

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO CORPORAL DE LOS POLLOS  
DE GRANJA MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES  
TERMOGRÁFICAS

CARLOS ADOLFO ROBLES SILVA  
SERGIO ARMANDO SERRANO QUINTERO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA  
2009

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO CORPORAL DE LOS POLLOS  
DE GRANJA MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES  
TERMOGRÁFICAS

CARLOS ADOLFO ROBLES SILVA  
SERGIO ARMANDO SERRANO QUINTERO

Este proyecto se presenta como requisito para optar al título de ingeniero  
electrónico.

Director  
M.Sc. ANA BEATRIZ RAMIREZ

Codirector  
MSC(C). LEANDRO ARIZA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO- MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2009

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios, a nuestros padres y a nuestros amigos y compañeros de universidad por habernos apoyado y acompañado durante este proceso de formación profesional.

A nuestra directora de proyecto Ana Beatriz Ramírez Silva por todos los conocimientos y guías brindadas en el desarrollo de este proyecto de grado.

A Leandro Ariza por su colaboración y ayuda prestada como codirector para la realización de este trabajo.

Al grupo de investigación CPS por permitirnos trabajar y ser parte de ellos en la realización de este proyecto.

## CONTENIDO

|  | Pág. |
|--|------|
| LISTA DE TABLAS  |      |
| LISTA DE FIGURAS   |      |
| LISTA DE ANEXOS  |      |
| INTRODUCCIÓN   | 16   |
| 1. CONCEPTOS BÁSICOS   | 18   |
| 1.1. EMISIVIDAD  | 18   |
| 1.1.1. Efecto de la superficie en la emisividad                      | 18   |
| 1.1.2. Efectos de la geometría de los objetos en la emisividad       | 19   |
| 1.1.3. Efectos del ambiente en la medición de la emisividad          | 20   |
| 1.1.4. Dependencia de la emisividad con respecto al ángulo de visión | 21   |
| 1.1.5. Dependencia espectral de la emisividad                        | 22   |
| 1.2. TERMOGRAFÍA   | 23   |
| 1.2.1. Espectro Electromagnético                                     | 24   |
| 1.2.2. Aplicaciones de la termografía                                | 25   |
| 1.3. IMÁGENES DIGITALES  | 27   |
| 1.3.1. Procesamiento de imágenes                                     | 28   |
| 1.3.2. El histograma de frecuencias                                  | 28   |
| 1.3.3. Umbralización   | 29   |
| 1.3.4 Segmentación   | 29   |
| 1.4. MANUAL DE MANEJO DE POLLOS DE ENGORDE ROSS                      | 30   |
| 1.4.1. Control del medio ambiente                                    | 31   |
| 1.4.2. Sistema de iluminación  | 33   |
| 1.5. ESTADISTICA   | 34   |
| 1.5.1. Población   | 35   |
| 1.5.2. Muestra   | 35   |

|   |    |
|---|----|
| 1.5.3. Media Aritmética   | 35 |
| 1.5.4. Desviación Estándar  | 36 |
| 1.5.5. Regresión Polinomial   | 36 |
| 2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE  | 37 |
| 2.1. DESCRIPCIÓN HARDWARE   | 37 |
| 2.1.1. Partes de la cámara IR FLEXCAM   | 38 |
| 2.1.2. Adquisición y revisión de imágenes   | 41 |
| 2.1.2.1. Escanear objetivo  | 41 |
| 2.1.2.2. Pausa/Guardar imagen   | 42 |
| 2.1.2.3. Ver imagen guardada  | 42 |
| 2.1.2.4. Eliminar imagen guardada   | 43 |
| 2.1.3. Descripción de las imágenes obtenidas  | 44 |
| 2.2. DESCRIPCIÓN SOFTWARE   | 45 |
| 2.2.1. Adaptación de los datos  | 45 |
| 2.2.2. Umbralización y segmentación de la imagen  | 47 |
| 2.2.3. Análisis de la programación  | 49 |
| 2.2.3.1. Primera parte del programa   | 49 |
| 2.2.3.2. Segunda parte del programa   | 51 |
| 2.2.3.3. Tercera parte del programa   | 52 |
| 2.2.3.4. Cuarta parte del programa  | 52 |
| 2.2.3.5. Quinta parte del programa  | 54 |
| 2.2.4. Interfaz gráfica   | 54 |
| 3. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN  | 56 |
| 3.1. Análisis de Datos  | 56 |
| 3.1.1. Temperatura media por pollo  | 58 |
| 3.1.2. Temperatura media por imagen infrarroja  | 62 |
| 3.1.3. Temperatura media de las imágenes termográficas Vs.<br>Temperatura media de los sensores | 70 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2. Caracterización del comportamiento térmico corporal de las aves.  | 73 |
| 3.3. Relación de la temperatura corporal promedio sensada mediante termografía con respecto a las tasas de mortalidad de las aves. | 79 |
| 3.4. Relación de la temperatura corporal promedio sensada mediante termografía con respecto a las tasas de morbilidad de las aves  | 82 |
| 3.5. Comparación de la temperatura corporal promedio sensada mediante termografía con respecto al sugerido por la industria        | 84 |
| 4. CONCLUSIONES  | 88 |
| 5. RECOMENDACIONES   | 90 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS   | 91 |
| ANEXOS   | 93 |

## LISTA DE TABLAS

|          |  | <b>Pág.</b> |
|----------|--|-------------|
| Tabla 1. | Temperaturas aparentes objetivo  | 33          |
| Tabla 2. | Programa básico de iluminación para la cría de los pollos Ross                                   | 34          |
| Tabla 3. | Descripción de las partes de la cámara "IR FLEXCAM"  | 40          |
| Tabla 4. | Temperatura media de cada pollo por imagen infrarroja para el primer ciclo sensado               | 60          |
| Tabla 5. | Temperatura media de cada pollo por imagen infrarroja para el segundo ciclo sensado              | 60          |
| Tabla 6. | Temperatura media de cada pollo por imagen infrarroja para el tercer ciclo sensado               | 61          |
| Tabla 7. | Temperatura medida por foto contra temperatura ambiente medida con el sensor para el ciclo 1     | 72          |
| Tabla 8. | Temperatura medida por foto contra temperatura ambiente medida con el sensor para el ciclo 2     | 72          |
| Tabla 9. | Temperatura medida por foto contra temperatura ambiente medida con el termómetro para el ciclo 3 | 73          |

## LISTA DE FIGURAS

|  | <b>Pág.</b> |
|--|-------------|
| Figura 1. Conservación de la energía   | 18          |
| Figura 2. Tradicional cuerpo negro   | 20          |
| Figura 3. Temperatura de un objeto influenciada por el ambiente                      | 21          |
| Figura 4. Emisividad y reflectancia de un vidrio en función del ángulo de incidencia | 22          |
| Figura 5. Densidad de potencia emitida en función de la longitud de onda             | 23          |
| Figura 6. Sistema de sensado termográfico  | 23          |
| Figura 7. Espectro electromagnético  | 24          |
| Figura 8. Esquema de interpretación de una imagen infrarroja                         | 25          |
| Figura 9. Aplicaciones de la termografía   | 27          |
| Figura 10. Representación de los píxeles en una imagen                               | 27          |
| Figura 11. Histograma de una imagen  | 28          |
| Figura 12. Imagen después de usar el umbral  | 29          |
| Figura 13. Comportamiento característico de los pollos en el galpón                  | 32          |
| Figura 14. IR FLEXCAM Thermal imagers  | 37          |
| Figura 15. Vista posterior de la cámara IR FLEXCAM                                   | 38          |
| Figura 16. Vista frontal de la cámara IR FLEXCAM                                     | 39          |
| Figura 17. Vista inferior de la cámara IR FLEXCAM                                    | 39          |
| Figura 18. Imagen infrarroja sensada   | 44          |
| Figura 19. Imágenes infrarrojas obtenidas con Smartview                              | 46          |
| Figura 20. Imagen matricial  | 47          |
| Figura 21. Parte 1 del programa  | 50          |
| Figura 22. Parte 2 del programa  | 51          |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 23. | Parte 3 del programa  | 52 |
| Figura 24. | Parte 4 del programa  | 53 |
| Figura 25. | Parte 5 del programa  | 54 |
| Figura 26. | Interfaz del programa de segmentación   | 54 |
| Figura 27. | Protocolo de captura de imágenes infrarrojas  | 58 |
| Figura 28. | Segmentación de los pollos en una imagen infrarroja   | 59 |
| Figura 29. | Graficas de la temperatura promedio corporales por foto durante los días 4, 11 y 21 del primer ciclo            | 63 |
| Figura 30. | Graficas de la temperatura promedio corporales por foto durante los días 4, 17 y 30 del segundo ciclo           | 65 |
| Figura 31. | Graficas de la temperatura promedio corporales por foto durante los días 4, 7, 11, 18, 25 y 28 del tercer ciclo | 67 |
| Figura 32. | Temperatura ambiente sensada para el ciclo 1  | 71 |
| Figura 33. | Temperatura ambiente sensada para el ciclo 2  | 71 |
| Figura 34. | Ajuste punto a punto de los datos de temperatura media para el primer ciclo sensado                             | 74 |
| Figura 35. | Ajuste punto a punto de los datos de temperatura media para el segundo ciclo sensado                            | 75 |
| Figura 36. | Ajuste punto a punto de los datos de temperatura media para el tercer ciclo sensado                             | 75 |
| Figura 37. | Ajuste polinomial de los datos de temperatura media para el primer ciclo sensado                                | 76 |
| Figura 38. | Ajuste polinomial de los datos de temperatura media para el segundo ciclo sensado                               | 77 |
| Figura 39. | Ajuste polinomial de los datos de temperatura media para el tercer ciclo sensado                                | 78 |
| Figura 40. | Mortalidad de los pollos del primer ciclo Vs. Temperatura corporal promedio                                     | 80 |

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Figura 41. | Mortalidad de los pollos del segundo ciclo Vs. Temperatura corporal promedio  | 80 |
| Figura 42. | Mortalidad de los pollos del tercer ciclo Vs. Temperatura corporal promedio   | 81 |
| Figura 43. | Morbilidad de los pollos en el primer ciclo Vs. Temperatura corporal promedio   | 83 |
| Figura 44. | Morbilidad de los pollos en el segundo ciclo Vs. Temperatura corporal promedio  | 83 |
| Figura 45. | Morbilidad de los pollos en el tercer ciclo Vs. Temperatura corporal promedio   | 84 |
| Figura 46. | Temperatura corporal sensada mediante termografía Vs. Temperatura recomendada por el manual Ross con H.R de 60% Vs. Temperatura ambiental para el primer ciclo  | 85 |
| Figura 47. | Temperatura corporal sensada mediante termografía Vs. Temperatura recomendada por el manual Ross con H.R de 60% Vs. Temperatura ambiental para el segundo ciclo | 86 |
| Figura 48. | Temperatura corporal sensada mediante termografía Vs. Temperatura recomendada por el manual Ross con H.R de 60% Vs. Temperatura ambiental para el tercer ciclo  | 86 |

## LISTA DE ANEXOS

|                                       | <b>Pág.</b> |
|---------------------------------------|-------------|
| Anexo A. Guía de usuario del programa | 94          |
| Anexo B. Códigos de los algoritmos    | 97          |

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO CORPORAL DE LOS POLLOS DE GRANJA MEDIANTE EL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES TERMOGRÁFICAS.

**AUTORES:** CARLOS ADOLFO ROBLES SILVA Y SERGIO ARMANDO SERRANO QUINTERO.

**PALABRAS CALVES:** Procesamiento digital de imágenes, termografía, temperatura corporal de las aves.

En el proceso de cría y engorde de los pollos de granja existen diferentes aspectos, tales como el tipo de alimento que se les está suministrando, el nivel de salubridad del galpón, los niveles de humedad y temperatura o los periodos de luz a los cuales son sometidos los pollos; todos estos aspectos terminaran influenciando en el rendimiento del ave. Por ende la idea de realizar este proyecto nace a partir de buscar una mayor calidad y eficiencia en este proceso, guiando específicamente esta investigación hacia el estudio del comportamiento térmico corporal de los pollos, para así caracterizar la temperatura que manejan estas aves durante todo su ciclo de crecimiento. Se hace énfasis en el estudio de la temperatura corporal de las aves, debido a que se ha establecido que el estrés térmico, que es como se le denomina al fenómeno de la temperatura corporal elevada en los pollos, es una de las principales causas en el aumento de la tasa de mortalidad de las aves.

Este estudio de la temperatura de las aves se realizó mediante el sensado termográfico de los galpones y la implementación de algoritmos de procesamiento digital de imágenes a las muestras tomadas, lo cual es una innovación presentada en la región y puede establecerse como una buena alternativa para incluirse en el proceso de levante de los pollos.

---

\* Proyecto de Grado

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones, Director M.Sc. ANA BEATRIZ RAMIREZ

## ABSTRACT

**TITLE:** STUDY OF THE BEHAVIOR OF BODY HEAT OF CHICKEN FARM BY THERMAL DIGITAL IMAGE PROCESSING

**AUTHOR:** CARLOS ADOLFO ROBLES SILVA Y SERGIO ARMANDO SERRANO QUINTERO.

**KEY WORDS:** Digital image processing, thermography, body temperature of birds.

In the process of breeding and fattening of chicken farm there are different aspects, such as type of food being supplied to them, the level of health of the warehouse, the levels of humidity and temperature or light periods to which they are exposed, all of these issues end up influencing the final product quality. Hence the idea of this project comes from seeking a higher quality and efficiency in this process, specifically to guide the research towards the study of the thermal featured of the body of chickens, so to characterize the temperature required to handle these birds throughout their life cycle growth. Emphasis is placed on the study of body temperature of birds, since it was established that heat stress, as it is called the phenomenon of elevated body temperature in chickens is a major cause in increased mortality in the chickens.

This study of the temperature of the birds was determined by thermographic sensing of the barns and the implementation of algorithms for digital image processing of samples, which is an innovation in the region and can be set as a good alternative to include in the process of release of the chickens.

---

\*Project of Grade

\*\*Ability of Physical-Mechanical Engineerings, Electric, Electronic School of Engineerings and Telecommunications, Managing M.Sc. ANA BEATRIZ RAMIREZ

## INTRODUCCIÓN

El procesamiento digital de imágenes se ha establecido como una innovadora técnica para la solución de problemas en ingeniería, ya que debido a su versatilidad y a su capacidad para asimilar fenómenos físicos, ofrece resultados de amplia confiabilidad y calidad que poco a poco se están posicionando en la industria. Ahora, respecto a la producción avícola y refiriéndose en especial al proceso de cría y engorde de los pollos de granjas de corral en la región de Santander, se debe tener en cuenta, que este proceso involucra diferentes factores que afectan la calidad final del producto, entre los que están: el nivel de salubridad del galpón, la humedad relativa del ambiente, la temperatura corporal de las aves, la calidad de la comida que se esté suministrando, el genotipo de ave que se esté manejando, las medicinas que se suministren a las aves, etc....; de las cuales algunas de ellas dependen prácticamente de la experiencia que tenga la persona encargada del manejo de los animales. Por ejemplo, en algunos casos el galponero es el sensor de la temperatura ambiental, es quien estima la sensación de humedad relativa que hay en el ambiente y es con su experiencia quién indica los momentos “ideales” para suministrar comida y/o bebida a los pollos. Ahora, esto no ofrece una alta confiabilidad y por ende la eficiencia en la producción no es la esperada.

Debido a esto surge el uso del procesamiento digital de imágenes aplicado a la termografía como una alternativa de sensado de los niveles de temperatura corporal de las aves, la cual servirá como una herramienta de apoyo a los sistemas industriales de medición de temperatura ambiental.

La finalidad de este proyecto es caracterizar el comportamiento térmico corporal de los pollos en su proceso de cría, levante y engorde mediante la utilización de imágenes termográficas y su correspondiente procesamiento digital, con el objetivo de mejorar el confort térmico de las aves y así dar un aporte a la experiencia regional sobre la producción avícola. Esta caracterización permitirá

establecer un punto de partida para una solución técnica que tenga como meta optimizar este proceso industrial.

El contenido de este libro se divide de la siguiente forma, en el primer capítulo se encuentra todo lo referente a los conceptos básicos de emisividad, termografía procesamiento de imágenes, y el proceso de cría y engorde de los pollos de granja según el manual de Ross.

El segundo capítulo presenta una descripción de la cámara termográfica que se utilizó para la toma de las muestras de las aves, y el software que se implementó para la segmentación y obtención de los promedios de temperatura corporal de las imágenes termográficas.

En el tercer capítulo se presentan los resultados de la investigación en forma numérica y la relación de estos resultados con algunas variables típicas en la industria avícola (mortalidad, morbilidad y temperatura ambiente), a través de tablas y gráficos.

Y por último en el cuarto y quinto capítulo se presentan las conclusiones y se hacen algunas recomendaciones con referencia al estudio realizado.

