a manera de alerta.

Al analizar la Figura 22, se observa los 3402 registros de temperatura ambiental, los primeros días las criadoras mantenían una temperatura constante alrededor de 40 °C, pero, cuando se encendían por periodos cortos la temperatura bajo en promedio 10 °C, y finalmente cuando ya no se encendían las criadoras, la temperatura dejo de ser constante. Los rangos de temperatura del DHT11^a 13 a 42 °C, para el sensor DHT11^b 12 a 35 °C.

De esta forma se pudo observar que varían la temperatura y la humedad relativa dentro de la nave dependiendo de la ubicación de las criadoras a lo largo de los primeros días de la engorda.

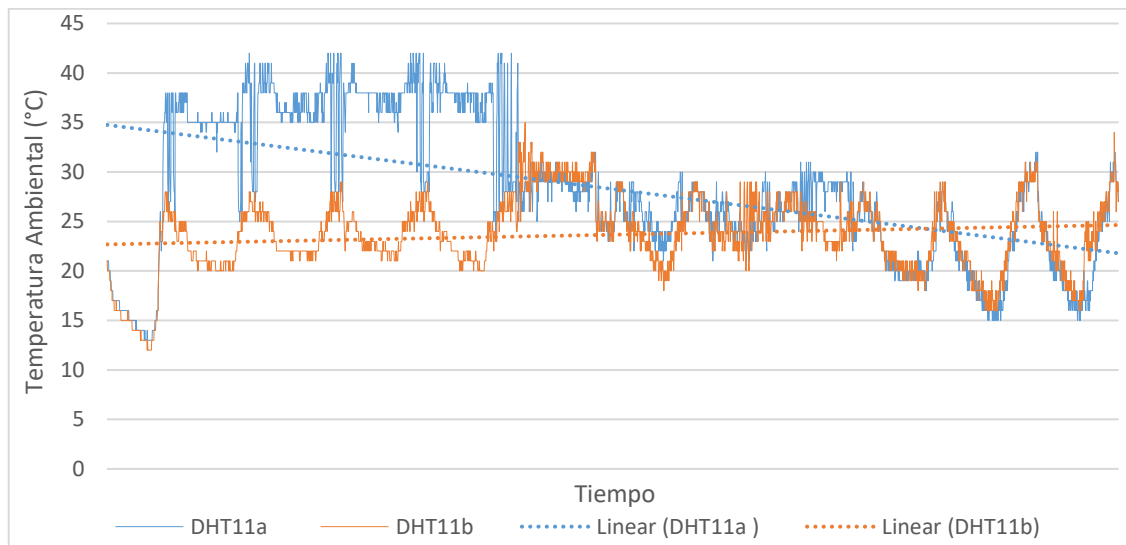


Figura 22. Registros de temperatura obtenidos durante el total del tiempo.

Humedad relativa.

En contraste, la humedad relativa (Figura 23) tuvo un comportamiento inverso y diferenciado ($P \leq 0.01$) en los primeros días, donde el sensor DHT11^a registró menor humedad relativa, lo cual presume que el calor de la criadora mantenía bajo este parámetro; también se observa que este parámetro se mantuvo estable, hasta que dejaron de encender las criadoras. El DHT11^a registro la humedad relativa de 25 a 63 % y el DHT11^b estuvo en rangos de 29 a 93 %.

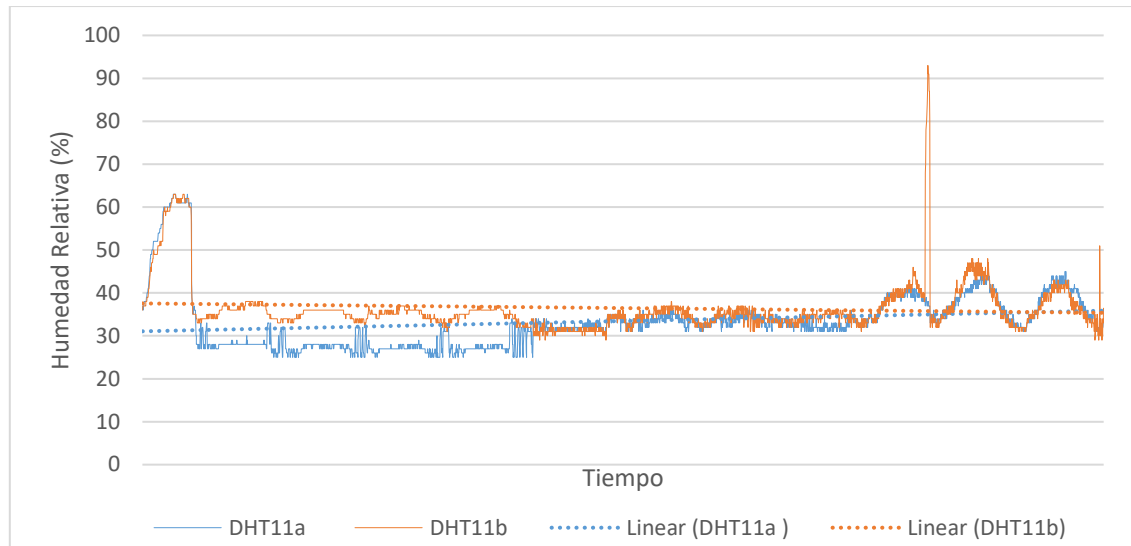


Figura 23. Registros de humedad relativa obtenidos durante el total del tiempo.

El rango de acción de las criadoras se limita sólo a la sección que se encuentra debajo, pues hubo diferencias significativas entre el sensor DHT11^a y el DHT11^b, esto es importante para evitar la mortalidad del pollito por bajas temperaturas. La humedad relativa disminuye en las áreas debajo de la incubadora.

Concentración de gases

La concentración de gases registró un comportamiento distinto a los parámetros anteriormente mencionados. Como se ve en la Figura 24 al principio la concentración de gases permaneció alta; debido, probablemente, a la acumulación de gases producto de la combustión generada por la criadora. Una vez que las criadoras dejaron de funcionar tuvo un comportamiento positivo conforme iban creciendo los pollos, esto podría indicar que a medida que crecen los pollos aumenta la concentración de gases. Se obtuvo una media de los datos de 78.40 en valor analógico del sensor, valor mínimo 36 y máximo de 253.

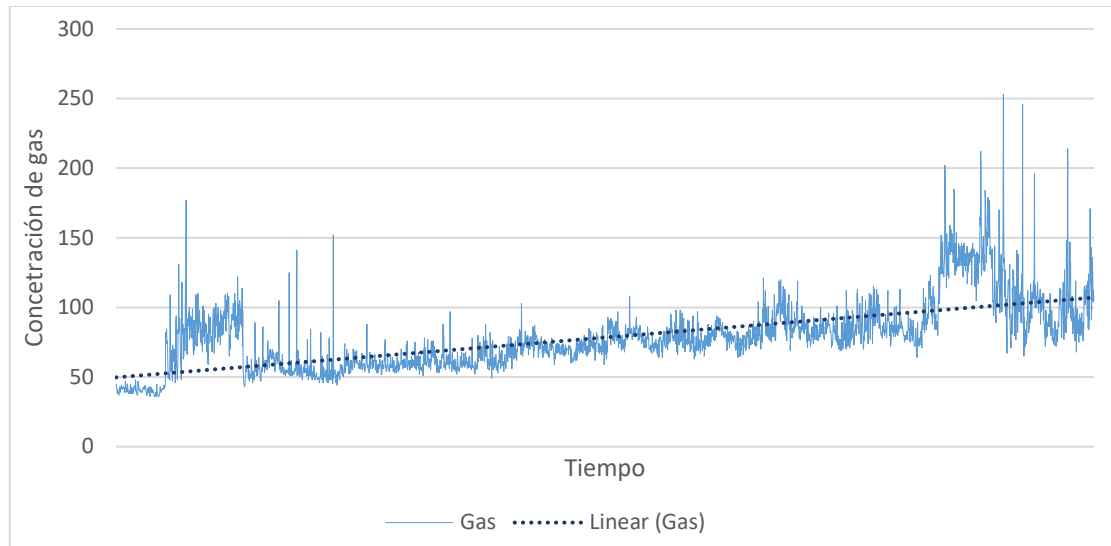


Figura 24. Registros de concentración de gases obtenidos durante el total del tiempo.

La humedad de la cama no aumenta cuando los pollos se encuentran en la etapa de iniciación, se tuvo una media de 1013.90, lo que significa que la mayor parte del tiempo estuvo seca, el sistema registro un valor mínimo de 378 y máximo de 1023 valor analógico (Figura 25).

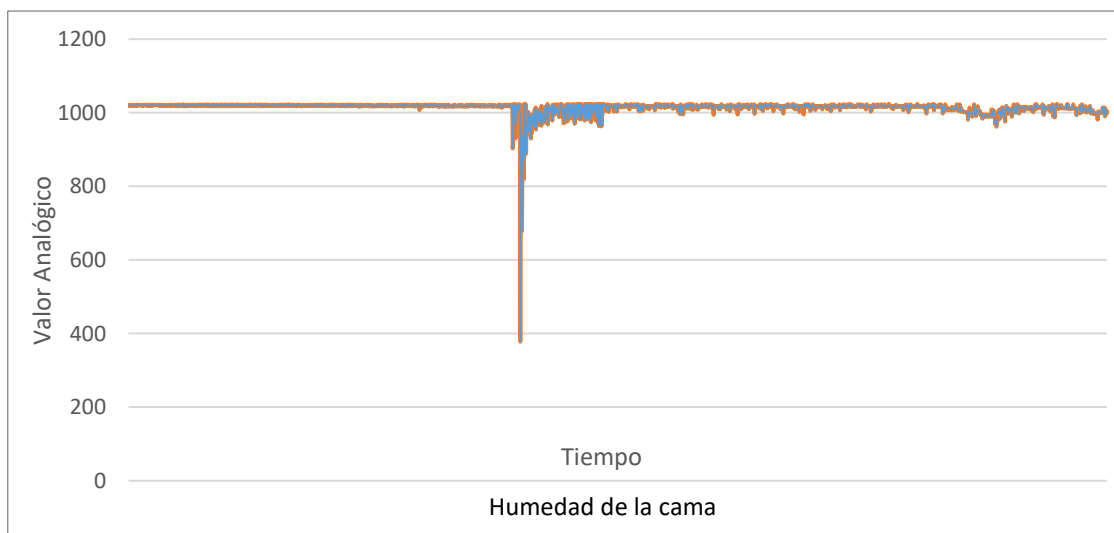


Figura 25. Datos del sensor de humedad de la cama.