## 1. CONCEPTOS BÁSICOS

### 1.1. EMISIVIDAD

Todo cuerpo irradia energía de acuerdo a sus propiedades y a las condiciones a las cuales se encuentre sometido. La emisividad puede definirse entonces como *“la proporción de energía irradiada por un cuerpo objetivo, en relación a la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.”* [4]

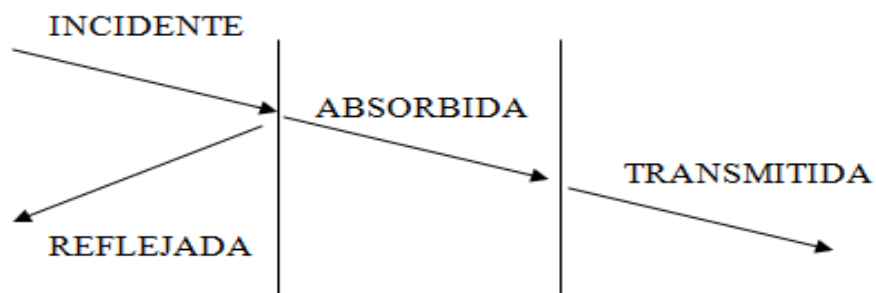
$$\varepsilon = M_{\text{actual}}/M_{\text{cuerponegro}} \quad (1.1)$$

El valor de emisividad de un objeto cualquiera puede variar de acuerdo a características propias de este tales como su forma, la calidad que presente su superficie o la temperatura a la cual se encuentre, además también existen otros factores que afectan el valor de esta, tales como la longitud de onda de la energía irradiada, el ángulo de visión desde el cual se esté midiendo y las condiciones del ambiente en el que se encuentra el cuerpo objetivo.

A continuación se explican este tipo de factores que afectan la medición de la emisividad y que ayudan a entender de mejor forma este fenómeno. [1]

#### 1.1.1. Efecto de la superficie en la emisividad

Figura 1. Conservación de Energía



Fuente: referencia [1]

De la radiación que incide sobre un objeto no toda es reflejada, algo de ésta es absorbida y algo de ésta es transmitida (figura 1), pero la sumatoria total de todas es igual a uno, para hacer referencia a la ley de conservación de la energía; esta relación la podemos expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\zeta + \alpha + \rho = 1 \quad (1.2)$$

Siendo  $\zeta$  la energía transmitida,  $\alpha$  la energía absorbida y  $\rho$  la energía reflejada. Pero la mayoría de objetos no son demasiado claros para experimentar la propiedad de transmisión, convirtiendo la ecuación (1.2) en:

$$\alpha + \rho = 1 ; \zeta = 0 \quad (1.3)$$

Cuando un cuerpo se encuentra en equilibrio térmico, la energía que éste absorbe debe ser igual a la que emite, es decir, que el objeto no se está calentando ni enfriando, entonces la absorción se puede ver como emisividad, de tal forma que:

$$\varepsilon + \rho = 1 \quad (1.4)$$

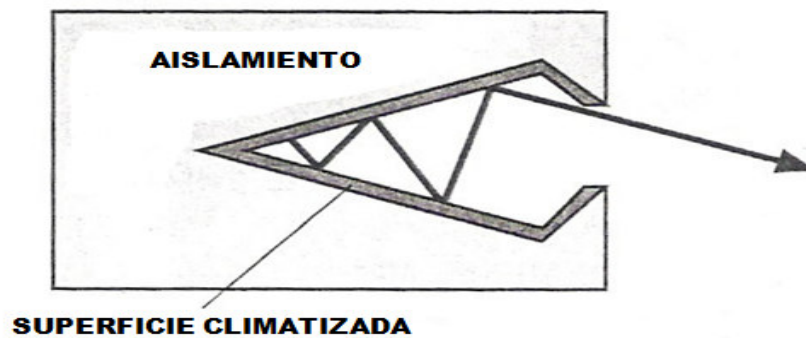
Con esto se puede concluir que el cuerpo que presenta la mejor característica de emisividad es aquel cuya superficie presenta la mayor absorción, siendo un cuerpo negro el que presenta esta propiedad ( $\varepsilon = 1$ ) y donde el caso contrario es una superficie completamente reflectiva ( $\varepsilon = 0$ ). En general los cuerpos que presentan una superficie áspera experimentan mayor emisividad mientras que los que tienen superficies lisas experimentan un valor de emisividad muy bajo. [1]

**1.1.2. Efectos de la geometría de los objetos en la emisividad.** La emisividad y la reflexión de los objetos dependerán también de la forma geométrica que estos posean, este fenómeno es debido a que la intensidad de radiación se reduce en correspondencia al número de veces que esta es reflejada en una superficie en proporción a la ecuación:

$$I = I_0 \rho^N \quad (1.5)$$

De la ecuación (1.5) se puede observar que la intensidad inicial de radiación incidente ( $I_0$ ) se reducirá en una proporción de  $\rho^N$ , es decir que entre más se incremente el número de reflexiones (N) en la superficie del cuerpo, mayor será la reducción de la energía reflejada, y por ende realizará un aumento en la energía emitida, para que se cumpla la ecuación (4). Por ende la forma que tenga un objeto afectará el número de reflexiones de la radiación incidente en éste, variado de igual forma el valor de la emisividad que el objeto presenta. [1]

**Figura 2. Tradicional cuerpo negro**



Fuente: referencia [1]

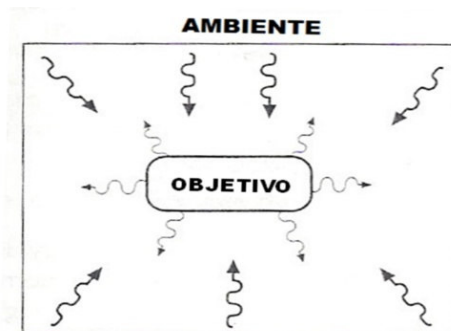
**1.1.3. Efectos del ambiente en la medición de la emisividad.** En la medición de la emisividad de un cuerpo no se puede dejar a un lado el ambiente que se encuentra alrededor de este, ya que al igual que el cuerpo objetivo, este se encuentra emitiendo radiación. Para describir este fenómeno hay que referenciar la “Ley de Stefan-Boltzman” <sup>1</sup>, en la cual la emanación total de potencia de un objeto opaco es:

$$M = \sigma T_{\text{aparente}}^4 = \epsilon \sigma T_T^4 + \rho \sigma T_S^4 \quad (1.6)$$

<sup>1</sup> “La ley de Stefan-Boltzmann establece que toda materia que no se encuentre a una temperatura infinita, emite dos radiaciones térmicas”. [9]

En donde  $T_s$  hace referencia a la temperatura efectiva de los alrededores y  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzman que es igual a  $5.6697 \cdot 10^{-8} \left( \frac{W}{m^2 K^4} \right)$ . [1]

**Figura 3. Temperatura de un objeto influenciada por el ambiente**



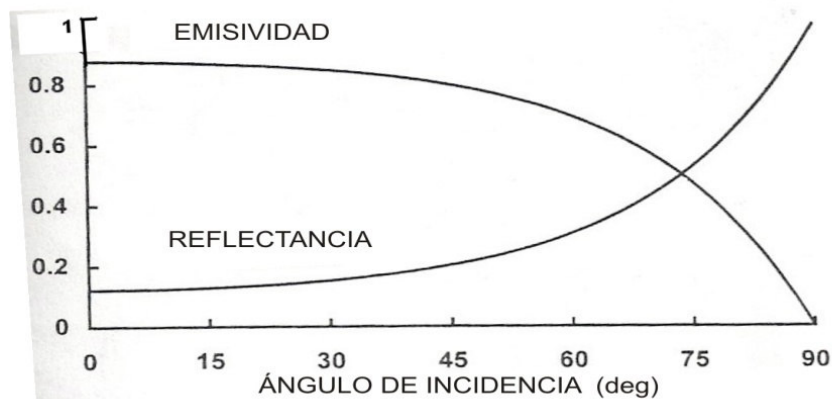
Fuente: referencia [1]

Ya que todas las temperaturas del ambiente que rodean el cuerpo objetivo no conllevan la misma emisividad debido a la forma, distancia o ángulo con el cual se esté midiendo, una muy buena referencia de un valor promedio de estas es la  $T_{aparente}$  que aparece en la ecuación (1.6). La temperatura aparente es igual a  $T_{aparente} = \{\epsilon T_o^4 + \rho T_s^4\}^{1/4}$  y como se puede ver más adelante, la  $T_{aparente}$  corresponderá a la temperatura objetivo cuando la emisividad del objeto tienda a la unidad y de la misma forma  $T_{aparente}$  tenderá a la temperatura media del ambiente que rodea el objetivo cuando la emisividad de éste se aproxime a cero. [1]

**1.1.4. Dependencia de la emisividad con respecto al ángulo de visión.** Al igual que con la forma o la superficie de un objeto, la emisividad también varía con respecto al ángulo de visión con que se esté observando. Se puede decir que la emisividad disminuye a medida que el ángulo de visión aumenta (con respecto a una misma normal), lo cual ocasiona que la reflectancia aumente para cumplir la ecuación (1.3). En la figura 4, se puede observar la variación de la emisividad y la

reflectancia de un vidrio con respecto al ángulo de incidencia con el que se esté observando. [1]

**Figura 4. Emisividad y Reflectancia de un vidrio en función del ángulo de incidencia**



Fuente: referencia [1]

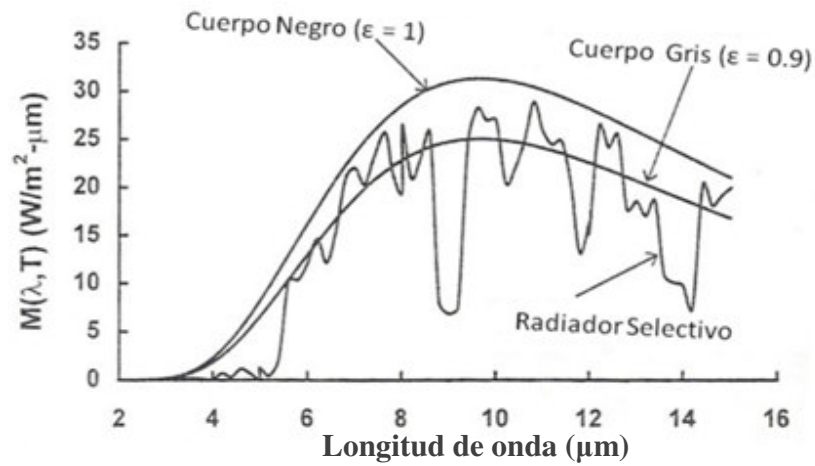
**1.1.5. Dependencia espectral de la emisividad.** Dependiendo de la radiación con que sea incidido un cuerpo, los valores de la transmisión, absorción y reflexión, presentarán una variación, es decir que estas características estarán en función de la longitud de onda con que sea irradiado el cuerpo objetivo:

$$\zeta(\lambda) + \alpha(\lambda) + \rho(\lambda) = 1 \quad (1.7)$$

*“Por ende algunos materiales, tales como el vidrio, son transparentes a la luz visible, pero opacos para la luz infrarroja. Y otros objetos que parecen ser opacos en la luz visible pueden ser un poco transparentes a la luz infrarroja; el plástico negro es un ejemplo de esto; es muy fácil ver el contenido de una bolsa de plástico negro con un sistema de imágenes térmicas”. [1]*

En la figura 5 se puede observar la variación de la densidad de potencia emitida con respecto a la longitud de onda incidente, para diferentes cuerpos:

**Figura 5. Densidad de potencia emitida en función de la longitud de onda**



Fuente: referencia [1]

## 1.2. TERMOGRAFÍA

**Figura 6. Sistema de sensado termográfico**

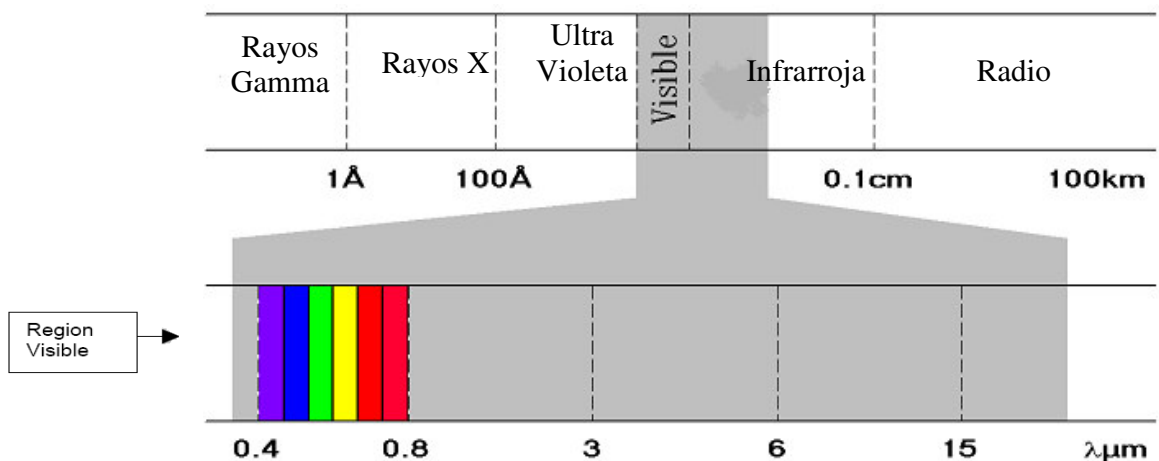


Fuente: referencia[6]

La termografía se puede definir como una técnica de obtención y análisis de imágenes infrarrojas con el fin de registrar la energía térmica emitida por un cuerpo objetivo. Esta técnica se basa en que todos los cuerpos a medida que aumentan su temperatura aumentan también la cantidad de radiación infrarroja emitida y además que cada longitud de onda de esta radiación corresponde a una temperatura diferente. [4 y 5]

**1.2.1. Espectro Electromagnético.** La principal fuente de radiación infrarroja es el calor y por ende si existe una temperatura elevada, existirá también una radiación de igual correspondencia. Esta energía o radiación es emitida a diferentes niveles en el espectro electromagnético y está en función de su longitud de onda. [5]

**Figura 7. Espectro electromagnético**



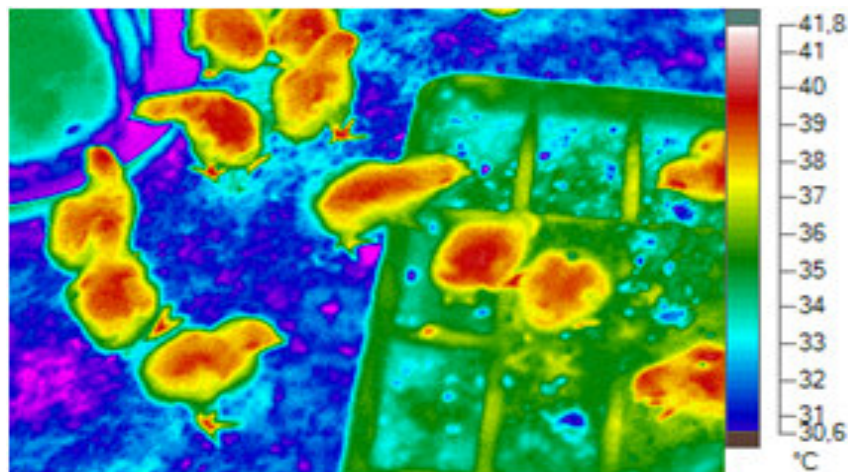
Fuente: referencia [4]

La figura 7 muestra el espectro electromagnético donde se emite energía incluyendo Rayos X, Ultra Violeta, Infrarrojo y Radio. Se puede observar que la radiación infrarroja tiene mayor longitud de onda que la luz visible pero menor que

las de las ondas de radio y por ende tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor frecuencia con respecto a las ondas de radio (El ojo humano responde a la luz visible en el rango de 0.4 a 0.65 micras). Ahora hablando del caso de los seres humanos, la radiación emitida por estos pertenece en su mayoría a una longitud de onda de 10 micras o 100000 nanómetros.

La gran mayoría de la medida de temperatura infrarroja se realiza en el rango de 0.2 a 20 micras. Y en donde en la mayoría de referencias (observar figura 8), las áreas rojas son las de mayor temperatura seguidas, por las amarillas las verdes y finalmente son las azules las de menor temperatura. [4 y 5]

**Figura 8. Esquema de interpretación de una imagen infrarroja**



Fuente: Autores del proyecto

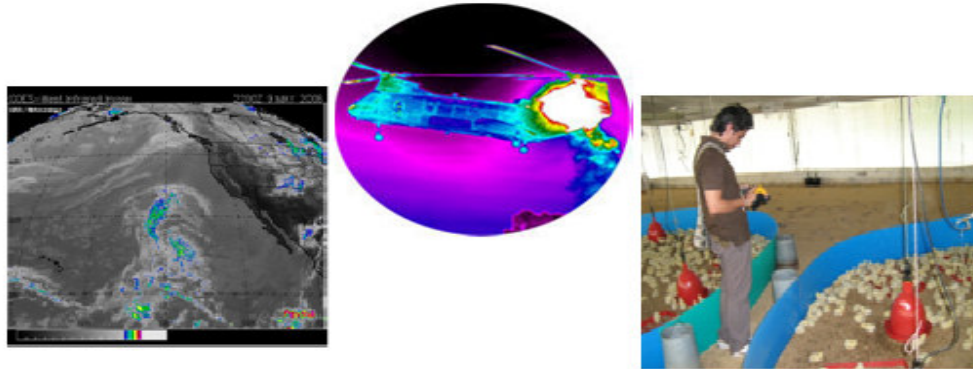
**1.2.2. Aplicaciones de la termografía.** Debido a que la termografía es una técnica que no requiere un contacto directo del sensor con el objetivo a estudiar, ofrece una gran ventaja y versatilidad por encima de otros métodos de análisis. Además su exactitud en los resultados ha llevado a que esta técnica sea tomada en cuenta como una buena fórmula en el desarrollo de procesos industriales. Sin embargo, también presenta algunas desventajas, tales como la limitación para la

identificación de irregularidades en el objetivo a estudiar si estas no se manifiestan por medio de la temperatura o también los efectos que tienen el fenómeno de la emisividad y la energía reflejada en los cuerpos.

De acuerdo con esto, las principales aplicaciones que ha tomado la termografía en la actualidad son:

- La obtención de imágenes fisiológicas, que brindan información sobre el funcionamiento normal o anormal, del sistema nervioso, vascular musculoesquelético y los procesos de inflamación local en los seres humanos. Además, esta técnica puede brindar información sobre condiciones dermatológicas, endocrinas o mamarias. [4]
- En el campo militar la termografía permite el reconocimiento y la detección de objetos que se encuentran en ambientes hostiles. [4]
- A nivel de la industria la termografía es utilizada por los especialistas en mantenimiento para el diagnóstico acerca de la forma en cómo están operando los diferentes dispositivos eléctricos o mecánicos que estén bajo su control. [4]
- En la industria alimenticia, las imágenes por radiación infrarroja son utilizadas para el control de temperatura de los lugares en donde se encuentran almacenados los alimentos y así controlar la calidad final de producto y no alterar su tiempo de perecimiento. [4]
- En la veterinaria se utiliza el análisis de imágenes termográficas para la detección de enfermedades en animales donde es muy difícil de realizar un examen físico. [4]
- Otra aplicación muy importante en la actualidad, es en la predicción del clima del planeta. Ya que los satélites, los cuales miden directamente la radiación infrarroja emitida por las nubes, las superficies y el océano, hacen un posterior procesamiento de esta, para que así de esta manera, se pueda conocer la temperatura en diferentes zonas de la Tierra. [4]

**Figura 9. Aplicaciones de la termografía**



Fuentes: Autores del proyecto y referencia [4]

**1.3. IMÁGENES DIGITALES**

Las imágenes en el mundo real son de naturaleza continua y por consiguiente la cantidad de información que se puede obtener de una imagen real es infinita, pero en la práctica esta cantidad es limitada por el instrumento encargado de muestrear la imagen, y por los equipos que se utilizan durante el procesamiento.

La imagen es el resultado de un muestreo hecho por una cámara digital o escáner y está conformado por pixeles ordenados matricialmente. [7]

**Figura 10. Representación de los pixeles en una imagen.**

|              |              |              |   |   |       |              |
|--------------|--------------|--------------|---|---|-------|--------------|
| PIXEL<br>1,1 | PIXEL<br>1,2 | PIXEL<br>1,3 |   |   | ...   | PIXEL<br>1,n |
| PIXEL<br>2,1 | PIXEL<br>2,2 |              |   |   | ...   |              |
|              |              |              |   |   | ...   |              |
| ·            | ·            | ·            | · | · | · · · |              |
| ·            | ·            | ·            | · | · | ·     |              |
| PIXEL<br>m,1 |              |              |   |   | ...   | PIXEL<br>m,n |

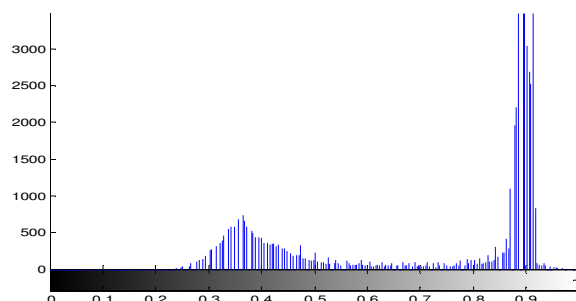
Fuente: Autores del proyecto

**1.3.1. Procesamiento de imágenes.** Las imágenes contienen información de un evento y pueden ser utilizadas en muchas aplicaciones como instrumento de medición, además puede llegar a ser la forma más cómoda y segura de tomar información de un suceso. La información contenida en una imagen se puede clasificar como útil e indeseada: los datos útiles de las imágenes se encuentra mezclados con datos indeseados del ambiente que se pueden definir como ruido ya que no son importantes para el análisis en cuestión y es posible que estén ocultado los datos que realmente interesan, para afrontar este problema se ha ideado el procesamiento de imágenes.

El procesamiento de imágenes lleva una serie de pasos básicos que comienza con: la obtención de la imagen por medio de una cámara o escáner, después de adquirida la información se debe hacer un pre-procesamiento, el siguiente paso es la segmentación de la imagen que nos permite dividir la imagen en partes y de esta forma poder extraer los rasgos principales y por último la extracción de información y el reconocimiento e interpretación de los datos adquiridos de la imagen, estos pasos son una guía pero no necesariamente todos los procesos tengan que seguir cada paso y en ese orden. [7]

### 1.3.2. El histograma de frecuencias.

**Figura 11. Histograma de una imagen.**

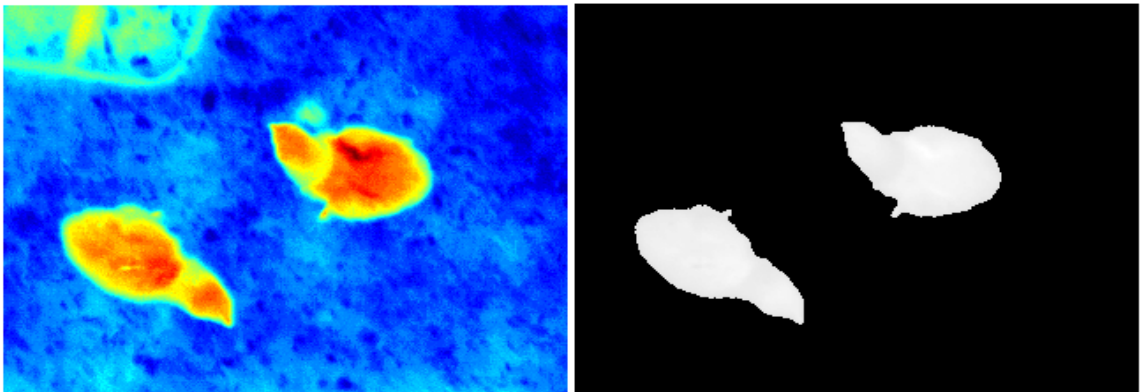


Fuente: Autores del proyecto

El histograma de una imagen es una representación grafica que muestra la distribución de pixeles según su valor de intensidad, es decir permite ver cuántos pixeles hay en cada valor posible de la imagen como en la figura 11. Es una herramienta utilizada para observar el contraste de una imagen y poder seleccionar de esta forma una adecuada transformación. [7]

**1.3.3. Umbralización.** La umbralización es considerada un caso especial de las transformadas de imágenes y consiste en un valor limite (umbral), donde se toman como ceros los valores menores y como unos los valores mayores ó viceversa y se crea una nueva imagen.

**Figura 12. Imagen después de usar el umbral**



Fuente: Autores del proyecto

La cantidad de umbrales que se le apliquen a una imagen puede ser mayor de uno. [7]

**1.3.4. Segmentación.** La segmentación de una imagen es una pieza clave de cualquier procesamiento digital de imágenes y nos permite subdividir la imagen en los elementos que la componen y por lo general entre estos factores se encuentra la información que estamos buscando extraer del resto de la imagen.

La segmentación se divide en dos grandes ramas:

Basada en propiedades de similitud:

- Umbralización.
- Crecimiento de regiones.

Basada en las propiedades de discontinuidad

- Detección de contornos.

En el programa diseñado para el desarrollo de este proyecto, se trabaja con las propiedades de similitud ya que los contornos de los pollos son irregulares y por ende no presentan una forma definida todo el tiempo, es por esta razón que la umbralización y el crecimiento de regiones muestran mayor efectividad en la segmentación. [10]

#### **1.4. MANUAL DE MANEJO DE POLLOS DE ENGORDE ROSS**

El manual de manejo de pollos tipo Ross, es una guía establecida por la empresa AVIAGEN del Reino Unido, la cual tiene como objetivo servir como guía en los procesos de cría y engorde de este tipo de aves. Estos estándares que se plantean en este documento no conllevan un cumplimiento exigente en su totalidad, pero aseguran una muy buena calidad y eficiencia en el manejo de la parvada<sup>2</sup> y el producto final obtenido. Este documento basa sus recomendaciones en búsqueda del cumplimiento de los siguientes objetivos:

- *“Obtención del rendimiento requerido para el genotipo (Ross).*
- *Manejo del ambiente para proporcionar a las aves todos sus requerimientos de temperatura, calidad del aire, etc... .*

---

<sup>2</sup> Parvada es un grupo de aves que actúan de modo homogéneo mientras vuelan o se alimentan.[9]

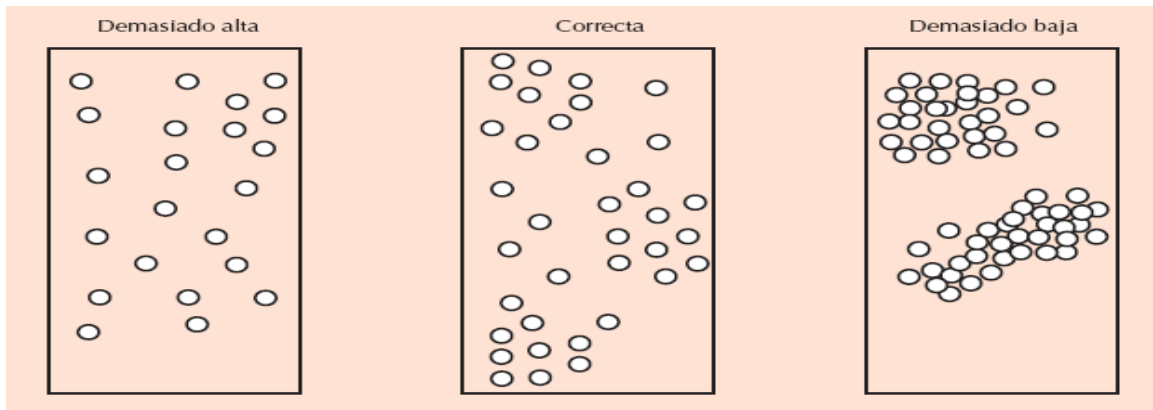
- *Administración del alimento para que este aporte suficientes nutrientes y sea suministrado en las proporciones correctas.*
- *Controlar del estado inmune para que este sea apropiado y así se restrinjan las enfermedades.” [2]*

A continuación se expondrán algunas de las pautas que propone esta guía con respecto a aspectos que tienen que ver con el control del ambiente:

**1.4.1. Control del medio ambiente.** La temperatura y la humedad relativa son factores que afectan de gran forma el rendimiento de la parvada, ya que los pollos tienen que estar en un “confort térmico” continuo que permitan que se alimenten y crezcan en condiciones optimas. Es por esta razón que estos factores deben ser monitoreados continuamente y de no estar en los niveles recomendados, se deben hacer los respectivos ajustes con el fin de mejorarlos.

Un muy buen indicador del confort térmico que experimentan los pollos en el galpón es su comportamiento. Se ha observado que si los pollos se encuentran distribuidos homogéneamente en todo el galpón, entonces se puede concluir que se hallan bajo un clima de confort térmico. Mientras que si estos se encuentran demasiado juntos y hacia mismos sectores en el galpón, esto indica una temperatura demasiado baja. Y por último si los pollos se encuentran demasiado separados, jadeando y con la cabeza y alas caídas entonces la temperatura en el galpón es demasiado alta. Estos comportamientos se pueden observar en la figura 13. [2]

**Figura 13. Comportamiento característico de los pollos en el galpón**



Fuente: referencia [2]

El manual de Ross establece también rangos de “temperatura de bulbo seco”<sup>3</sup> adecuadas, que se deben tener en cuenta en este proceso de cría y engorde, estas temperaturas son relacionadas en función de la humedad relativa que se observa en el ambiente y esto se debe a que *“la temperatura que siente un animal depende de la combinación de la temperatura de bulbo seco y de la humedad relativa. Ya que la humedad relativa elevada aumenta la temperatura aparente ante una misma temperatura de bulbo seco, mientras que al reducirse la humedad relativa, disminuye también la temperatura aparente”*. [2]

En la tabla 1 se exponen temperaturas aparentes objetivos que se deben cumplir para garantizar un óptimo confort térmico:

---

<sup>3</sup> “Temperatura de bulbo seco o temperatura seca es la medida con un termómetro convencional de mercurio o similar cuyo bulbo se encuentra seco ” [9]

**Tabla 1. Temperaturas aparentes objetivo**

| Edad (días) | Temperatura [°C] ante Humedad Relativa [%] |           |
|-------------|--|-----------|
|             | 60% [H.R]                                  | 70% [H.R] |
| 0           | 30.5 [°C]                                  | 28.6 [°C] |
| 3           | 29.5 [°C]                                  | 27.6 [°C] |
| 6           | 28.5 [°C]                                  | 26.6 [°C] |
| 9           | 27.5 [°C]                                  | 25.6 [°C] |
| 12          | 25.0 [°C]                                  | 23.8 [°C] |
| 15          | 24.0 [°C]                                  | 22.5 [°C] |
| 18          | 23.0 [°C]                                  | 21.5 [°C] |
| 21          | 22.0 [°C]                                  | 20.5 [°C] |
| 24          | 21.0 [°C]                                  | 19.5 [°C] |
| 27          | 21.0 [°C]                                  | 19.5 [°C] |

Fuente: Autores del proyecto

De la anterior tabla se puede concluir que los valores de humedad relativa recomendados por el manual de Ross se encuentra entre el 60% y 70% y que las temperaturas aparentes no deben superar los 30.5 [°C].

Otro aspecto importante en cuanto al cuidado del ambiente se refiere, es la ventilación del galpón, la cual debe tener un sistema adecuado que permita la evacuación de gases nocivos que se acumulan allí, tales como el bióxido de carbono, el amoniaco o el monóxido de carbono. Se deben establecer programas diarios de ventilación que permitan tener un aire fresco en la zona de cría y engorde. [2]

**1.4.2. Sistema de iluminación.** Los pollos de cría y engorde tienen que ser sometidos a periodos de iluminación intensivos para lograr un aumento en el consumo diario de alimento y así mismo de su peso en muy poco tiempo. En la mayoría de galpones los pollos son expuestos a periodos de luz de aproximadamente de 23 horas diarias dejando así solo una hora de oscuridad para que estos se acostumbren en caso tal de que el suministro de energía falle.