Calibración comparativa del sensor digital DHT11.

En el Apéndice 1 se muestra una captura de pantalla de los registros hechos por los sensores DHT11, MQ135 y Humedad de suelo. La conexión y funcionamiento de los sensores se muestra en el Apéndice 2.

Los datos obtenidos mediante el sensor digital comparados con los datos analógicos no presentaron diferencia significativa ($P>0.01$), en la Figura 26 se puede observar el comportamiento de los datos. La media para los datos digitales fue de 26.83°C y los analógicos tuvieron una media de 27.03°C .

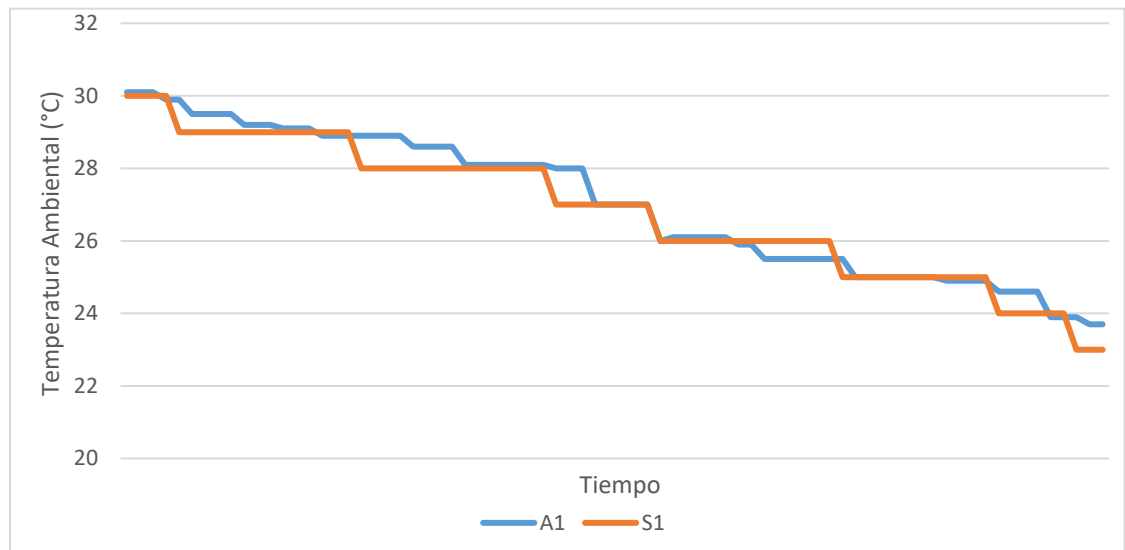


Figura 26. Datos de temperatura ambiental del sensor DHT11 (S1) comparados con los datos del termómetro análogo (A1).

De la misma manera, los datos de humedad relativa provenientes del sensor digital tampoco tuvieron diferencia significativa ($P>0.01$) (Figura 27). Se obtuvieron medias de 41.26 % para los datos digitales y 41.21 % para los datos analógicos.

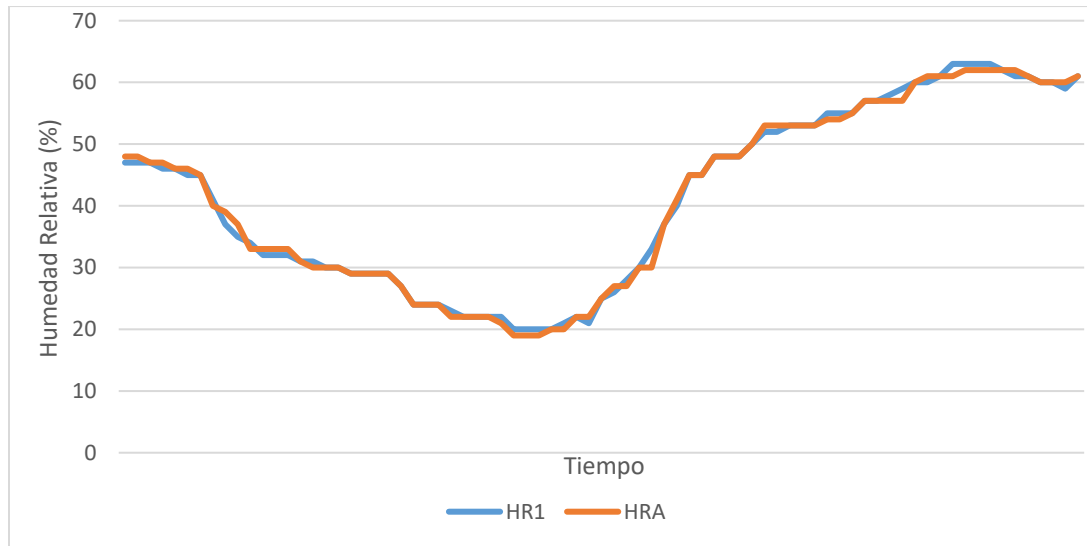


Figura 27. Datos de humedad relativa del sensor DHT11 (HR1) comparados con los datos del termómetro análogo (HRA).

De acuerdo con Creus (2009) al no presentar diferencia significativa ($P > 0.01$) los datos digitales, con respecto a la referencia analógica, son equivalentes y pueden ser utilizados para realizar mediciones confiables, en caso de haber encontrado diferencias se pudo haber ajustado la medición del sensor a nivel de software para que coincida con las lecturas analógicas. Sin embargo, Yang y Li (2015) indican que a pesar de haber obtenido valores equivalentes, se debe de realizar una nueva comparación si se cambia algún componente (sensor, cable, placa microcontroladora), para estar seguros de que se está midiendo el valor real.

Los registros tienen una resolución mínima de 2 s, por lo que se pueden apreciar variaciones bruscas en los parámetros registrados, esto también podría ser utilizado en otro tipo de trabajo de investigación donde se pretenda correlacionar los factores ambientales con parámetros productivos.

Datos MQ135

Por otro lado, el sensor MQ135 arroja datos analógicos, que de acuerdo a Creus (2009) no necesitan una calibración comparativa, pero si una conversión del valor analógico a un valor numérico cuantificable. Dichos valores se encuentran en el

Apéndice 3.

Kaur, Mahajan, Bagai y Student (2007) indican que la conversión puede ser a nivel de software, es decir dentro del código de programación del sensor. Sin embargo, Yang y Li (2015) indican que el registro del valor analógico y su posterior conversión es más sencillo y evita pérdida de información en el caso de que no haya realizado una conversión adecuada dentro del código, por lo que para este trabajo se registró el valor analógico para su posterior conversión.

3.6. Conclusiones

El diseño de un sistema que registra variables ambientales dentro de una nave avícola puede llevarse a cabo con el sensor DHT11, ya que es adecuado para realizar el monitoreo de temperatura ambiental y humedad relativa en una nave avícola.

Los datos digitales registrados por los sensores del sistema fueron similares a los datos analógico tomados con termómetros.

Es factible la automatización, pues el LED RGB se encendía de manera correcta cuando aumentaba la temperatura por arriba de lo programado y se apagaba cuando se tenía una temperatura programada como normal.

El sistema es capaz de registrar ininterrumpidamente datos de temperatura ambiental, humedad relativa, concentración de gases y humedad de la cama, lo cual ayuda a monitorear y automatizar para mejorar el ambiente dentro de la nave.

3.7. Recomendaciones

Antes de instalar cualquier sistema electrónico en una nave avícola, es extremadamente necesario capacitar al personal para que aprenda a distinguir los sensores.

3.8. Literatura citada

- Aosong. (2010). Temperature and humidity module - *Technical information*. Consultado en www.aosong.com.
- Bullón V., O. (2009). *Automatización industrial*. (Tesis Profesional, Instituto Politecnico Nacional).
- Creus S., A. (2009). Instrumentos Industriales, su ajuste y calibración (3ª ed.). Bogota: Alfaomega.
- Glatz, P. & Pym, R. (2010). Alojamiento y manejo de las aves de corral en los países en desarrollo. *Fao*, 1–3.
- Kaur, N., Mahajan, R., Bagai, D. & Student, P. G. (2007). Air Quality Monitoring System based on Arduino Microcontroller. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (An ISO Certified Organization)*, 3297(6), 9635–9646..
- Krishnamurthi, K., Thapa, S., Kothari, L. & Prakash, A. (2015). Arduino Based Weather Monitoring System. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 3(2), 452–458.
- Lamelas, K. (2004). Costos de producción en granjas integradas de pollos parrilleros. *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos*. Consultado en www.corti.org.ar/upload_folder/ejemplo.pdf.
- Pere P., A. & Vilanova A., R. (2005). Automatización De Procesos Mediante La Guía Gemma. Iniciativa Digital Politecnica: 53.
- Sainsmart. (2012). Fc-28 Module Soil Moisture - *Technical Information*. Consultado en <https://www.sainsmart.com>.
- Sainsmart. (2013). *Tecnicl Data MQ135 Gas Sensor* (Vol. 1). Consultado en <https://www.sainsmart.com>.