En la tabla 2 se expone el programa básico de iluminación que propone el manual de Ross para obtener un rendimiento adecuado:

**Tabla 2. Programa básico de iluminación para la cría de pollos Ross**

| <b>Edad (días)</b> | <b>Intensidad de luz (lux)</b> | <b>Fotoperiodo (horas)</b> |
|--------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 0 a 7              | 20 mínimo                      | 23 de luz y 1 de oscuridad |
| 7 a 21             | 20 a 10<br>(reducción gradual) | 23 de luz y 1 de oscuridad |
| 21 a sacrificio    | 10                             | 23 de luz y 1 de oscuridad |

Fuente: referencia [2]

## 1.5. ESTADISTICA

La estadística se basa en la recolección, el análisis e interpretación de datos con el fin de la explicar un fenómeno de tipo aleatorio. La estadística basa la mayoría de su teoría en las matemáticas y es aplicable a una amplia variedad de disciplinas que van desde la física hasta las ciencias sociales e incluyendo las ciencias de la salud y el control de calidad y en muchos casos es el punto de partida para la toma de decisiones en lo que tiene que ver con negocios e instituciones gubernamentales. [9]

En general la estadística se divide en dos grandes ramas que son la estadística descriptiva, la cual se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Y la estadística inferencial que se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociados al fenómeno en estudio y teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. [9]

Para lo que tiene que ver con la realización de este proyecto, se basará el análisis a partir de las teorías de estadística descriptiva ya que se efectuarán análisis de datos numéricos a partir de la media y la desviación estándar. Sin embargo se usarán algunos modelos de regresión para obtener los valores de temperatura corporal que caracterizan los ciclos de cría, levante y engorde en la granja Los Totumos ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga. A continuación se definirán algunos conceptos básicos de la estadística descriptiva:

**1.5.1. Población.** La población hace referencia a un conjunto ya sea finito o infinito de personas, cosas u objetos que presentan al menos una característica en común y que se estudia con el fin de sacar algún análisis o conclusión sobre esta. El número por el que está compuesta una población a estudio es un factor determinante en el resultado de una investigación estadística, ya que si la población objetivo contiene un número infinito de elementos que la conforman, entonces se utiliza una muestra representativa de ésta, que será una pequeña parte del total de la población. [9]

**1.5.2. Muestra.** Una muestra estadística está definida por un grupo representativo del total de elementos que componen una población objetivo y sirve para representarla. Y además las conclusiones que se saquen del estudio estadístico de esta podrán referenciarse al total de la población. La ventaja que tiene la toma de una muestra representativa de una población, es que hace mucho más fácil y rápido el análisis estadístico ya que los datos se reducen en un gran porcentaje. [9]

**1.5.3. Media Aritmética.** La media aritmética se define como la suma de todos los datos muestrales dividida entre el número total de muestras. Que expresada en forma más intuitiva es la cantidad total de la variable distribuida a partes iguales entre cada observación. [9]

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} \quad (1.8)$$

**1.5.4. Desviación Estándar.** Dado que para conocer con detalle un grupo de datos, no basta con saber las medidas de tendencia central, sino también la desviación que representan los datos en su distribución, con el objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad a la hora de describirlos e interpretarlos, aparece la desviación estándar como un muy buen estadístico. La desviación estándar se define como una medida del grado de dispersión de los datos muestrales con referencia al valor promedio de estos. [9]

$$\sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1.9)$$

**1.5.5. Regresión Polinomial.** Para la estadística inferencial la regresión polinomial pretende obtener los valores de los parámetros asociados con la mejor curva de ajuste habitualmente con el método de los mínimos cuadrados para un modelo tipo:

$$y = f(x, \theta) + \epsilon \quad (1.10)$$

*“En donde  $x$ ,  $y$  son datos multidimensionales y la función  $f$  es alguna función no lineal respecto a algunos parámetros desconocidos. Con el fin de determinar si el modelo es adecuado puede ser necesario utilizar conceptos de inferencia estadística tales como intervalos de confianza para los parámetros así como pruebas de bondad de ajuste.” [9]*

## 2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE Y SOFTWARE

### 2.1. DESCRIPCIÓN HARDWARE

Figura 14. IR FLEXCAM Thermal Imagers



Fuente: referencia [6]

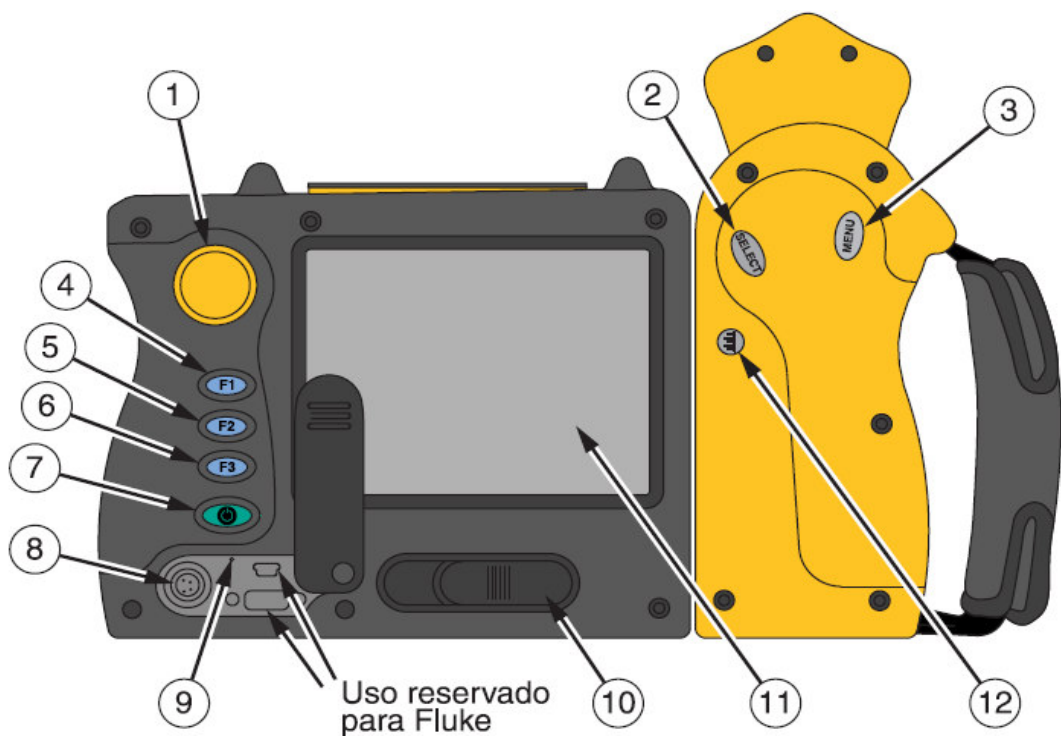
La cámara de sensado termográfico que se utilizó para la realización de este proyecto fue la 'IR FLEXCAM' la cual es producida por la empresa FLUKE. Esta cámara ofrece algunas de las soluciones totalmente radiométricas más avanzadas, y no requiere de capacitación profesional para su manipulación.

La IR FLEXCAM es un sistema ligero y compacto que utiliza un detector con una resolución de 320x240 y ofrece un amplio módulo de visualización de cinco pulgadas (pantalla de LCD), cuya posición se puede modificar para lograr una visualización óptima. También es posible girar el módulo de la lente para capturar

fácilmente imágenes deseadas en techos, ocultas bajo objetos altos, debajo de obstáculos bajos o en otros lugares de difícil acceso. Además, se puede montar el sistema en un trípode estándar para supervisar continuamente un único lugar. Si bien la cámara es un sofisticado sistema de formación de imágenes con muchas funciones avanzadas, es fácil de operar, ya que tiene un manejo homogéneo al de un computador personal, dado que tiene un controlador de tipo ratón y un botón de selección que se utiliza para seleccionar elementos de la barra de tareas en la pantalla de visualización de la cámara, y para acceder a los menús de la pantalla y navegar por ellos. [6]

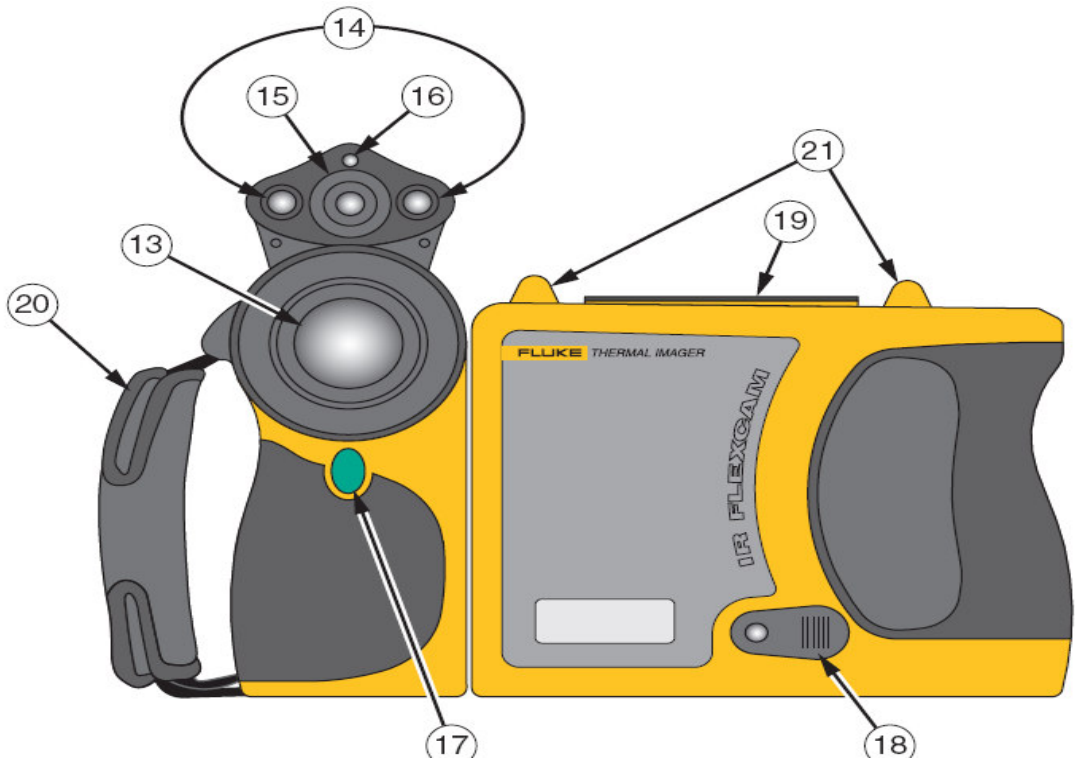
**2.1.1. Partes de la cámara IR FLEXCAM.** En las siguientes figuras se muestran y enumeran las partes principales de la cámara IR FLEXCAM y la explicación de estas se encuentran en la tabla 3.

**Figura 15. Vista posterior de la cámara IR FLEXCAM**



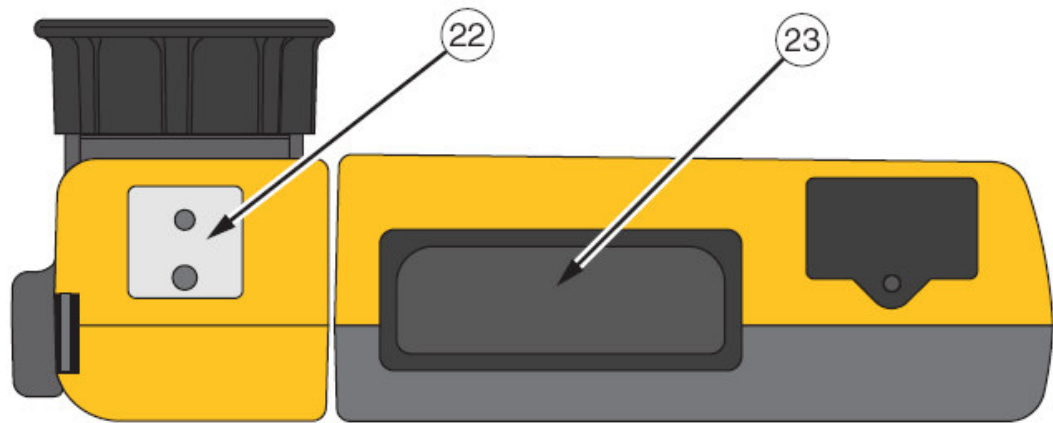
Fuente: referencia [6]

**Figura 16. Vista frontal de la cámara IR FLEXCAM**




Fuente: referencia [6]


**Figura 17. Vista inferior de la cámara IR FLEXCAM**



Fuente: referencia [6]

**Tabla 3. Descripción de las partes de la cámara “IR FLEXCAM”**




| NUMERO | DESCRIPCION  |
|--------|--|
| ①      | <b>Controlador del ratón:</b> Se utiliza para controlar la posición del puntero en las imágenes y menús de texto.  |
| ②      | <b>Botón ‘SELECT’:</b> Realiza el clic con el ratón, o la función “entrar”, para el puntero.   |
| ③      | <b>Botón ‘MENU’:</b> Se utiliza para acceder a los menús de la pantalla de visualización. Nota: Toque F una vez y aparecerá un menú emergente.   |
| ④      | <b>Botón de función programable F1:</b> Se puede programar para ejecutar diferentes funciones de menú.   |
| ⑤      | <b>Botón de función programable F2:</b> Se puede programar para ejecutar diferentes funciones de menú.   |
| ⑥      | <b>Botón de función programable F3:</b> Se puede programar para ejecutar diferentes funciones de menú.   |
| ⑦      | <b>Botón</b>  : Se utiliza para encender y apagar la cámara, y para colocarla en un modo de espera de bajo consumo de energía eléctrica para conservar la potencia de la batería.<br>Verde fijo = encendida; Verde parpadeante = modo de espera activado. |
| ⑧      | <b>Puerto auxiliar de alimentación:</b> Puerto de conexión para el adaptador de alimentación de CA a CC.   |
| ⑨      | <b>Restablecer:</b> Interruptor oculto para restablecer la cámara. Se puede acceder al mismo con un clip de papel.   |


|   |  |
|---|--|
| ⑩ | <b>Cierre de la batería:</b> Se utiliza para quitar la batería.  |
| ⑪ | <b>Pantalla de visualización de cristal líquido (LCD):</b> Pantalla en color legible a la luz solar para ver imágenes y acceder a las funciones del menú de la cámara.   |
| ⑫ | <b>Botón de NIVEL e INTERVALO:</b> Se utiliza para modificar la escala de la paleta de colores a las temperaturas máximas y mínima en la imagen actual, y para ajustar el nivel de IR-Fusion.  |
| ⑬ | <b>Lente de infrarrojos:</b> Lente de infrarrojos de germanio con enfoque manual.  |
| ⑭ | <b>Antorcha/Flash:</b> Cuando está activada, la antorcha ilumina las áreas de trabajo más oscuras. Cuando está activado, el flash ilumina el objeto deseado durante la captura de imágenes para lograr imágenes de luz visible de mejor calidad. La antorcha y el flash pueden activarse al mismo tiempo.  |
| ⑮ | <b>Lente de luz visible:</b> Captura imágenes de control de luz visible.   |
| ⑯ | <b>Láser:</b> Se utiliza para señalar el objeto al cual está apuntando la cámara.  |
| ⑰ | <b>Botón disparador</b>  : Se utiliza para detener momentáneamente y/o guardar un cuadro de imagen. También se utiliza para aceptar un cambio en el ajuste (es decir, clic para aceptar), cerrar una página de menú y regresar al modo de escaneo del objetivo. |
| ⑱ | <b>Puerto de vídeo:</b> Toma de vídeo RCA utilizada para conectar la cámara a un televisor o monitor de vídeo.   |
| ⑲ | <b>Ranura para tarjeta de memoria CompactFlash:</b> Botón de expulsión y ranura para la tarjeta de memoria CompactFlash.   |
| ⑳ | <b>Correa de mano:</b> Correa ajustable para mayor estabilidad al capturar imágenes.   |
| ㉑ | <b>Montura de correa para cuello:</b> Pasadores para conectar la correa para el cuello y/o para los hombros.   |
| ㉒ | <b>Montura de trípode:</b> Orificio roscado estándar de 1/4-20 para montar la cámara a un trípode.   |
| ㉓ | <b>Batería:</b> Batería Fluke de iones de litio de 7 voltios, para alimentación primaria.  |

Fuente: referencia [6]

**2.1.2. Adquisición y revisión de imágenes.** La cámara IR FLEXCAM cuenta con tres modos de funcionamiento: escanear objetivo, pausa/guardar y ver/eliminar imágenes.





**2.1.2.1. Escanear objetivo.** Para escanear el área de interés deseada:

1. Pulse  para encender la cámara.
2. Desmonte la tapa de la lente y apunte la lente hacia el área deseada.
3. Enfoque y visualice el área deseada en la pantalla de visualización.
4. Toque  (Botón de Nivel e intervalo), para establecer el nivel y el intervalo de temperatura de la cámara; toque  nuevamente según sea necesario para traer rápidamente el área deseada a la zona de visualización.
5. Mueva la cámara o el módulo de la lente según sea necesario para ver diversas escenas. [6]


**2.1.2.2. Pausa/Guardar imagen.** Para activar el modo de pausa y luego guardar una imagen del área deseada, siga el procedimiento de escaneo del objetivo, y luego rápidamente toque el botón disparador . Aparece la palabra “En pausa” en la esquina superior izquierda de la pantalla, y la imagen viva del área deseada se detiene momentáneamente, permitiendo analizar la imagen y determinar si resulta lo suficientemente aceptable como para guardarla. Si no es así, se pulsa rápidamente el botón disparador de nuevo para regresar al modo de escaneo del objetivo. Si la imagen es aceptable, se guarda para su consulta posterior. Ahora entonces, para guardar una imagen para su consulta posterior, la tarjeta de memoria CompactFlash debe estar insertada, después, cuando un área de interés esté visible en la pantalla de visualización, pulse y mantenga pulsado el botón disparador hasta que aparezca el reloj de arena (aproximadamente 2-3 segundos). La imagen se guarda ahora y se almacena en la tarjeta de memoria CompactFlash

y el nombre de la imagen aparece en la esquina superior izquierda de la pantalla de visualización. Por último, se pulsa el botón disparador nuevamente para regresar al modo de escaneo del objetivo. [6]

**2.1.2.3. Ver imagen guardada.** Para ver imágenes guardadas en la tarjeta de memoria, se realiza el siguiente procedimiento:

1. Se asegura que la tarjeta de memoria esté insertada y luego se pulsa  (botón MENU).
2. Se utiliza el controlador del ratón para colocar el puntero sobre Explorar imágenes en el menú emergente y se pulsa el botón .
3. Se coloca el puntero sobre la vista en miniatura de la imagen que desea abrir, y se hace doble clic en el botón  para abrirla.  
Si la imagen que se desea no aparece en la primera página, se coloca el puntero sobre las flechas hacia la derecha/izquierda en la parte inferior de la pantalla de visualización y se pulsa  tantas veces como sea necesario para desplazarse hasta la página que se desea, y luego se siguen los pasos 3-4.
4. Se pulsa el botón disparador para cerrar la imagen abierta y regresar al modo de escaneo del objetivo.
5. Se pulsa el botón disparador para aceptar el cambio del ajuste y regresar al modo de escaneo del objetivo. [6]