- San Lucas A., I. & Garzón S., D. (2011). *Control y monitoreo de un criadero avícola controlado por microcontrolador desde un sitio web dinámico*. (Tesis Profesional, Universidad Politécnica Salesiana). Consultado en <http://www.dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1664>.
- Yang, Y. & Li, L. (2015). A smart sensor system for air quality monitoring and massive data collection. In *2015 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)* (pp. 147–152). IEEE. Consultado en <https://doi.org/10.1109/ICTC.2015.7354515>.
- Zade, A. V, Harwani, S. & Bawankule, P. (2017). A Smart Green House Automation System by Wireless Sensor Networks. *International Journal of Research in Advent Technology*, 5(3), 48–50.

4. SISTEMA DE MONITOREO DE FACTORES AMBIENTALES Y VENTILACIÓN AUTOMATIZADA DE BAJO COSTO, PARA NAVES AVÍCOLAS

4.1. Resumen

Un aumento en la concentración de amoníaco (NH_3) en las naves avícolas de pollos puede provocar daño en las vías aéreas, enfermedades de patas, infecciones bacterianas, coccidiosis, síndrome ascítico, bajo consumo y peso vivo. Por lo que una buena ventilación mejoraría la calidad ambiental, la salud de las aves y sus parámetros productivos. Una buena ventilación reduce los niveles de NH_3 en las naves avícolas y coadyuva a obtener parámetros productivos aceptables por el mercado. El objetivo de éste trabajo fue desarrollar un sistema de monitoreo de factores ambientales y automatización de la ventilación para naves avícolas con poca tecnificación. Se utilizaron placas microcontroladoras Arduino Mega 2560, sensores DHT11, MQ135, LDR, RTC y FC-28 para el desarrollo del sistema electrónico. El sistema se instaló en una nave avícola de la Granja Experimental de la UACH, en el periodo de marzo a abril de 2017. Se consideró un diseño completamente al azar ($Y_{ij} = \mu + \tau_i + \epsilon_{ij}$) con dos tratamientos T1 (sin sistema) y T2 (con sistema) con tres repeticiones y las medias se compararon con la prueba de Tukey. Para la automatización se estableció que la ventilación se encendía al superar la temperatura de 23°C y el valor analógico de concentración de gas de 177 unidades de valor analógico. Se realizó una comparación de medias de los niveles de amoníaco y de los parámetros productivos. El sistema de ventilación redujo ($P \leq 0.01$) la concentración de amoníaco en 20 ppm, de 43.44 ppm (T1) a 19.69 ppm (T2). Por otra parte, no se observó diferencia ($P > 0.01$) en el consumo de alimento para T1 (4.14a) y T2 (4.00a) entre el día 25 y 49 de edad. El peso vivo de las aves en T1 (2.92a) y T2 (2.90a) a los 49 días de edad. Por lo que se concluye que el sistema de ventilación redujo las concentraciones de NH_3 en la nave avícola y coadyuvo a obtener un comportamiento productivo aceptable por el mercado.

Palabras clave: Temperatura ambiental, humedad relativa, pollo de engorda, automatización.

LOW-COST ENVIRONMENTAL MONITORING AND VENTILATION AUTOMATED SYSTEM, FOR POULTRY HOUSES.

4.2. Abstract

An increase in ammonia concentration (NH₃) inside of poultry house may cause damage to the poultry in airways, foot diseases, bacterial infections, coccidiosis, ascitic syndrome, low food intake and live weight. Good ventilation would improve environmental quality, bird health and its production parameters. Good ventilation reduces NH₃ levels in poultry houses and help to obtain acceptable production parameters to the market. The aim of this research was to develop an environmental monitoring and automation ventilation system for low technified poultry houses. Arduino Mega 2560 microcontroller boards, DHT11, MQ135, LDR, RTC and FC-28 sensors were used for the development of the electronic system. The system was installed in poultry house of the Experimental Farm of "UACH", since March to April 2017. It was considering a completely randomized model ($Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$) with two treatments T1 (without system) and T2 (with system) and three replicates. Means were compared with a Tukey test. For automation, the system turn on if temperature exceeded 23 °C and analogue value of the gas concentration exceeded 177. A comparison of means of ammonia levels and also for the productive parameters were performed. The ventilation system reduced ($P \leq 0.01$) the ammonia concentration by 20 ppm, from 43.44 ppm (T1) to 19.69 ppm (T2). On the other hand, there was no difference ($P > 0.01$) in feed intake for T1 (4.14a) and T2 (4.00a) between day 24 and 49 of age. The live weight of the birds in T1 (2.92a) and T2 (2.90a) at 49 days of age. Therefore, it was concluded that the ventilation system reduced NH₃ concentrations in the poultry house and helped to obtain poultry acceptable productive performance by the market.

Key words: Ambient temperature, relative humidity, chicken in feedlots, automation.

4.3. Introducción

La demanda de alimentos de origen animal, en especial la carne, ha ido en aumento durante los últimos años, debido al incremento en la población, la avicultura juega un papel muy importante para satisfacer dicha demanda, debido a que su ciclo de producción es más corto comparado con la cría de ganado bovino, esto ha ocasionado la intensificación de los sistemas avícolas (Campo et al. 2002; FAO, 2009; SAGARPA, 2009)

Durante la producción avícola, el ambiente dentro de las naves juega un papel muy importante, pues factores como temperatura ambiental, humedad relativa y concentración de gases, deben ser monitoreados y controlados para que los animales se encuentren en *confort* y así puedan expresar su máximo potencial productivo ya que si existe una alta concentración de gases pueden presentar problemas de salud que se ve reflejado en menor crecimiento y por lo tanto baja producción (Aray, 2012; Guerrero, 2009; Stuart, 1991).

Debido a esto, la industria ha implementado estrategias para mitigar el efecto de dichos factores, una de ellas es la automatización de la ventilación en las naves (Fernández, 2007). Sin embargo, implica una fuerte inversión inicial, por lo que pequeños productores no pueden costearla (Vásquez-Unyen, 2014).

En México, las grandes empresas avícolas controlan el 95% de la producción total, cuentan con naves grandes y equipo automatizado. En contraste, el pequeño productor mexicano, produce con poca o nula tecnología, cuenta con naves pequeñas donde produce menos de 2000 pollos, utiliza cortinas manuales, bebederos y comederos semiautomáticos. Estos últimos se deben rellenar a mano lo que implica mayor número de trabajadores y mayores costos de producción (FAO, 2009; Glatz & Pym, 2010).

El monitoreo de la concentración de gases permite conocer el estado ambiental en el que se encuentra la parvada y facilita la implementación de estrategias para mitigar los efectos negativos de una mala ventilación.

Las concentraciones de O_2 , NH_3 y CO_2 , son buenos indicadores del bienestar animal en la producción avícola, el controlarlas permite tener una producción más eficiente, por ello es importante que la calidad del aire dentro de la nave sea la adecuada, ya que si no se controla se generan niveles elevados de NH_3 , CO_2 y humedad, lo que afectan directamente la producción ya que el consumo de alimento disminuye y aumenta el nivel de mortalidad (Cobb, 2013).

El amoníaco también influye en las características de la canal y la composición de ácidos grasos de pollos de engorda. Xing, Luan, Sun y Zhang (2016) estudiaron los efectos negativos sobre la calidad de la carne y el rendimiento de los pollos, encontraron que concentraciones de 50 mg Kg^{-1} de NH_3 puede disminuir el rendimiento de la piel, músculo de pechuga y muslos, aumenta los índices renal y hepático mientras se incrementa el contenido de ácidos grasos saturados y disminución de insaturados en el músculo del muslo.

Para asegurar el bienestar de las aves y conocer la concentración de NH_3 se han realizado algunos desarrollos como el sistema portátil de monitoreo de NH_3 utilizando el sensor MOS NH_3 , este sensor destaca por su larga vida útil y su corto tiempo de respuesta, aunque su costo es elevado (Lin et al., 2016).

El propósito de ésta investigación fue probar si los niveles de NH_3 en las naves avícolas se reducen con la implementación de un sistema automatizado de ventilación, para tener parámetros productivos de pollos de engorda de la línea Ross 308 aceptables por el mercado.

4.4. Materiales y métodos

El experimento se realizó en la nave avícola número dos de la Granja Experimental del Departamento de Zootecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, durante el periodo comprendido del seis de marzo al ocho de abril de 2017, con aves de la línea Ross 308.

Se hicieron seis corrales, divididos por malla de alambre hexagonal, con un área de dos metros cuadrados (2x1). Para el primer tratamiento, sin automatización (T1), se utilizaron tres corrales, uno para cada repetición, en cada corral se instaló un sensor de temperatura y humedad, en el corral central se instaló adicionalmente un sensor de luz, concentración de gas y humedad de la cama.

Para el segundo tratamiento, con ventilación automática (T2), se utilizaron también tres corrales, uno para cada repetición. En cada corral se instaló un sensor de temperatura y humedad y un ventilador; en el corral central se instaló un sensor de luz, concentración de gases y humedad de la cama. La distribución se puede observar en la Figura 28.

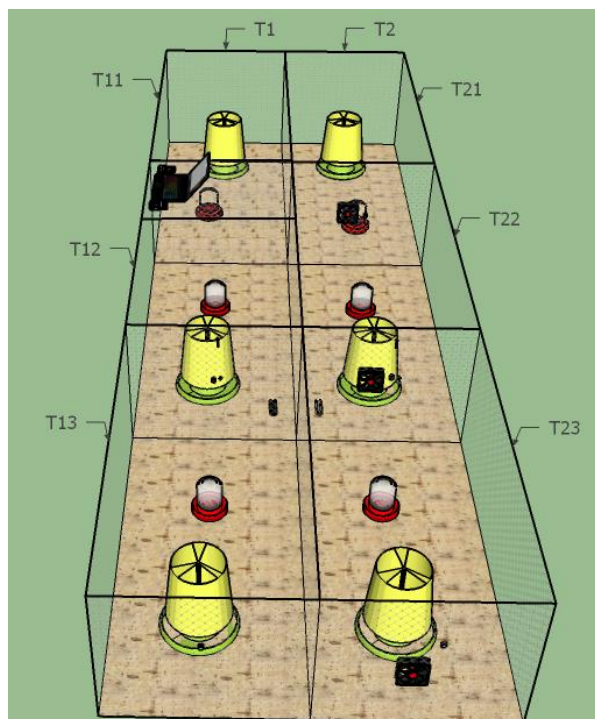


Figura 28. Diagrama tridimensional de los corrales y distribución de los sensores.