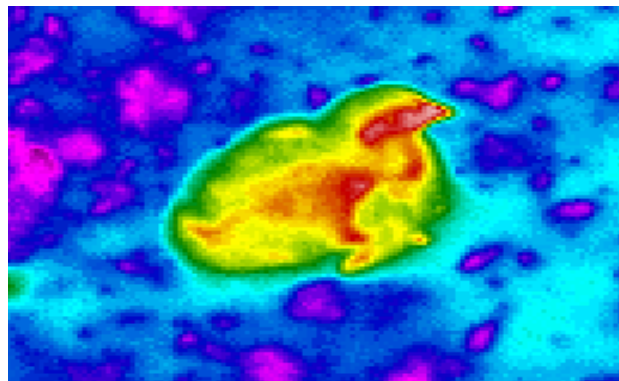
**2.1.2.4. Eliminar imagen guardada.** Para eliminar imágenes guardadas en la tarjeta de memoria de una en una, se realizan los siguientes pasos:

1. Se debe asegurar que la tarjeta de memoria esté insertada y luego se pulsa el botón .

2. Se utiliza el controlador del ratón para colocar el puntero sobre Explorar imágenes en el menú emergente y se pulsa el botón **SELECT**.
3. Se coloca el puntero sobre la vista en miniatura de la imagen que desea eliminar; la imagen se resaltará. Luego se pulsa el botón **SELECT**.
4. Se coloca el puntero sobre el botón Eliminar en la parte inferior de la pantalla de visualización, y se pulsa **SELECT**. Entonces, aparece un nuevo cuadro de diálogo; se seleccione **Sí** para eliminar la imagen, **No** para conservar la imagen o **Cancelar** para cancelar la operación y regresar a la pantalla de vistas en miniatura. Si la imagen que se desea eliminar no aparece en la primera página, se coloca el puntero sobre las flechas hacia la derecha/izquierda en la parte inferior de la pantalla de visualización y se pulsa **SELECT** tantas veces como sea necesario para desplazarse hasta la página deseada, y luego se siguen los pasos 3-5.
5. Por último, se pulsa el botón disparador para cerrar la pantalla de vistas en miniatura y regresar al modo de escaneo del objetivo. [6]

### 2.1.3 Descripción de las imágenes obtenidas.

**Figura 18. Imagen Infrarroja sensada**



Fuente: Autores del proyecto

Las imágenes obtenidas al realizar el sensado termográfico con la IR FLEXCAM se caracterizan principalmente por brindarnos el valor de temperatura para el cual se encuentra cada pixel en la escena capturada. Es decir, a diferencia de una imagen de luz visible en la cual los pixeles nos representan un valor de intensidad de color definido, acá lo que obtenemos es un valor de temperatura del objetivo ya sea en grados Celsius o Fahrenheit y esto es debido al tipo de sensor que utiliza la cámara termográfica. Este sensor realiza una conversión de la energía infrarroja en tensión eléctrica y finalmente presenta una imagen de temperaturas en el visor LCD de la cámara. Hay que anotar que para que el sensor de la cámara pueda interpretar de manera correcta la energía infrarroja incidente en él, debe ser ajustado el valor de emisividad para el tipo de superficie que se está sensando, es decir, que la eficacia y veracidad de las imágenes infrarrojas sensadas con la cámara IR FLEXCAM dependen de la emisividad referencia con que se esté trabajando. [6]

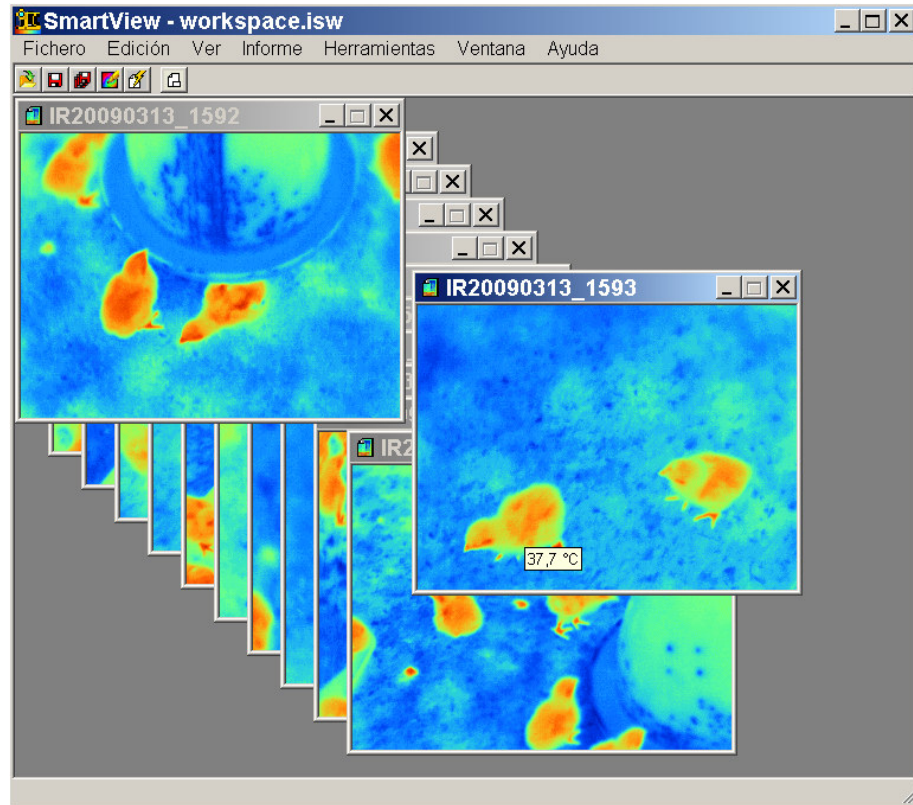
## **2.2. DESCRIPCIÓN SOFTWARE**

Este programa ha sido desarrollado en Matlab, el cual se basa en la teoría del procesamiento digital de imágenes, específicamente en la segmentación de una imagen por medio de umbralización y tamaño de los segmentos.

Las fotos obtenidas con la cámara termográfica contienen los datos de temperatura en cada uno de los pixeles que la componen, entre estos datos se encuentran valores de temperatura corporal de los pollos y la temperatura del entorno de la granja. Para nuestro estudio solamente necesitamos la temperatura perteneciente a las aves, por esta razón es primordial eliminar el entorno.

**2.2.1. Adaptación de los datos.** El formato de las imágenes termográficas que se descargan de la memoria de la cámara es de tipo “.is2” y este puede ser leído únicamente con el software que la cámara trae de fábrica, este software es llamado “Smartview”. Mediante este se pueden visualizar las imágenes individualmente o en conjunto, también permite modificar la forma como se observan los datos, es decir la escala de colores y las unidades de temperatura (grados Celsius y Fahrenheit). Entre otras funciones “Smartview” nos permite exportar las imágenes en un formato “.txt” el cual es más accesible y versátil, pero a pesar de todo, el formato con el que vienen los datos en el documento de texto es incompatible con Matlab.

**Figura 19. Imágenes infrarrojas obtenidas con Smartview.**



Fuente: Autores del proyecto

Para corregir este inconveniente se ha creado una función en Matlab llamada “utxt2mat”, esta función convierte el archivo de texto a un formato de datos matricial, de la siguiente forma: se ubica el programa “.mat” que contiene la función en la carpeta “work” junto con el archivo “.txt” que se va a transformar, seguidamente se realiza la siguiente sintaxis en Matlab:

$$I = \text{UTXT2MAT}(\text{'FILENAME.txt'})$$

Donde “I” es el nombre del nuevo archivo que se desea crear y “FILENAME” es el nombre del archivo “.txt” que se ha exportado del software de la cámara.

Después de este procedimiento se puede observar en el “workspace” de Matlab, la variable que contiene la matriz con el nombre que se le ha dado al momento de hacer la transformación, ahora si se le da doble clic al nombre de la variable que se ha creado, esto permite ver los datos de temperatura.

Ya habiendo realizado este proceso a las imágenes infrarrojas finalmente los datos están preparados para el procesamiento de imágenes a partir de una programación en Matlab.

**2.2.2. Umbralización y segmentación de la imagen.** A continuación se presenta una descripción detallada del proceso de umbralización y segmentación de las imágenes termográficas para separar las aves del entorno.

**Figura 20. Imagen matricial**

|            |            |            |            |            |  |
|------------|------------|------------|------------|------------|--|
| <b>1,1</b> | <b>1,2</b> | <b>1,3</b> | <b>1,4</b> | <b>1,5</b> |  |
| <b>2,1</b> | <b>2,2</b> | <b>2,3</b> | <b>2,4</b> |            |  |
| <b>3,1</b> | <b>3,2</b> | <b>3,3</b> |            |            |  |
|            |            |            |            |            |  |

Fuente: Autores del proyecto

Inicialmente se guardan los píxeles de la foto en una matriz de iguales dimensiones (I), al mismo tiempo se crea una matriz auxiliar (M) con todos sus elementos igual a cero; esta matriz auxiliar está creada para contar los segmentos. Seguidamente se hace un análisis pixel por pixel de la matriz “I” (matriz que contiene los datos de temperatura) de izquierda a derecha y de arriba a abajo, iniciando en el pixel (1,1) y comparando si su valor es menor, igual o superior al umbral, el cual fue calculado de acuerdo al histograma de la imagen termográfica, por ejemplo, si nos encontramos en el pixel (5,9) lo primero que se hace es comparar si su valor es igual o superior al umbral y de ser cierto hace el mismo análisis con sus 4 píxeles vecinos (4,8), (4,9), (4,10) y (5,8) que ya han sido analizados, esto con el fin de comprobar si el pixel actual (5,9) es parte de un segmento ya existente o de uno nuevo en caso de que todos los píxeles vecinos

ya mencionados no estén por encima del umbral. Si el pixel (5,9) es mayor o igual que el umbral se coloca un valor “k” entero en la matriz “M” (matriz auxiliar de iguales dimensiones que “I”) coincidiendo con la posición del pixel que se está analizando. De esta forma un segmento de la matriz “M” es un conjunto de pixeles adyacentes que tienen un mismo valor entero (por ejemplo un conjunto de 50 pixeles en donde cada uno vale 4), este registro es útil para extraer la temperatura promedio por segmento. Si el pixel (5,9) tiene un valor de temperatura menor al umbral el programa pasa al pixel que se encuentra inmediatamente a la derecha del pixel de este. Este mismo procedimiento se aplica a todos los pixeles.

De esta forma los segmentos se van formando los cuales están compuestos por diferente cantidad de pixeles, algunos segmentos son aves y otros son objetos pequeños y grandes que corresponden a segmentos con iguales valores de temperaturas a las que presentan los pollos según el análisis del histograma. Estos objetos pequeños corresponden, en algunos casos, a porciones del suelo del galpón donde permanecieron echadas las aves, de tal forma que al levantarse dejan un rastro de calor que es detectado por la cámara y que en consecuencia se puede observar en las imágenes. Estas porciones de imágenes no deberían estar presentes en nuestro análisis, por esta razón se eliminan los segmentos según el tamaño usando un intervalo cuyos límites son  $P_{max}$  (cantidad de pixeles máximo) y  $P_{min}$  (cantidad de pixeles mínimo) donde todos los segmentos que estén dentro de este intervalo corresponden a los segmentos que serán usados para la extracción de las características de temperatura corporal y el resto estarán excluidos, los valores de  $P_{max}$  y  $P_{min}$  son variables que se pueden modificar manualmente en la interfaz del programa hasta alcanzar el resultado deseado, a pesar de esto se encontraron valores característicos para estas variables en las etapas de crecimiento del ave (estos valores característicos se obtuvieron con la experiencia del procesamiento en las distintas tomas de imágenes), y esta es una opción que se le da al usuario en la interfaz del programa de procesamiento. En

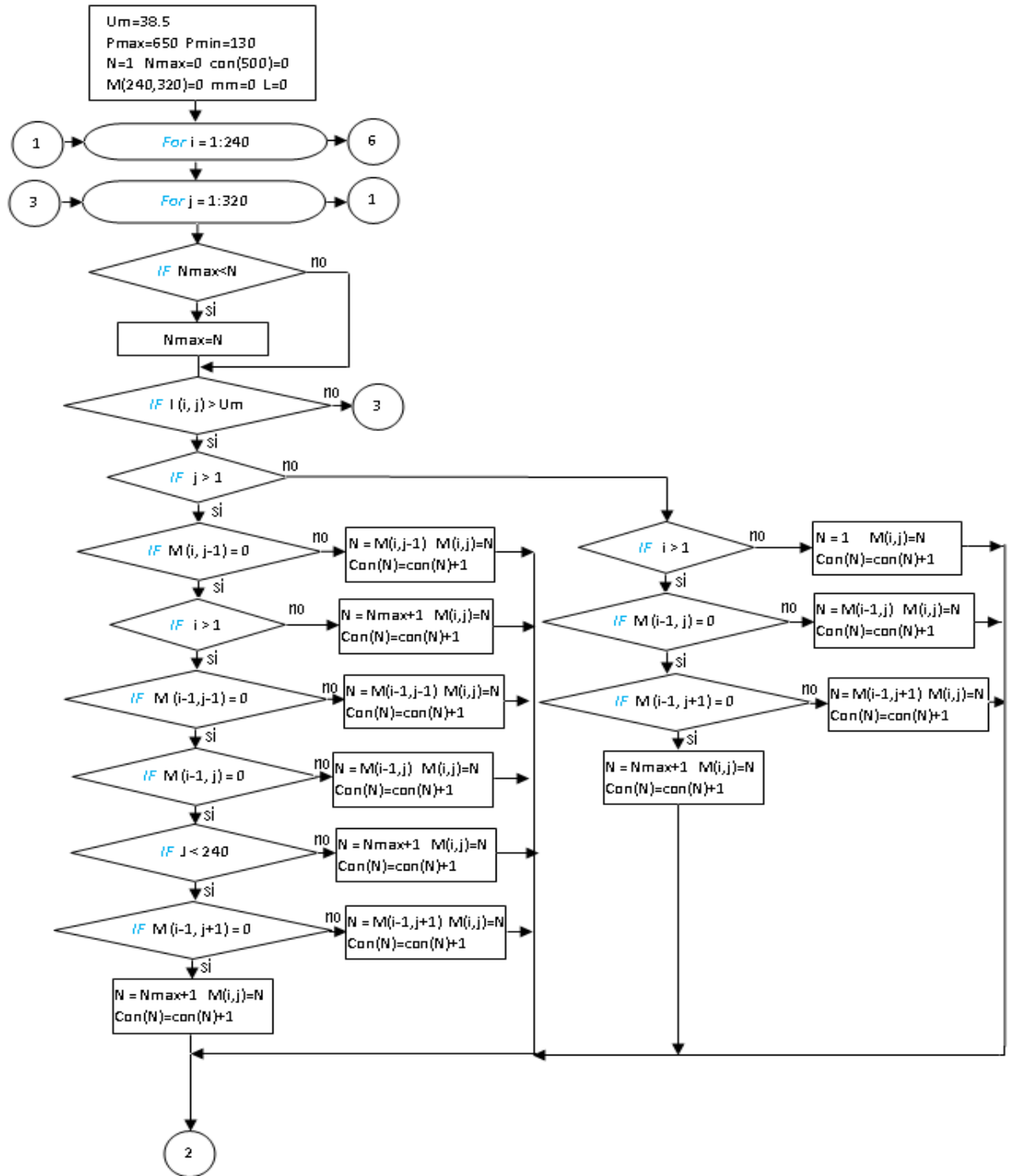
este punto son muy importantes las condiciones con las que se hicieron la toma de imágenes, ya que un mismo objeto puede tener más o menos pixeles dependiendo de la distancia al objetivo de la cámara.

**2.2.3. Análisis de la programación.** El programa consta de 5 partes esenciales, las 2 primeras son las encargadas de segmentar la imagen, la etapa siguiente es la encargada de seleccionar los segmentos de interés en base a la cantidad de pixeles que los componen, la siguiente se encarga de preparar los datos para que en la quinta y última parte se calcule el promedio de temperaturas corporales de las aves.

A continuación se expondrán estas 5 partes y se realizara una explicación de cada una de estas:

**2.2.3.1. Primera parte del programa.** Como se puede observar “I” es la matriz de la imagen de 240x320 y M es una matriz auxiliar de igual tamaño que inicialmente se llena de ceros, pero después se escribe sobre ella valores enteros en cada uno de los segmentos como se puede ver en el diagrama de flujo. Esto se hace con el fin de diferenciar los segmentos.

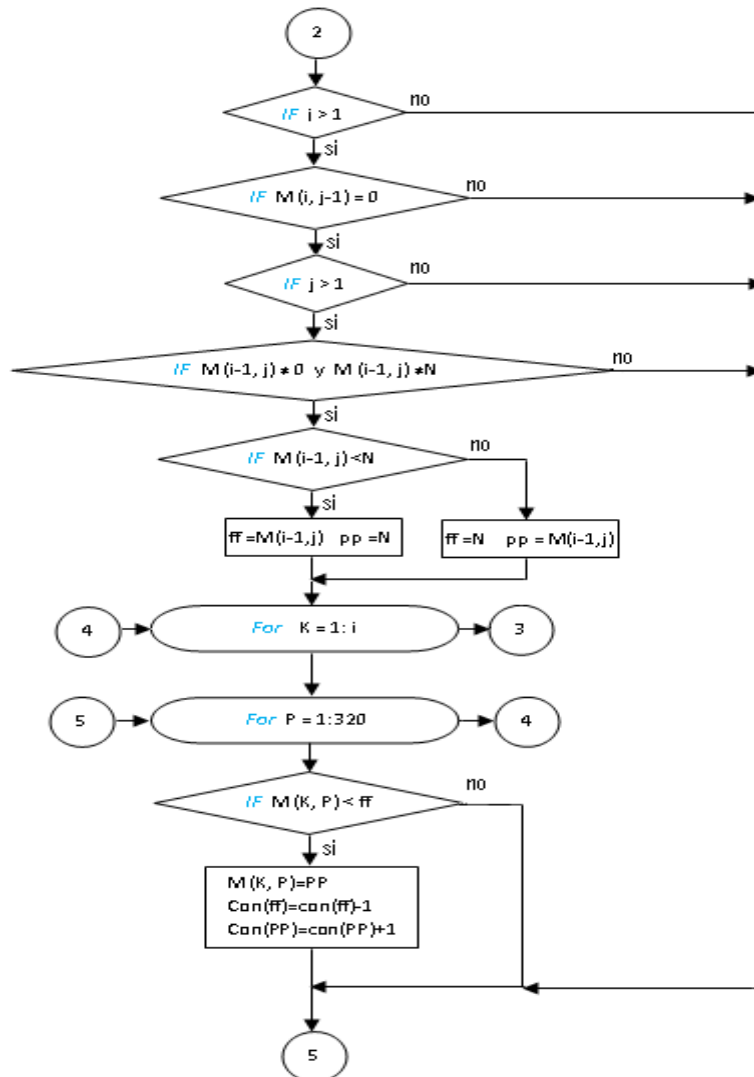
**Figura 21. Parte 1 del programa**



Referencia: Autores del proyecto

2.2.3.2. Segunda parte del programa. En esta etapa del programa se ordenan todas las partes que han sido segmentadas.

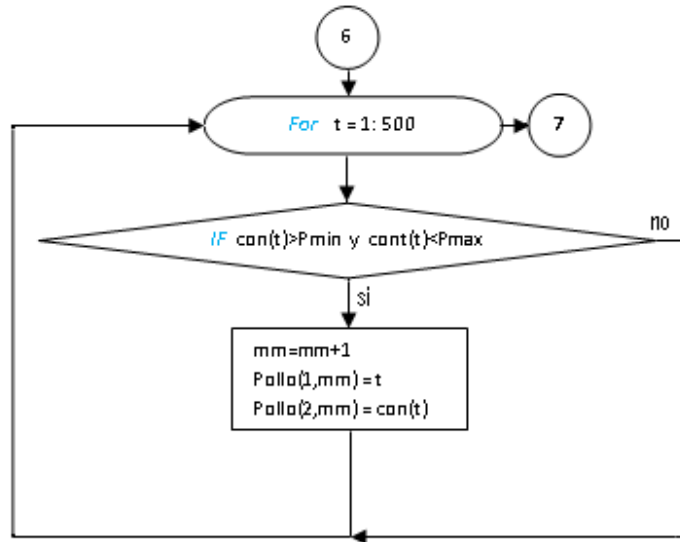
Figura 22. Parte 2 del programa



Referencia: Autores del proyecto

### 2.2.3.3 Tercera parte del programa

Figura 23. Parte 3 del programa



Referencia: Autores del proyecto

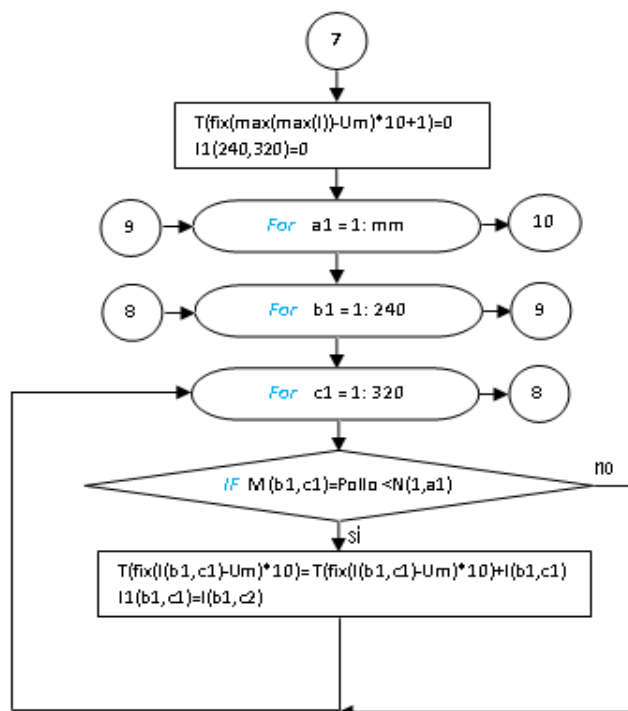
En este punto del programa se tienen varios segmentos de diversos tamaños que cumplieron con los requisitos de temperatura, pero que no necesariamente hacen parte de un ave como por ejemplo: el reflejo en una bandeja de purina, el calor que permanece en el suelo, por esta razón en esta etapa del algoritmo se discriminan los segmentos por la cantidad pixeles que los constituyen.

**2.2.3.4. Cuarta parte del programa.** Teniendo ya identificados los sectores de la imagen que se van a analizar, en esta parte se preparan los datos para poder ser evaluados en la ecuación (2.1):

$$T = t_{min} + t_p * \left( \frac{n_1 * 1 + n_2 * 2 + \dots + n_i * i}{n_1 + n_2 + \dots + n_i} \right) \quad (2.1)$$

Con la ecuación (2.1) se obtiene el promedio de la temperatura en la imagen segmentada, donde se usan pesos ( $n_1, n_2, n_3, \dots, n_i$ ) según la cantidad de pixeles que tenga un valor de temperatura, por ejemplo: si 320 pixeles ( $n_i$ ) tiene un valor de  $35[^\circ\text{C}]$  ( $i$ ), entonces se multiplica la cantidad de pixeles que en este caso es de 320 por el valor de temperatura que estos poseen el cual es de  $35[^\circ\text{C}]$ . Y este proceso se realiza hasta el valor  $i$ -esimo de temperatura encontrada en la imagen, para que después, la suma total de estos valores dividida sobre la suma de los pesos, genere un promedio ponderado de temperatura en la imagen. Otras variables que se tienen en cuenta son: el umbral con el que se hizo la segmentación ( $t_{\min}$ ) y el menor cambio de temperatura que se puede registrar en la imagen ( $t_p$ ). [3]

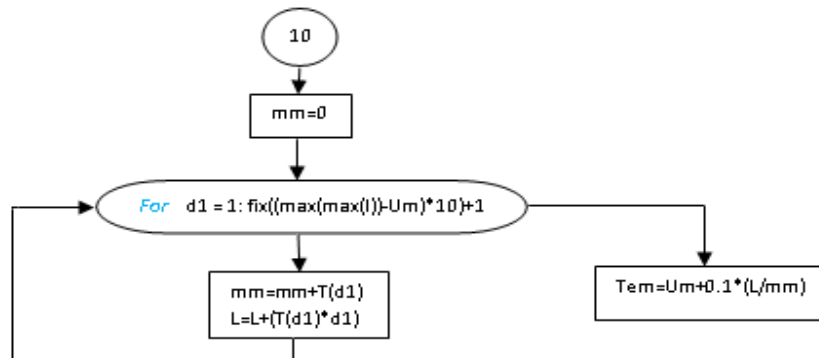
**Figura 24. Parte 4 del programa**



Referencia: Autores del proyecto

### 2.2.3.5 Quinta parte del programa

Figura 25. Parte 5 del programa

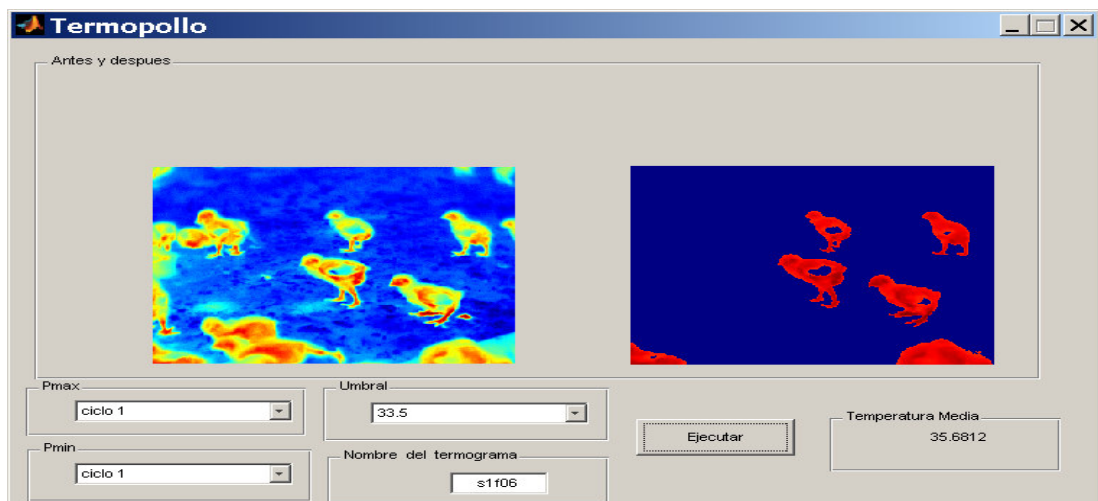


Referencia: Autores del proyecto

En esta parte se evalúa la ecuación (2.1). Al final se obtendrá la temperatura promedio de todos los pollos en la imagen (Tem).

### 2.2.4 Interfaz gráfica

Figura 26. Interfaz del programa de segmentación



Referencia: Autores del proyecto

La interfaz gráfica de usuario implementada permite cambiar algunos parámetros del proceso de segmentación, estas variables son: Umbral de temperatura, cantidad de píxeles máximo y cantidad de píxeles mínimo en los que se considera que el segmento es útil para el análisis térmico.

### 3. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

**3.1. Análisis de Datos.** El análisis de los datos recolectados durante este proyecto es una de las partes importantes de los resultados pues se pretende estudiar cómo la variable seleccionada (temperatura corporal) influye en los principales problemas de la cría y engorde de los pollos, los cuales son la mortalidad y la morbilidad<sup>4</sup>. Existen también otras variables físicas que influyen en estas problemáticas, tales como la humedad relativa, la intensidad luminosa, el monóxido de carbono y el amoníaco. Estas variables presentan de igual forma que la temperatura corporal del ave una gran relevancia en las tasas de mortalidad y morbilidad pero para los objetivos de este proyecto simplemente serán tomadas como referencia. Hay que mencionar, que la selección de estas variables se hizo de acuerdo a la información manifestada por los expertos de la empresa.

El muestreo de los datos obtenidos a partir de la variable seleccionada se hizo sobre un galpón que fue definido como el galpón de estudio. Del total de galpones que posee la empresa interesada en este proyecto, se seleccionó uno de los más importantes en cuánto a tasas de mortalidad se refiere, el cual se encuentra ubicado sobre el anillo vial en la ciudad de Bucaramanga en una finca llamada “Los Totumos”. En esta finca se encuentran ubicados dos galpones en los cuales se crían en promedio un total de 26000 aves por ciclo. De acuerdo con esto, se definió entonces tomar muestras de aves dentro del galpón 1 de la finca, en donde se encontraban aproximadamente 13000 pollos.

Sobre este galpón se tomaron imágenes termográficas durante 3 ciclos de cría, levante y engorde diferentes, en donde los tiempos de muestreo que se realizaron variaron de acuerdo al ciclo. Para el primer ciclo se realizaron las muestras termográficas durante los días 4, 11 y 21 de este; para el segundo ciclo al igual

---

<sup>4</sup> La morbilidad se conoce como la relación existente entre la cantidad de comida que se le suministra al animal en relación con el peso que este gana.

que el primero se realizaron tres tomas termográficas durante los días 4, 17 y 30 de este. Y para el tercer ciclo se realizaron 6 tomas termográficas los días 4, 7, 11, 18, 25 y 28 del ciclo de cría y engorde. Estos tiempos de variación en la toma de medidas se presentaron debido a la dificultad que se tenía en el acceso al galpón objetivo y a la logística que se necesitaba para llegar hasta el lugar a hacer las tomas.

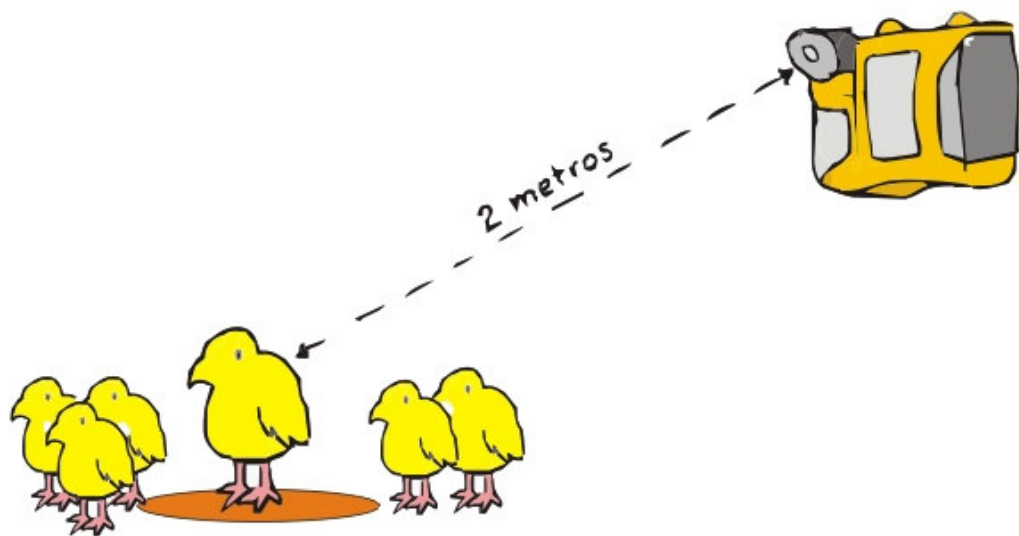
Se decidió hacer un muestreo simple aleatorio. Este muestreo implementado en cada uno de los ciclos se basaba en la toma de imágenes infrarrojas de los pollos actuando en su hábitat sin tener ninguna segregación definida ya que si por lo menos, se seleccionaba una sola ave durante todo un ciclo para realizarle un seguimiento, implicaba un sometimiento del pollo a un estrés que conllevaba inmediatamente un cambio en su evolución térmica corporal regular e incluso podía llevar a la muerte del ave, haciendo que esta no pudiera convertirse en una muestra representativa de la población.

En lo referente al protocolo con el que se realizaron las muestras, no se estableció un ambiente controlado como ya se había mencionado, debido a que se quiso efectuar un estudio de las condiciones reales en las cuales se estaba realizando este proceso de cría y engorde y además a que la infraestructura no lo facilitaba así. El horario de toma de muestras se seleccionó en referencia al peor de los casos, es decir a la hora en que se presentan las sensaciones térmicas más elevadas, que según la información suministrada por los trabajadores de la granja, se establece en forma general al medio día. La distancia a la cual fueron tomadas las imágenes infrarrojas fue de aproximadamente 2 metros, medidos perpendicularmente desde el punto objetivo hasta el lente (figura 27). Cabe aclarar, que estas medidas no ofrecen gran exactitud, porque el ambiente no estaba controlado y las aves se encontraban en su hábitat donde frecuentemente estaban en movimiento, principalmente en los primeros días del ciclo.

Otro aspecto que se tuvo en cuenta fue el nivel de emisividad al cual se referenció la cámara, el valor seleccionado fue el de la piel debido a que se esta sensando la

radiación infrarroja emitida por los pollos. Este valor de emisividad es de 0.98 y se tomo de la tabla de referencia de las diferentes emisividades de los cuerpos incluida en el manual de uso de la cámara IR FLEXCAM. Se descartó el uso de la emisividad de las plumas de los animales debido a que la radiación infrarroja emitida por estas no representa una medición exacta de la temperatura corporal a la cual se encontraba el ave.