El sistema de monitoreo se instaló y permaneció en funcionamiento 24 h antes de introducir los pollos, con la finalidad de comprobar el correcto funcionamiento.

En cada corral se colocaron un comedero, un bebedero, y 10 pollos de la línea Ross 308 de 21 días de edad, con un peso promedio de 0.580 Kg, seleccionados al azar (machos, hembras y peso) de la parvada Figura 29.

Los datos de los sensores se registraron cada 10 minutos ininterrumpidamente durante toda la fase experimental.

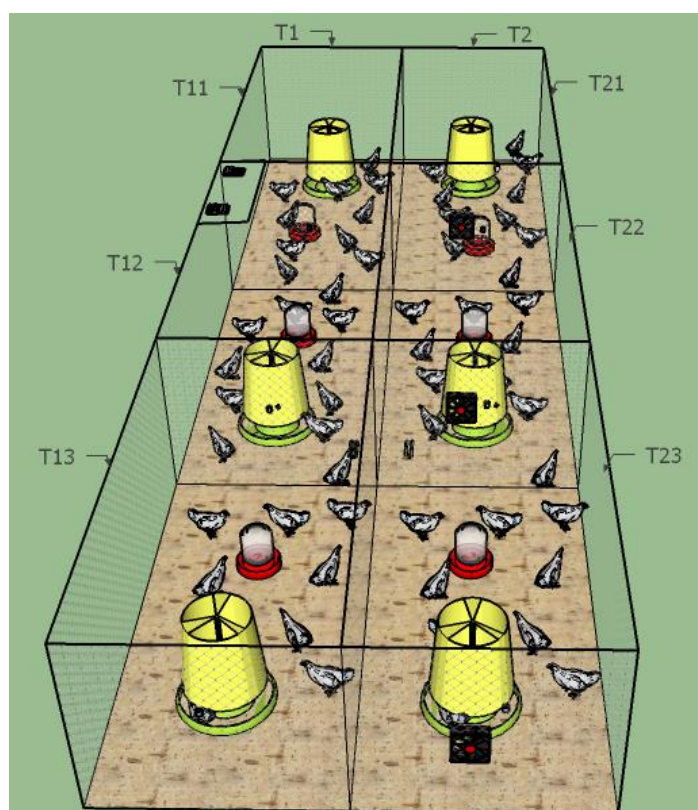


Figura 29. Diagrama tridimensional de la distribución de sensores y pollos.

Las aves fueron suministradas con alimento comercial, su composición se muestra en el Cuadro 3, conforme a su etapa de crecimiento, al inicio del experimento con alimento para crecimiento hasta el día 42 de edad y posteriormente con alimento para finalización. Para evitar incidencia de síndrome ascítico se restringió el alimento a 6 h día⁻¹ durante los primeros diez días del

experimento y posteriormente se proporcionó en promedio diez por. Se registró el consumo de alimento diario y peso vivo cada tercer día.

Cuadro 3. Composición del alimento Pollo Crece y Pollo Finaliza.

Componente	Pollo Crece (día 21 a 42)	Pollo Finaliza (día 43 al 49)
Proteína cruda, mínimo	19.0 %	17.5 %
Grasa cruda, mínimo	4.0 %	4.0 %
Fibra cruda, máximo	4.5 %	4.5 %
Ceniza, máximo	5.5 %	5.5 %
Humedad, máximo	12.0 %	12.0 %
E. L. N., por diferencia	55.0 %	56.5 %

Sistema de monitoreo y automatización.

Para los tratamientos se utilizaron dos placa microcontroladora Arduino Mega 2560 (Apéndice 4), encargadas de controlar y recibir información proveniente de los sensores; los módulos utilizados fueron (Apéndice 5): seis DHT11 para la lectura de temperatura y humedad, dos MQ135 para la detección de gases, dos FC-28 para la humedad de la cama, dos LDR para la presencia de luz, un módulo Rtc Ds1307, para medir tiempo, un módulo de cuatro relevadores y tres ventiladores, la programación se realizó con el IDE *Arduino Software*.

Para el sistema del T1 se realizó el esquema de la Figura 30, se utilizaron tres sensores DHT11, un MQ135, un FC-28, una fotorresistencia LDR, dichos sensores se utilizaron para las lecturas de temperatura ambiental, humedad relativa, humedad de suelo, concentración de gases y presencia de luz, al igual que el sistema con automatización, las lecturas de los sensores y los registros de los datos se realizaron cada 10 minutos.

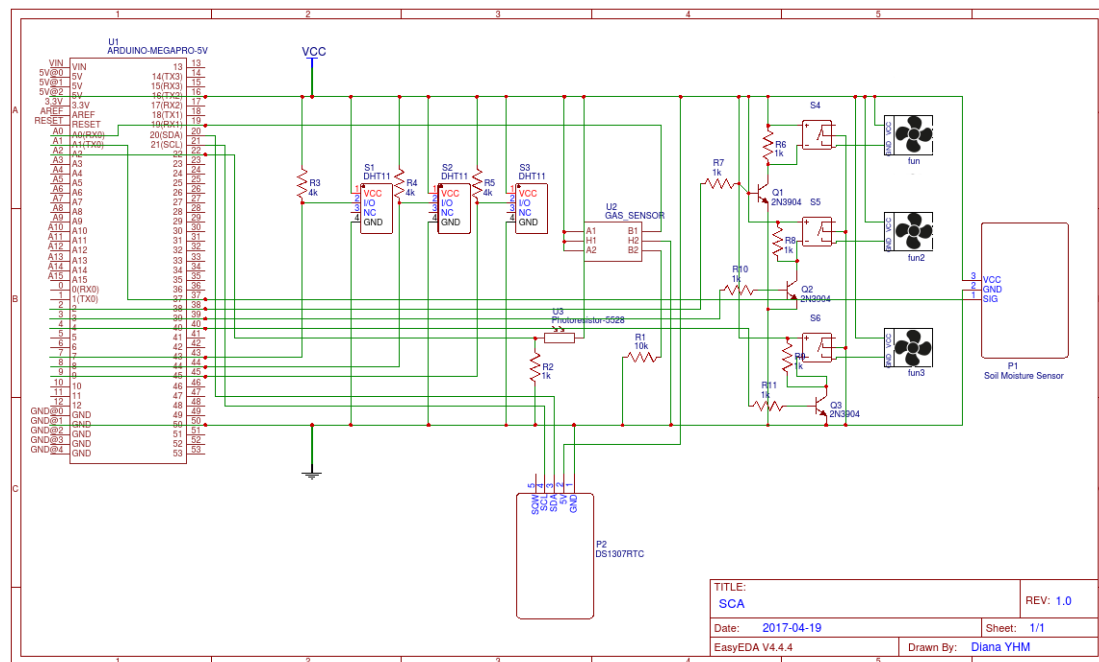


Figura 31. Diagrama esquemático del sistema electrónico de monitoreo con ventilación automática.

En la Figura 32 se muestra los diferentes estados por los que pasa el sistema. El estado inicial está representado por la letra *a*, pasa al estado *b*, donde detecta los niveles de temperatura y concentración de gases, el estado *e* se encarga del registro y almacenamiento de los datos. Si en el estado *b* se detectan niveles fuera del límite establecido, pasa al estado *c* que activa los mecanismos de alerta y ventilación.

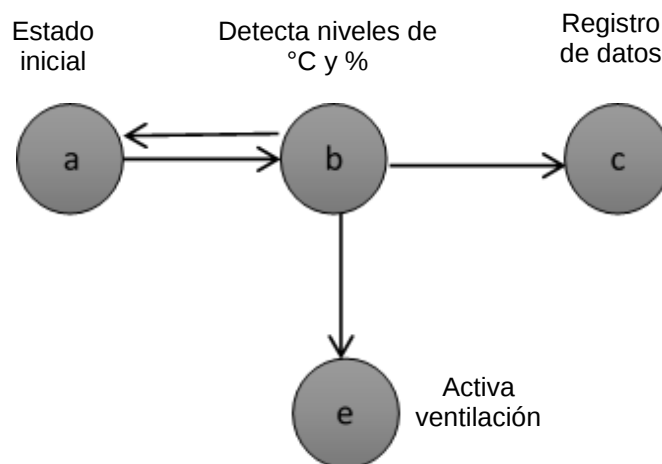


Figura 32. Diagrama conceptual de los estados del autómata.

El algoritmo para la automatización consistió en la activación de mecanismos de ventilación cuando se sobrepasaban los límites preestablecidos de temperatura y concentración de gas (Figura 33). Los límites de concentración de los gases fueron, 177 valor analógico del sensor MQ135 y para la temperatura fueron a 23 °C.