**Figura 27. Protocolo de captura de imágenes infrarrojas**

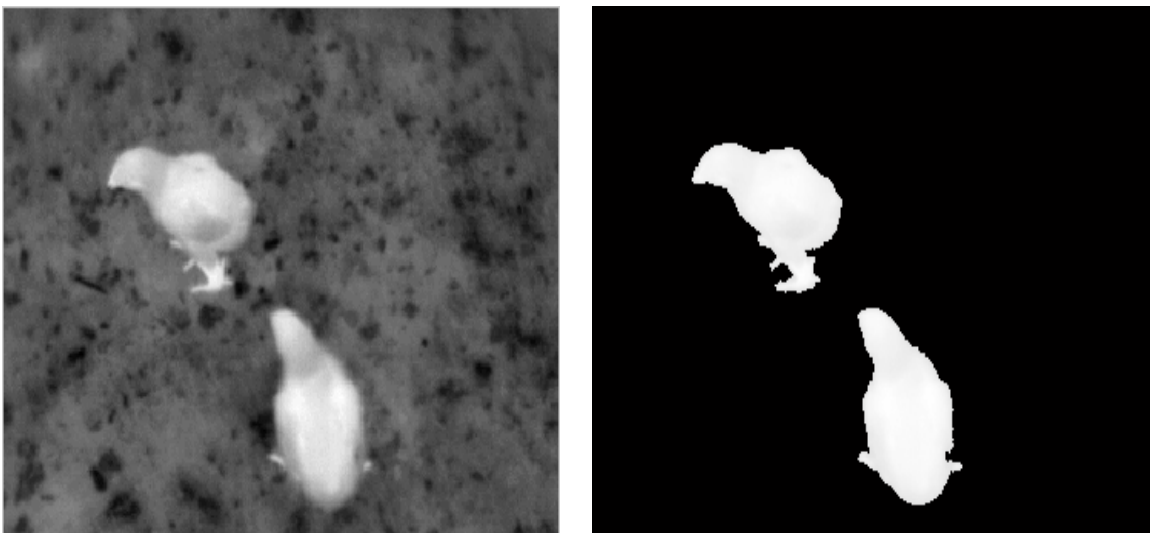


Fuente: Autores del proyecto

**3.1.1. Temperatura media por pollo.** El requisito para validar el estudio térmico que se está realizando a un grupo de 13000 pollos con muestras aleatorias de la población es demostrar que la temperatura de cada pollo en un mismo momento es similar para las demás aves. Con el fin de realizar esta demostración se hizo una modificación al programa principal para que diera como resultado la temperatura media de cada pollo y no la temperatura media de todas las aves presentes en la imagen. Este nuevo procesamiento de las imágenes está basado en el algoritmo original del programa, el cual permitía obtener el valor medio de

todos los pollos de la imagen sin distinguir cuantas aves hay en esta misma, pero ahora, el algoritmo identifica cada segmento y procesa por separado cada pixel que compone al segmento, realizando al final la entrega de un valor entero que identifica el segmento seguido de la temperatura media. Este proceso lo hace con cada uno de los segmentos que se puedan encontrar en la imagen infrarroja y que representan cada uno de los pollos existentes en esta misma.

**Figura 28. Segmentación de los pollos en una imagen infrarroja**



Fuente: Autores del proyecto

Como se realizó la toma de datos de tres ciclos diferentes, se presentan entonces a continuación la tabla 4, tabla 5 y la tabla 6 que contienen la temperatura en grados Celsius de cada pollo en una misma imagen infrarroja de las fotografías que fueron seleccionadas para cada uno de los ciclos estudiados, debido a que no todas las imágenes exponían una calidad acorde a la requerida para realizar este procesamiento. En la mayoría de los ciclos se seleccionaron 10 imágenes por día sensado, en donde la cantidad de pollos en una imagen no es un valor fijo, y por lo tanto hay filas en las tablas, que contienen menos datos que otras.

Al final de cada tabla se presentan la desviación estándar que nos da una visión de que tan dispersos están los valores de temperatura con respecto a la temperatura media de una imagen infrarroja completa, de lo cual se hablara más adelante.

**Tabla 4. Temperatura media de cada pollo por imagen infrarroja para el primer ciclo sensado.**

|                            | Día 4 (°C) |       |       |       |       | Día 11(°C) |       |       |       |       | Día 21(°C) |       |       |       |       |
|----------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Imagen 1</b>            | 36.17      |       |       |       |       | 36.18      |       |       |       |       | 36.56      |       |       |       | 36.82 |
| <b>Imagen 2</b>            | 36.57      | 36.21 | 36.20 | 36.31 | 36.52 | 36.15      | 36.19 | 36.65 | 36.60 | 35.93 | 38.43      | 37.94 | 37.36 |       |       |
| <b>Imagen 3</b>            | 36.47      |       |       |       |       | 35.65      | 35.79 | 36.15 | 35.34 |       | 37.55      | 37.90 | 37.22 |       |       |
| <b>Imagen 4</b>            | 36.28      | 36.37 |       |       | 36.65 | 35.30      | 35.56 | 35.86 | 35.84 |       | 36.25      |       |       |       |       |
| <b>Imagen 5</b>            | 35.79      |       | 36.00 |       |       | 35.70      |       | 35.34 | 34.99 | 35.60 | 37.19      |       | 37.06 | 37.11 |       |
| <b>Imagen 6</b>            | 35.91      | 35.90 | 35.73 | 35.98 |       | 35         | 35.38 | 35.55 | 35.47 | 35.62 | 37.63      | 37.33 | 37.14 |       |       |
| <b>Imagen 7</b>            | 35.98      | 35.79 | 36.39 | 36.50 | 36.28 | 35.15      |       |       |       |       | 37.42      | 38.04 | 37.53 | 37.88 |       |
| <b>Imagen 8</b>            | 35.73      | 35.83 | 36.06 | 35.40 | 35.90 | 34.82      | 34.89 | 35.42 |       |       | 36.45      | 36.34 | 37.13 | 36.05 |       |
| <b>Imagen 9</b>            | 35.50      |       | 35.17 | 35.47 |       | 34.73      | 34.89 | 35.39 | 35.23 | 35.19 | 37.09      |       | 37.22 |       |       |
| <b>Imagen 10</b>           | 35.84      |       |       | 35.50 |       | 36.19      |       | 35.62 |       | 34.02 | 36.83      |       | 36.24 |       |       |
| <b>Media Aritmética</b>    | 36.01      |       |       |       |       | 35.53      |       |       |       |       | 37.17      |       |       |       |       |
| <b>Desviación Estándar</b> | 0.38       |       |       |       |       | 0.55       |       |       |       |       | 0.60       |       |       |       |       |

Fuente: Autores del proyecto

**Tabla 5. Temperatura media de cada pollo por imagen infrarroja para el segundo ciclo sensado.**

|                            | Día 4(°C) |       |       |       | Día 17(°C) |       |       |       | Día 30(°C) |       |       |       |  |
|----------------------------|-----------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------|--|
| <b>Imagen 1</b>            | 34.76     | 35.30 | 35.75 |       | 37.24      | 36.52 | 36.65 |       | 33.65      |       |       |       |  |
| <b>Imagen 2</b>            | 35.80     | 35.19 | 35.28 |       | 36.79      |       |       |       | 34.02      | 34.11 |       |       |  |
| <b>Imagen 3</b>            | 35.01     | 35.20 | 34.91 |       | 37.27      | 38.02 | 37.31 |       | 33.72      | 33.80 |       |       |  |
| <b>Imagen 4</b>            | 34.55     | 34.75 | 34.38 |       | 36.75      | 37.54 | 38.07 | 37.39 | 34.12      | 34.32 | 33.26 |       |  |
| <b>Imagen 5</b>            | 34.97     |       |       |       | 36.59      |       | 37.12 |       | 34.43      | 34.20 | 34.39 | 34.15 |  |
| <b>Imagen 6</b>            | 34.52     |       |       |       | 36.65      |       | 36.75 |       | 34.34      | 34.41 |       | 33.53 |  |
| <b>Imagen 7</b>            | 33.61     |       | 34.00 |       | 36.78      | 36.68 | 37.47 |       | 33.58      |       |       |       |  |
| <b>Imagen 8</b>            | 33.94     | 34.58 | 34.63 | 33.32 | 38.51      |       |       |       | 33.94      | 34.18 | 33.73 |       |  |
| <b>Imagen 9</b>            | 34.74     | 34.53 | 34.16 |       | 36.46      |       |       |       | 34.22      |       | 34.09 |       |  |
| <b>Imagen 10</b>           | 34.71     |       | 34.57 |       | 37.1       |       | 36.95 |       | 33.58      |       | 33.40 |       |  |
| <b>Media Aritmética</b>    | 34.68     |       |       |       | 37.11      |       |       |       | 33.96      |       |       |       |  |
| <b>Desviación Estándar</b> | 0.59      |       |       |       | 0.55       |       |       |       | 0.35       |       |       |       |  |

Fuente: Autores del proyecto

**Tabla 6. Temperatura media de cada pollo por imagen infrarroja para el tercer ciclo sensado.**

|                     | Día 4 (°C) |       |       |       | Día 7 (°C) |       |       | Día 11 (°C) |       |       |       |
|---------------------|------------|-------|-------|-------|------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|
| Imagen 1            | 37.10      |       | 36.67 |       | 35.85      |       | 36.22 |             | 34.79 |       |       |
| Imagen 2            | 36.91      |       |       |       | 36.73      |       |       | 34.56       | 34.69 |       |       |
| Imagen 3            | 37.06      |       | 37.23 |       | 36.81      | 36.94 | 37    | 34.64       | 34.06 | 33.79 |       |
| Imagen 4            | 37.70      |       | 37.44 |       | 37.33      | 37.14 | 37.09 | 34.14       | 34.28 | 34.16 |       |
| Imagen 5            | 36.64      |       |       |       | 36.80      |       | 36.49 | 33.45       |       | 34.12 |       |
| Imagen 6            | 37.16      | 37.13 | 37.28 | 37.11 | 37.03      |       | 37.34 | 34.96       | 34.67 | 35.19 | 35.02 |
| Imagen 7            | 38.41      | 38.35 | 38.81 | 38.53 | 38.44      | 38.99 | 38.82 | 38.97       | 35.27 | 34.71 | 34.59 |
| Imagen 8            | 37.19      |       |       |       | 36.96      |       |       | 34.90       | 35.34 | 35.79 |       |
| Imagen 9            |            |       |       |       | 37.75      |       |       | 36.56       |       | 36.28 |       |
| Imagen 10           |            |       |       |       | 39.49      | 39.07 | 39.51 | 38.98       | 35.73 | 35.05 |       |
| Media Aritmética    | 37.51      |       |       |       | 37.61      |       |       | 34.83       |       |       |       |
| Desviación Estándar | 0.69       |       |       |       | 1.13       |       |       | 0.74        |       |       |       |

|                     | Día 18 (°C) |       |       |       | Día 25 (°C) |       |       | Día 28 (°C) |       |       |
|---------------------|-------------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------|-------|-------|
| Imagen 1            | 38.48       |       |       |       | 35.76       |       |       | 37.81       | 37.71 | 37.73 |
| Imagen 2            | 37.25       |       | 37.01 |       | 35.75       | 35.36 |       | 37.10       |       |       |
| Imagen 3            | 36.77       | 36.39 | 36.34 | 36.45 | 35.18       |       |       | 36.60       |       | 35.67 |
| Imagen 4            | 36.66       |       |       |       | 36.12       | 35.34 |       | 35.87       |       | 36.42 |
| Imagen 5            | 36.24       |       | 36.67 |       | 35.26       |       |       | 36.34       | 36.05 | 36.11 |
| Imagen 6            |             |       |       |       | 36.09       | 36.17 |       | 36.63       |       | 37.24 |
| Imagen 7            |             |       |       |       | 36.26       |       | 34.81 | 36.42       |       | 36.34 |
| Imagen 8            |             |       |       |       | 36.64       |       | 35.81 | 35.62       |       | 35.65 |
| Imagen 9            |             |       |       |       | 37.07       | 36.93 | 36.92 | 36.53       |       | 36.66 |
| Imagen 10           |             |       |       |       | 34.79       |       |       | 37.16       |       |       |
| Media Aritmética    | 36.83       |       |       |       | 35.89       |       |       | 36.58       |       |       |
| Desviación Estándar | 0.66        |       |       |       | 0.72        |       |       | 0.67        |       |       |

Fuente: Autores del proyecto

De acuerdo a la tabla 4 se observa que la temperatura media corporal de cada pollo por imagen termográfica para el primer ciclo sensado, varía entre los 36°C y 37°C. Además, presentan una dispersión máxima de 0.6° establecida en el tercer día de seguimiento.

En la tabla 5 se observa un promedio de temperatura por ave en cada imagen termográfica que varía entre un rango de 34°C a 37°C y se presenta una dispersión máxima entre estas de aproximadamente 0.59°C.

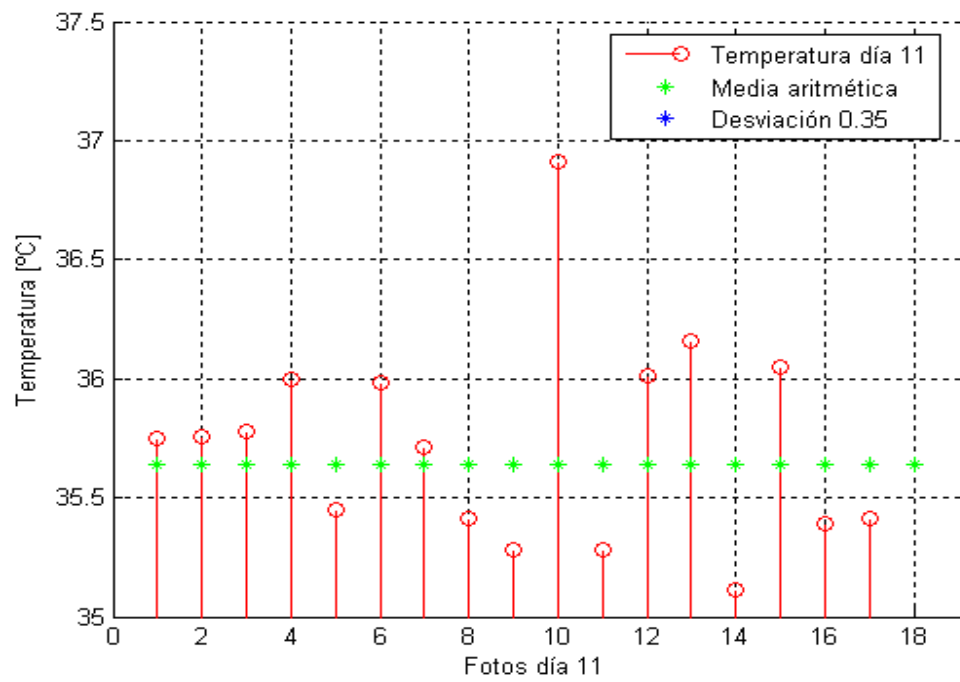
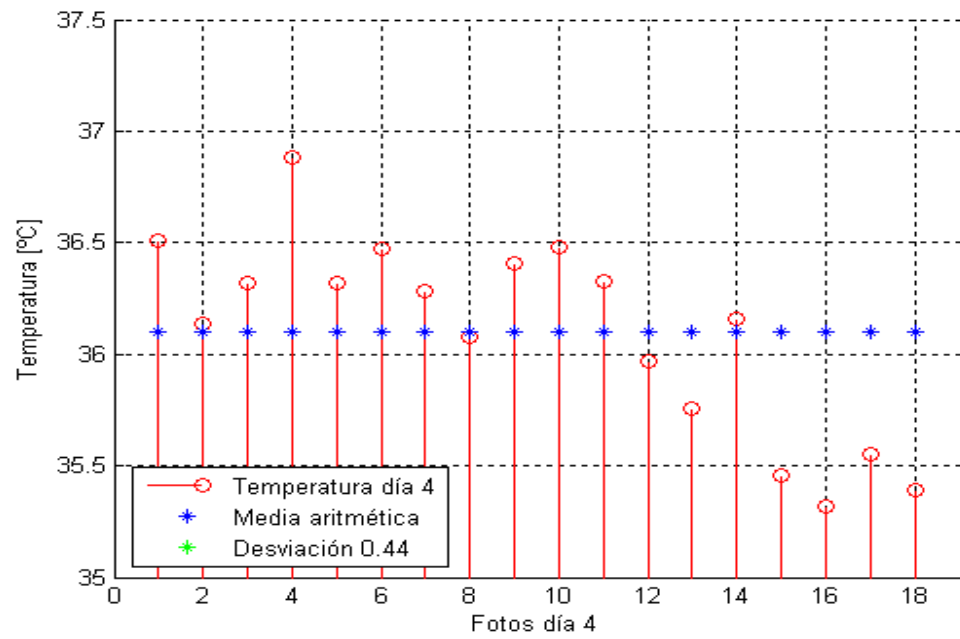
Y por ultimo para la tabla 6 en donde se analizaron un número mayor de muestras debido a la cantidad de días sensados (6 en total), se tiene que las temperaturas

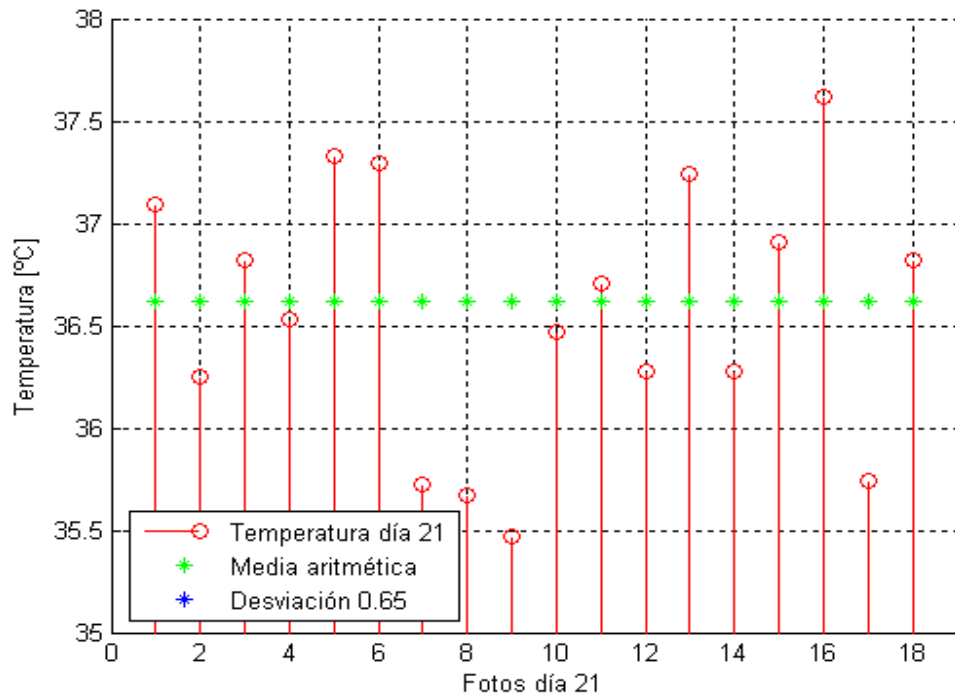
corporales promedio para cada ave en las imágenes termográficas sensadas se establece en un rango de 35°C a 37°C aproximadamente y la variación máxima que se tiene entre estos 6 días es de 1.13°C.