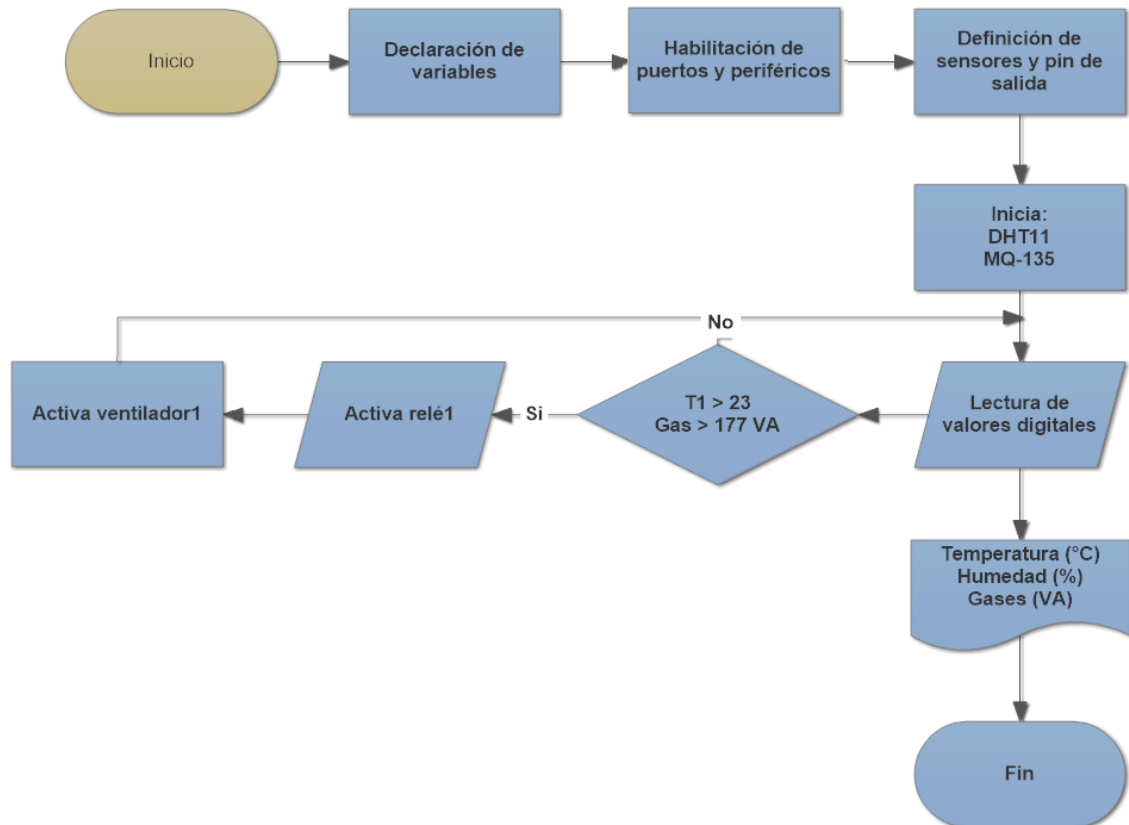


Figura 33. Diagrama de flujo de la rutina de automatización de la ventilación.

El manejo de la parvada consistió en que cada 24 h se rellenaban los comederos y se les cambiaba el agua, los comederos se levantaban a las 18 h. los pesos de los pollos se tomaron cada cuatro días hasta finalizar la engorda.

Los datos obtenidos por los sensores fueron procesados con Excel y SAS, Para la comparación de los dos tratamientos se empleó el modelo estadístico de la Ecuación (5). Se realizó una comparación de medias.

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (5)$$

Donde:

Y_{ij} = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento

μ = Media general

τ_i = Efecto del tratamiento i.

ε_{ij} = Error

4.5. Resultados y discusión

La temperatura de los tratamientos sin (T1) y con automatización (T2), no presentaron diferencia significativa ($P>0.01$). La Figura 34, muestra el comportamiento de los datos del día 23 de marzo, en donde se ve que a partir del medio día la temperatura dentro de la nave subió, hasta alcanzar su pico más alto de 28 °C a las 16:20 h. la temperatura mínima registrada fue de 4 °C a las 5:18 h, para el T2, para el T1 se tuvo una variación de +2 °C. La temperatura ambiental del día nueve de marzo al siete de abril, en promedio fue de 18.99 °C para T1, y 18.81 °C en T2

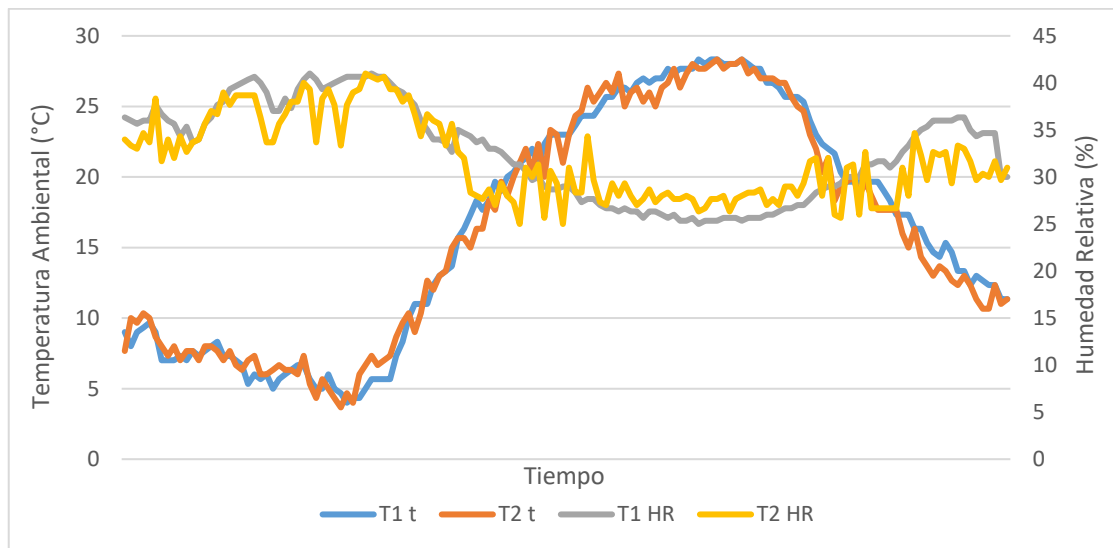


Figura 34. Gráfica de temperatura ambiental y humedad relativa de los tratamientos.

Aviagen (2014) indica que la temperatura ideal para la nave a partir del día 27 de la edad del pollo debe ser de 20 °C, mientras que Donald (2009) menciona que si se rebasan los 24 °C, es necesario implementar mecanismos de ventilación.

Los datos de humedad relativa, presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$). Debe estar alrededor del 50%, si se tiene índices bajos favorece la acumulación de polvo (Aviagen, 2014), en contraste si se tienen índices muy altos ayuda a la generación de gases, en el estudio se observó que la humedad relativa estuvo en promedio por debajo del 50% de HR (32.26 % en T1 y 33.90 % en T2) y lo que sugiere que el ambiente estuvo mayoritariamente seco y esto favorece la acumulación de polvo.

El sensor LDR registro sin problemas la cantidad de luz de la nave durante todo el periodo. Se registraron en promedio 11 h de luz día⁻¹ (Figura 35), para ambos tratamientos, por lo que tampoco se presentaron diferencias. González, Monroy y Patarroyo (2011) indican que en explotaciones intensivas, para aumentar el consumo de alimento, se le debe proporcionar a las aves diferentes cantidades de luz día⁻¹ que varían dependiendo de la edad de los pollos, durante el periodo de 7 a 21 días de edad, deben tener 18 h de luz y después del día 22, deben ser 20 h. Sin embargo, en la granja experimental no realizan estrategias en el manejo de luz, principalmente para reducir la incidencia de síndrome ascítico.

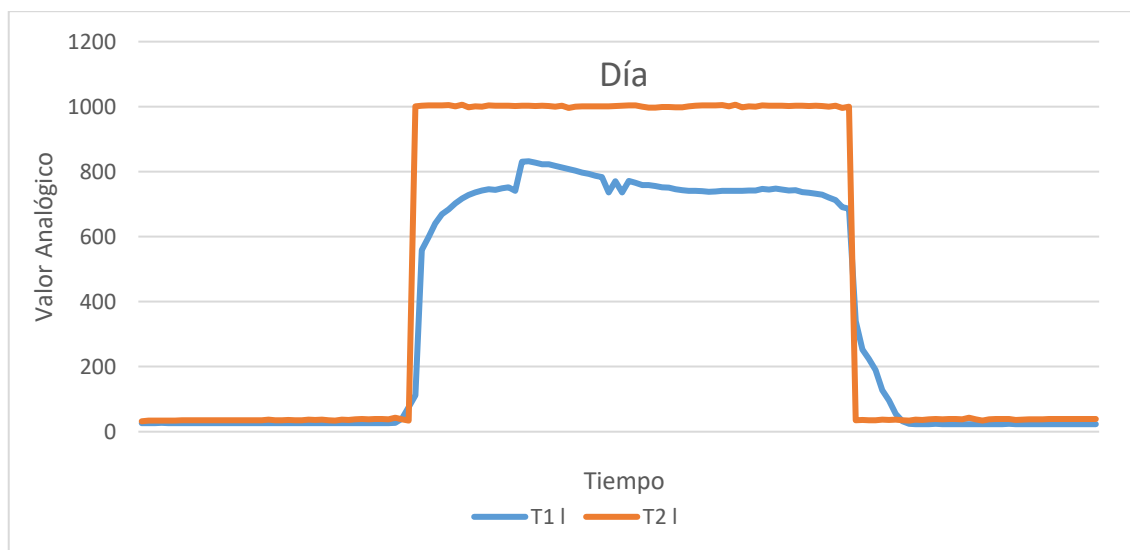


Figura 35. Gráfica del registro de luz del T1 y T2.

El sensor FC-28 registró la humedad de la cama, se puede observar (Figura 36) que en el T2 (16.69 % de humedad) la cama permaneció en condiciones óptimas;

Aviagen (2014), indica que cuando el nivel de humedad es bajo, se produce menos amoniaco, lo que significa que la cama del T1 (32.70 % de humedad) generó mayor cantidad de amoniaco.

La cama del T1 se humedeció debido a un problema de manejo pues los pollos tiraron el bebedero en varias ocasiones y a pesar de que se tomaron las medidas suficientes para que esto no volviera a pasar, la cama mantuvo constante su nivel de humedad. El funcionamiento de los sensores fue satisfactorio durante casi toda la engorda, esto debido a que el día previo a concluir los pollos extrajeron el sensor, esto se pudo haber evitado si hubiera cubierto aún más el sensor.

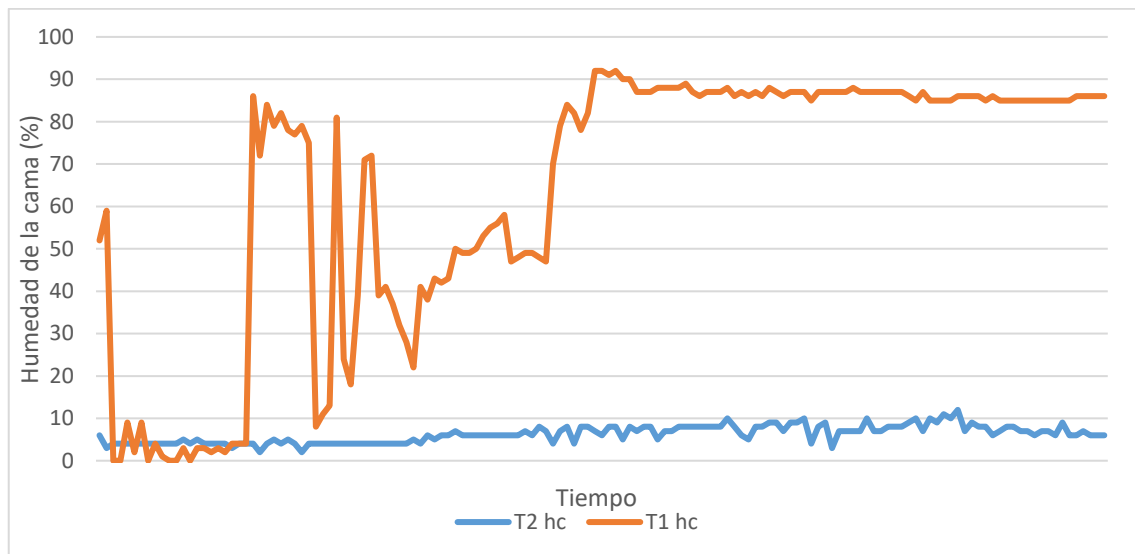


Figura 36. Gráfica de humedad de la cama, periodo completo. T1 y T2.

La concentración de amoniaco varió ($P \leq 0.01$), entre tratamientos. La concentración del T1 (43.44 ppm) fue mayor que la de T2 (19.69 ppm), lo que indica que el sistema de ventilación automática logro reducir la concentración de gas. Ambos tratamientos se encuentran por debajo de lo mencionado por Reece et al. (1981), quienes indican que concentraciones de 50 ppm son peligrosas para los pollos y reducen su tasa de crecimiento, y del límite propuesto por Beker et al. (2004), ellos mencionan que superar las 60 ppm afecta la ganancia de peso y el consumo de alimento. Sin embargo, Aviagen (2014), establece que para tener

el mejor rendimiento no se debe superar las 25 ppm, en la Figura 37 se observa que solo el T2 se mantuvo la mayor parte del tiempo por debajo de ese límite.

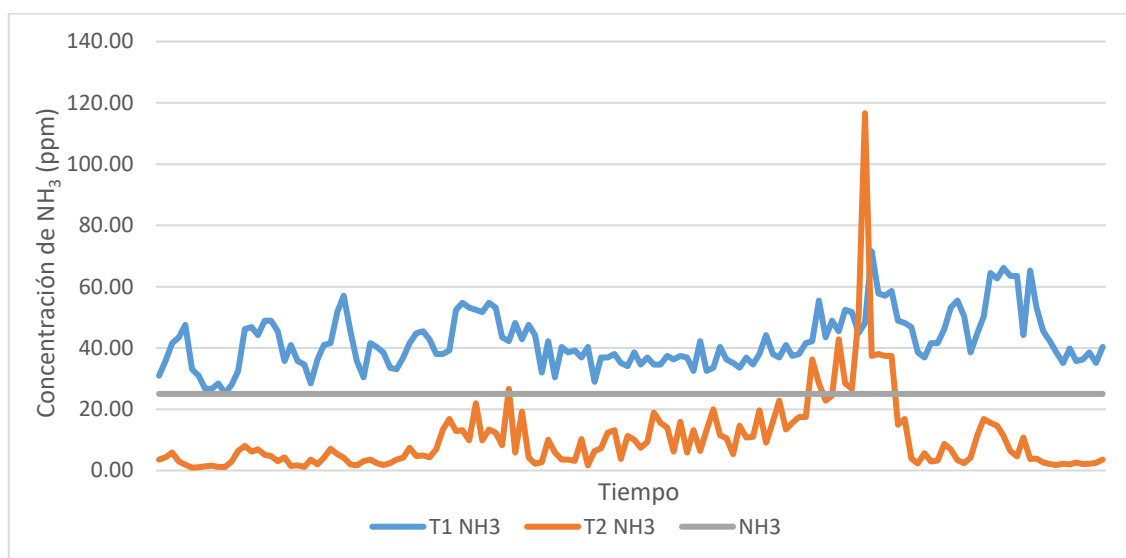


Figura 37. Gráfica de concentraciones de amoníaco y límite de 25 ppm, periodo completo T1 y T2.

En cuanto a los parámetros productivos (Cuadro 4), se encontró que el consumo de alimento, la ganancia diaria de peso, el peso corporal y la conversión alimenticia no presentaron diferencia significativa ($P > 0.01$) entre los tratamientos. Esto se contrapone a lo esperado, debido a que según algunos autores (Reece et al., 1981, Beker et al., 2004, Aviagen, 2014) indican que a mayores niveles de amoníaco menor es el consumo de alimento, lo que derivaría en menor ganancia de peso y peso vivo final. Sin embargo, los mismos autores indican que el efecto negativo también depende de otros factores como humedad relativa, tiempo de exposición, línea genética y manejo general de las aves, por lo que algún factor no cuantificado intervino. Por su parte, el T1 se mantuvo en promedio por debajo de 60 ppm y su HR fue inferior a 50%, Feng-Xiang et al. (2012) indican que para observar efectos fisiológicos cuantificables se requiere que el pollo este expuesto a 60 ppm por periodos prolongados y la humedad relativa superior al 80%, por lo que esto sería la razón por la que no se obtuvieron diferencias.

Cuadro 4. Parámetros productivos y concentración de NH₃ en los tratamientos T1 (sin automatización) y T2 (con automatización).

Parámetros productivos	T1 $\bar{X}$	T2 $\bar{X}$
Consumo (Kg/pollo)	4.14a ^z (± 0.06)	4.00a (± 0.24)
Ganancia de peso (Kg/pollo)	2.34a (± 0.15)	2.32a (± 0.16)
Peso vivo (Kg/pollo)	2.92a (± 0.15)	2.90a (± 0.16)
Conversión alimenticia	1.78a (± 0.12)	1.73a (± 0.06)
Concentración de NH ₃ (ppm)	43.44a (± 19.69)	16.22b ^y (± 17.69)

^z = Medidas no son diferentes ($P > 0.01$)

^y = Medidas con diferencias significativas ($P \leq 0.01$)

En la Figura 38 se ve la tendencia creciente del peso vivo para ambos tratamientos, el cual no se vio afectado por la concentración de NH₃.

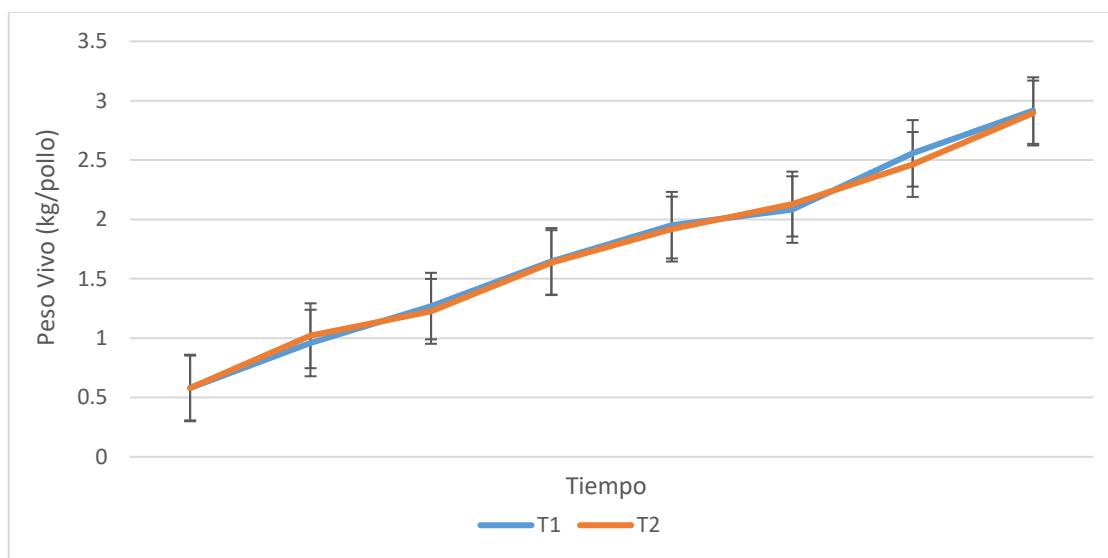


Figura 38. Tendencia del peso vivo de los dos sistemas, para T1 y T2.

El consumo de alimento fue variado (Figura 39), ya que los primeros días se les dejaba el alimento *ad libitum*, y posteriormente, para evitar problemas de ascitis se les midieron las porciones que se les daban.

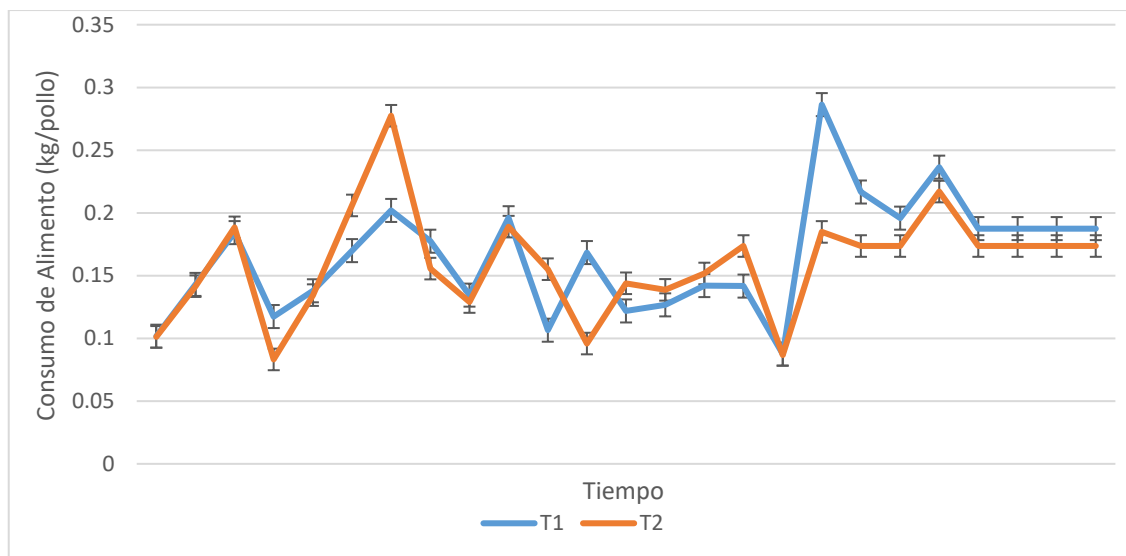


Figura 39. Tendencia del consumo de alimento por polos a lo largo de la engorda para T1 y T2

4.6. Conclusiones

Las naves avícolas con control automatizado de factores ambientales y concentración de gases son una posibilidad técnica para asegurar niveles bajos de NH_3 , lo que mejora la calidad del aire y la estadía de los pollos durante la engorda.

4.7. Recomendaciones

Hasta ahora tener todos estos medidores en funcionamiento constantemente hubiera supuesto un gasto no amortizable debido a la poca durabilidad de algunas de éstas sondas.

Es necesario la implementación de sistemas de monitoreo y control de los factores ambientales en los procesos productivos ya que son una herramienta indispensable para el productor, de esta forma se tienen mejores registros al obtener medidores fiables, además, registra y memoriza todos los parámetros mencionados.

4.8. Literatura citada

- Aray Z., J. B. (2012). Alternativas para disminuir la emisión de Amoniaco en granjas avícolas en el Cantón Balsas. (Tesis de Maestría, Universidad de Guayaquil), 74.
- Aviagen. (2014). Manual de manejo del pollo de engorde Ross 308. Consultado en www.aviagen.com.
- Beker, A., Vanhooser, S. L., Swartzlander, J. H. & Teeter, R. G. (2004). Atmospheric Ammonia Concentration Effects on Broiler Growth and Performance. *Poultry Science Association*, 13 (1), 5–9.
- Campo, J. L., Gil, M. G. & Dávila, S. G. (2002). El bienestar de los animales domésticos. Departamento de Mejora Genética, Instituto Nacional de Investigación Agraria y Alimentaria. Madrid.
- Cobb. (2013). Guía de Manejo del Pollo de Engorde. Consultado en www.pronavícola.com/contenido/manuales/Cobb.pdf.
- Donald, J. O. (2009). Manejo del ambiente y en el galpón de pollo de engorde. Estados Unidos: Aviagen.
- FAO. (2009). La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050. Roma, Italia: Secretaría del Foro de Alto Nivel de Expertos. Consultada en <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/l>.
- Fernández Poza, M. del M. (2007). Mejores técnicas disponibles para control de la contaminación en granjas avícolas de puesta. *Mundo Ganadero*, 198, 4.
- Feng-Xiang, L. Zhi-Zhong, C. & Hui-jun, G. (2009) Immune Enhancement Effect of Mixed Herbal Extracts in Chicks Immunosuppressed by Reticuloendotheliosis Virus Infection. *Scientia Agricultura Sinica*, 6, 038.

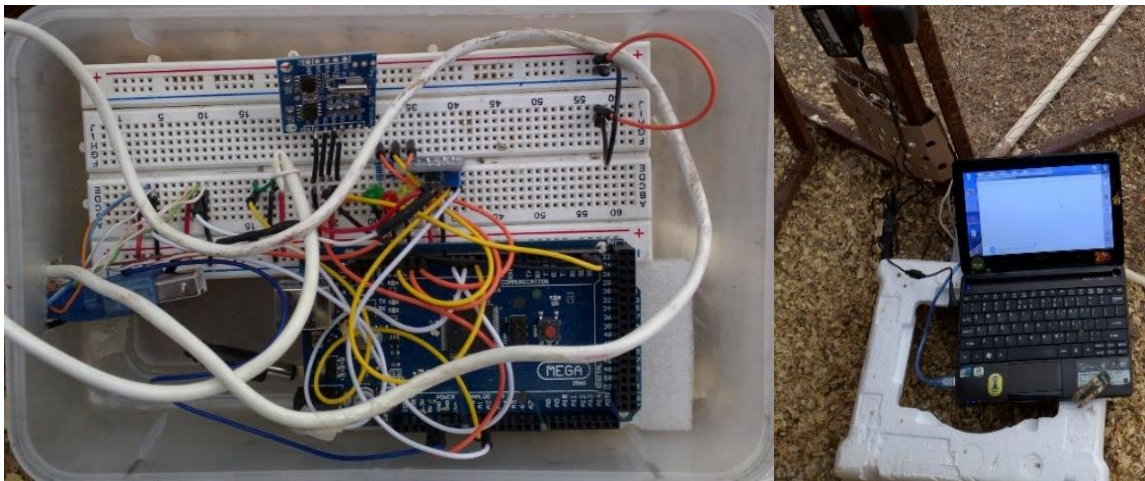
- Glatz, P. & Pym, R. (2010). Alojamiento y manejo de las aves de corral en los países en desarrollo. *Fao*, 1–3.
- González A., J. P., Monroy B., J. P. & Patarroyo S., A. (2011). Monitoreo de variables ambientales influyentes en la crianza de pollos de engorde utilizando redes de sensores inalámbricas. (Tesis Profesional, Universidad de San Buenaventura).
- Guerrero O., H. A. (2009). Monitoreo y control de la calidad del aire al interior de una granja avícola (amoníaco NH₃ y Dioxido de Carbono CO₂). (Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro).
- Lin, T., Shah, S. B., Wang-Li, L., Oviedo-Rondón, E. O. & Post, J. (2016). Development of MOS sensor-based NH₃ monitor for use in poultry houses. *Computers and Electronics in Agriculture*, 127(1), 708–715. Consultado en <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.07.033>.
- Reece, F. N., Lott, B. D. & Deaton, J. W. (1981). Low Concentrations of Ammonia During Brooding Decrease Broiler Weight. *Poultry Science*, 60 (5), 937–940.
- SAGARPA. (2009). *Escenario base 09-18*. México: Resumen ejecutivo. <https://doi.org/10.1787/9789264043695-3-es>.
- Stuart, J. C. (1991). Síndrome de ascitis-muerte súbita-neumonía. *Selecciones Avícolas*, 540–552.
- Vásquez-Unyen, M. (2014). Factibilidad técnica y económica de la tecnologización de galpones para gallinas ponedoras en Chiclayo. (Tesis Profesional, Universidad de Piura).
- Xing, H., Luan, S., Sun Y., R. S. & Zhang, H. (2016). Effects of ammonia exposure on carcass traits and fatty acid composition of broiler meat. *Animal Nutrition*, 1–6. Consultado en <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2016.07.006>.

4.9. Apéndice

Apéndice 1. Captura de los datos recabados por el sistema.

Dia	Hora	Temperatura1	Temperatura2	HR1	HR2	Humedad	Suelo	Gas	Tipo	promedio t	promedio i
22/06/2016	19:20:52	21	21	89.05	89.6	1019	45	aire normal	21	89.325	
22/06/2016	19:25:03	20	21	87.8	89.05	1020	43	aire normal	20.5	88.425	
22/06/2016	19:30:00	20	21	87.8	89.05	1020	43	aire normal	20.5	88.425	
22/06/2016	19:35:01	20	21	87.8	89.6	1019	40	aire normal	20.5	88.7	
22/06/2016	19:40:02	20	21	87.8	89.6	1022	38	aire normal	20.5	88.7	
22/06/2016	19:45:03	20	21	87.8	89.6	1021	41	aire normal	20.5	88.7	
25/06/2016	08:17:07	20	35	88.35	109.85	1022	90	aire normal	27.5	99.1	
25/06/2016	08:22:10	20	35	88.35	109.85	1019	98	aire normal	27.5	99.1	
25/06/2016	08:27:13	21	35	89.6	109.85	1022	122	aire con un poco de CO2	28		99.725
25/06/2016	08:32:16	20	35	88.35	109.85	1019	77	aire normal	27.5	99.1	
25/06/2016	08:37:19	20	35	88.35	109.85	1022	86	aire normal	27.5	99.1	
25/06/2016	08:42:22	21	35	89.6	109.85	1021	102	aire con un poco de CO2	28		99.725
25/06/2016	08:47:25	21	35	89.6	109.85	1019	83	aire normal	28	99.725	
25/06/2016	08:52:28	21	35	89.6	109.85	1021	96	aire normal	28	99.725	
25/06/2016	08:57:31	21	34	89.6	108.6	1020	105	aire con un poco de CO2	27.5		99.1
25/06/2016	09:02:34	21	35	89.6	109.85	1021	104	aire con un poco de CO2	28		99.725
25/06/2016	09:07:37	21	34	89.6	108.6	1022	99	aire normal	27.5	99.1	

Apéndice 2. Conexión física del sistema electrónico.



Apéndice 3. Datos analógicos obtenidos del sensor MQ135 (V_s , R_s) y su valor convertido a ppm de CO_2 y NH_3 .

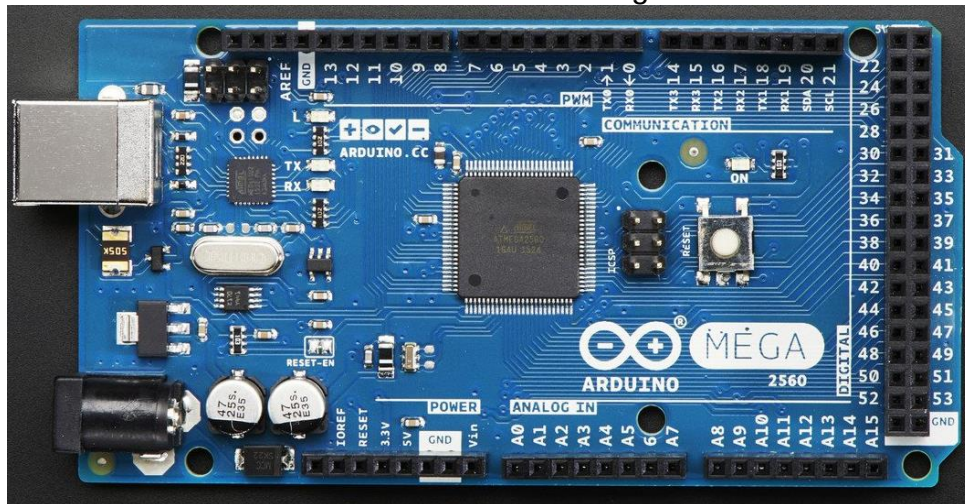
A_v^z	V_s^y	R_s^x	NH_3	CO_2
67	0.327468	285373.1	9.134852	1.853382
80	0.391007	235750	14.06676	2.858935
87	0.42522	215172.4	17.29169	3.517259
79	0.386119	238987.3	13.63979	2.771816
75	0.366569	252800	12.01321	2.440035
73	0.356794	260274	11.24764	2.283941
78	0.381232	242307.7	13.22103	2.686383
85	0.415445	220705.9	16.32735	3.320346
82	0.400782	229512.2	14.94562	3.038287
100	0.488759	184600	24.44846	4.979864
105	0.513196	174857.1	27.63571	5.631817
112	0.54741	162678.6	32.53333	6.634201
114	0.557185	159473.7	34.02968	6.940579
106	0.518084	173018.9	28.30374	5.768502

^z = Valor Analógico del sensor MQ135.

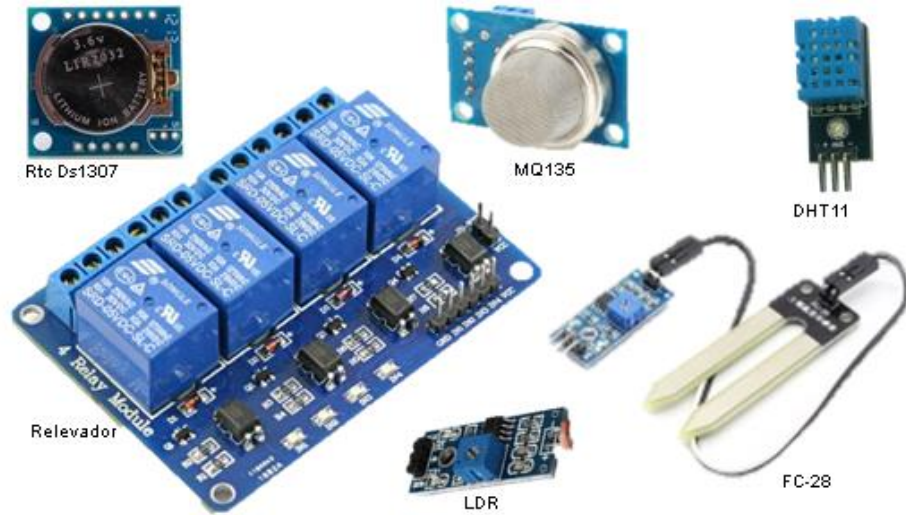
^y = Voltaje del sensor.

^x = Resistencia del sensor.

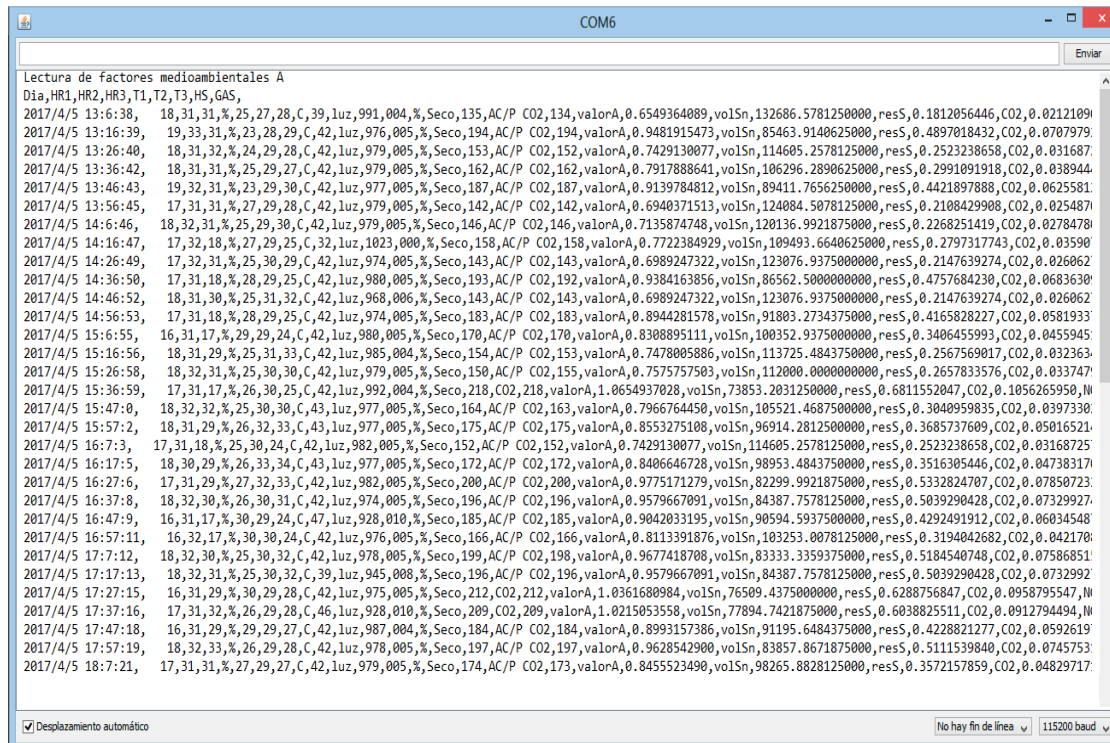
Apéndice 4. Placa microcontroladora Arduino Mega 2560



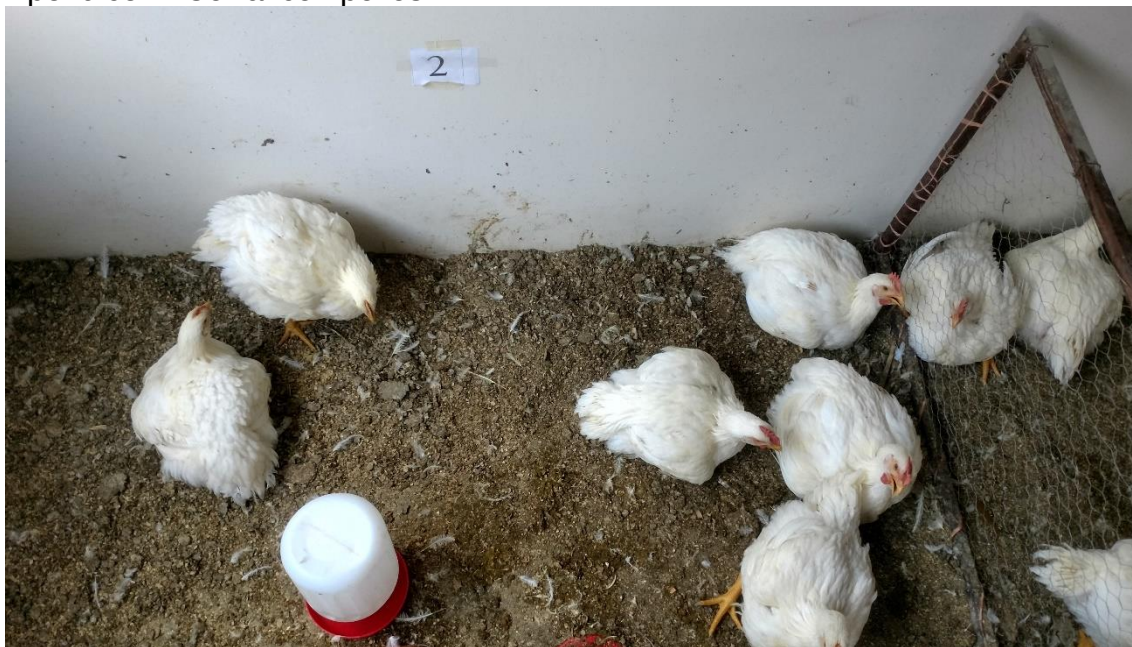
Apéndice 5. Módulos utilizados en el sistema de monitoreo y automatización.



Apéndice 6. Captura de pantalla de los datos obtenidos en el sistema con automatización.



Apéndice 7. Corral con pollos.



Apéndice 8. Sistema de monitoreo con automatización y sin automatización