Con estos análisis realizados a las tablas 4, 5 y 6 se puede decir, que las temperaturas promedio entre las aves pertenecientes a una misma imagen termográfica no presentan gran variación con respecto a una media aritmética de todas estas. Entonces, esto permite basar el análisis de las imágenes termográficas sobre el promedio completo de la temperatura captada en cada imagen infrarroja total. Ya que en este proceso obtenemos un promedio de las temperaturas corporales de todas las aves que se encuentren en la imagen capturada.

**3.1.2. Temperatura media por imagen infrarroja.** Después de advertir que las muestras hechas son representativas de la población total, y además que las temperaturas promedio de cada ave para cada una de las imágenes termográficas obtenidas no varían de gran forma entre estas mismas, a continuación se presentan las temperaturas promedio por imagen termográfica, obtenidas para cada uno de los tres ciclos. Para esto se analizaron en la mayoría de los días sensados un total de 18 imágenes, las cuales fueron seleccionadas por las características que presentaban en demanda al procesamiento que se les realizó. Estas temperaturas promedio como ya se había mencionado obedecen a una media aritmética de la temperatura del total de aves que se encuentran en una misma imagen infrarroja y cabe aclarar que para esta, no se tienen en cuenta otros objetos que emiten radiación y que se encuentran presentes en las imágenes procesadas.

**Figura 29. Gráficas de las temperaturas promedio corporales por foto durante los días 4, 11 y 21 del primer ciclo.**



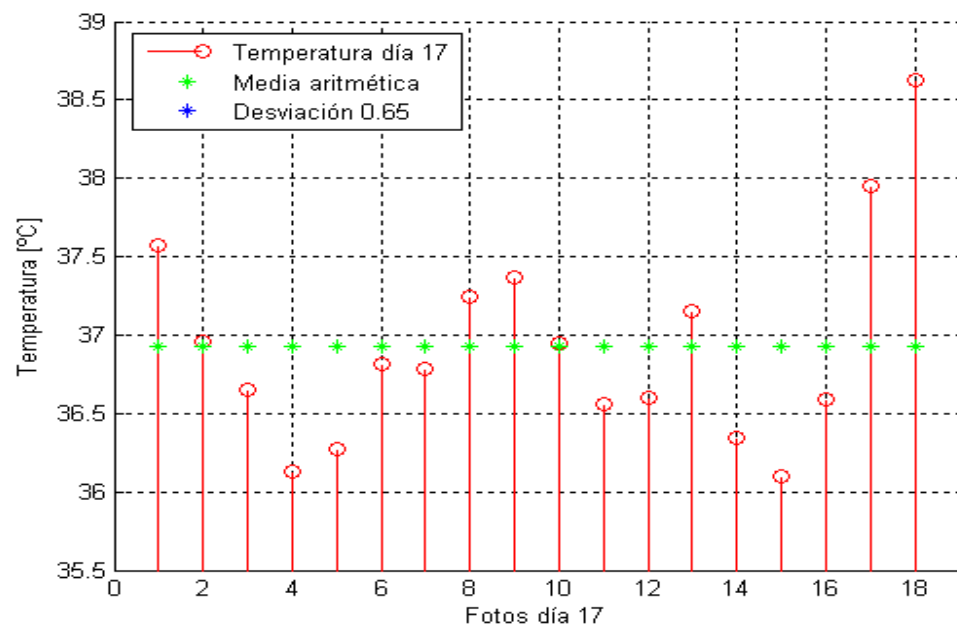
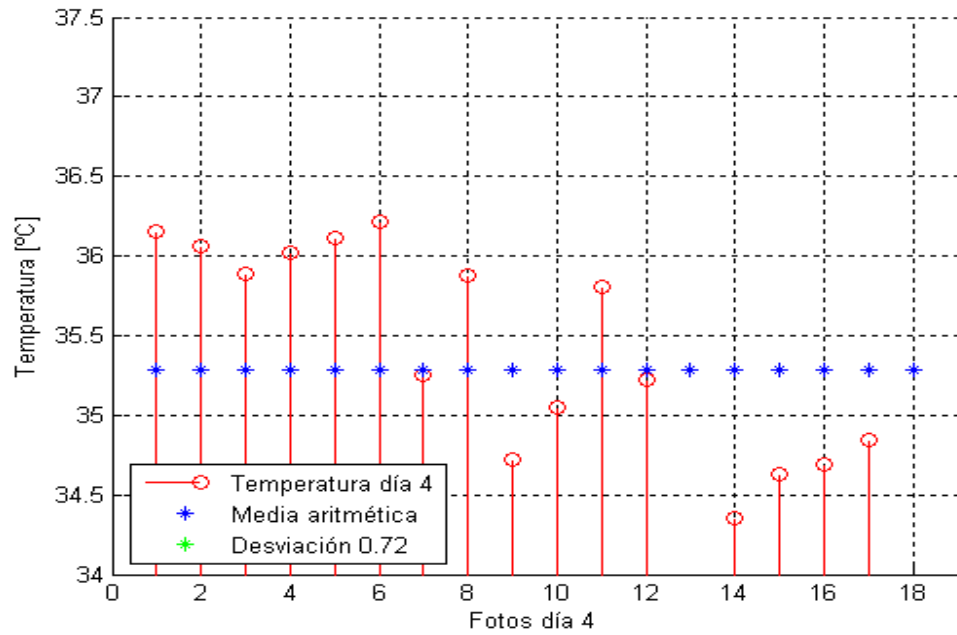


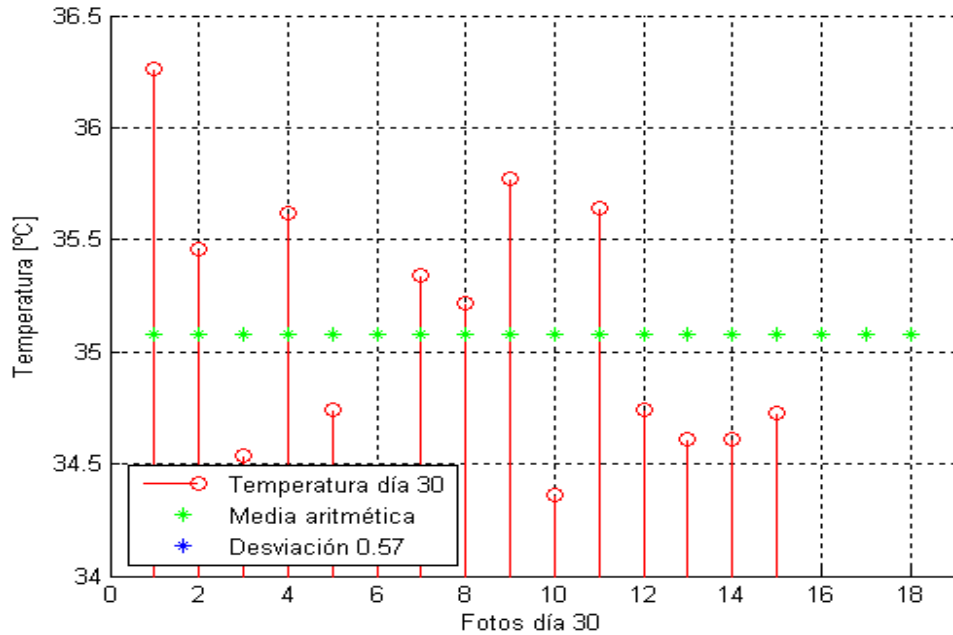
Fuente: Autores del proyecto

Para este primer ciclo sensado se tiene que la temperatura promedio por imagen varía entre los 35.5 a 36.5 [°C] aproximadamente. Y además se observa que la temperatura promedio por día no presenta un comportamiento de aumento o disminución bien definido ya que esta es mayor en el día 21, pero menor que en el día 11, con respecto a la temperatura media del día 4. Se tiene también, que la dispersión de los datos por día con respecto a la media aritmética, no sobrepasa el 0.65°C, lo que indica que no hay mayor diferencia entre las temperaturas obtenidas.

A continuación se observa el comportamiento que se obtuvo para el segundo ciclo sensado, en el cual también se consiguieron muestras durante los días 4, 17 y 30 de este:

**Figura 30. Gráficas de las temperaturas promedio corporales por foto durante los días 4, 17 y 30 del segundo ciclo.**



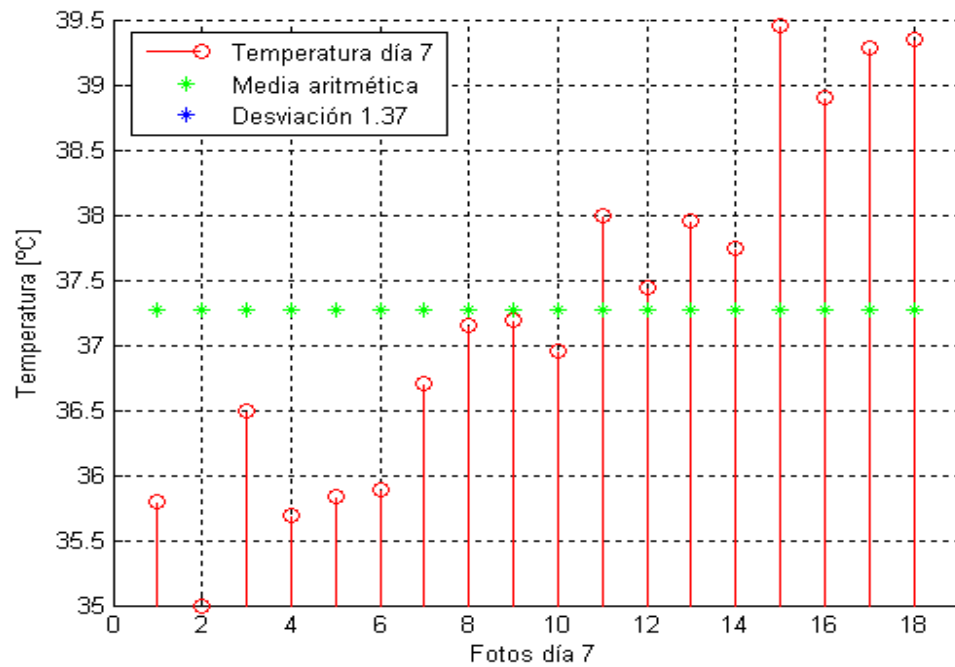
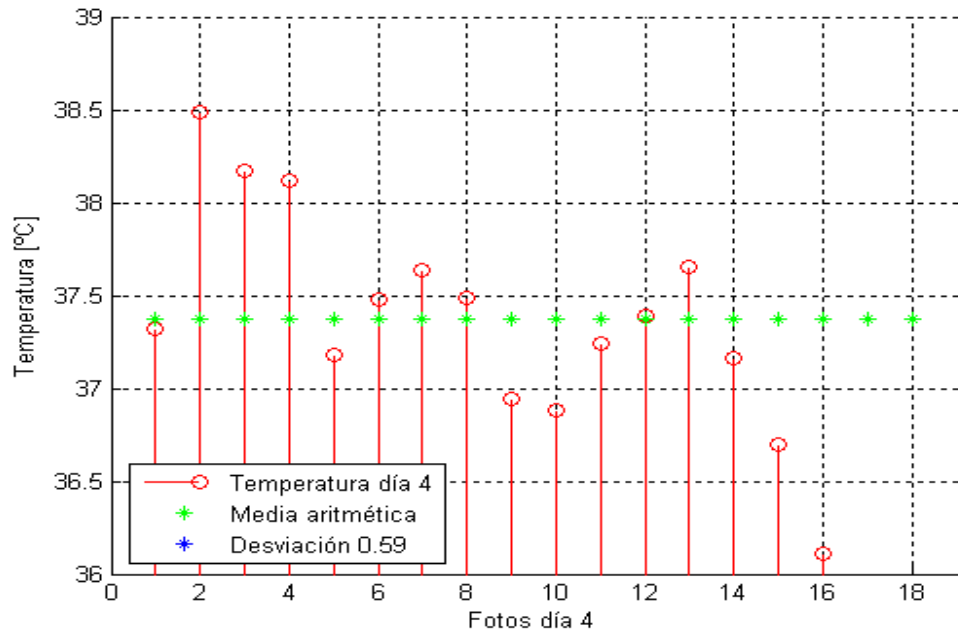


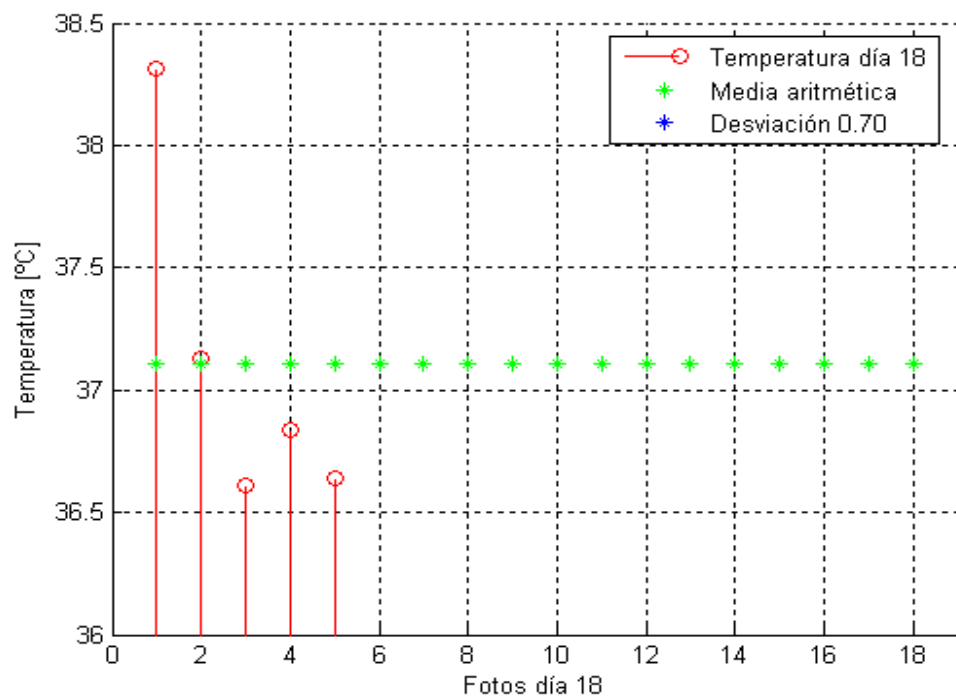
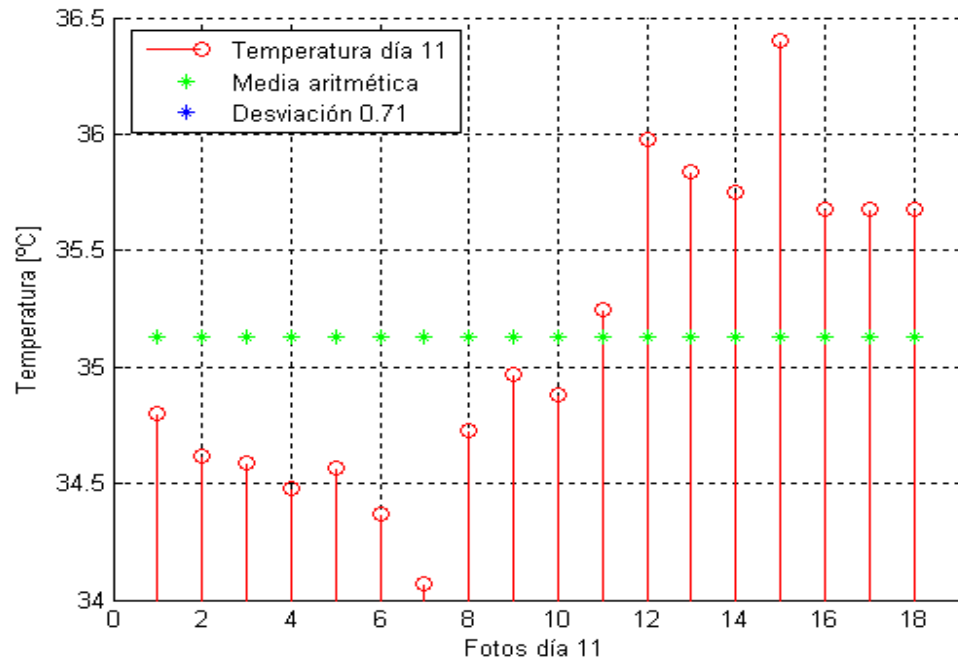
Fuente: Autores del proyecto

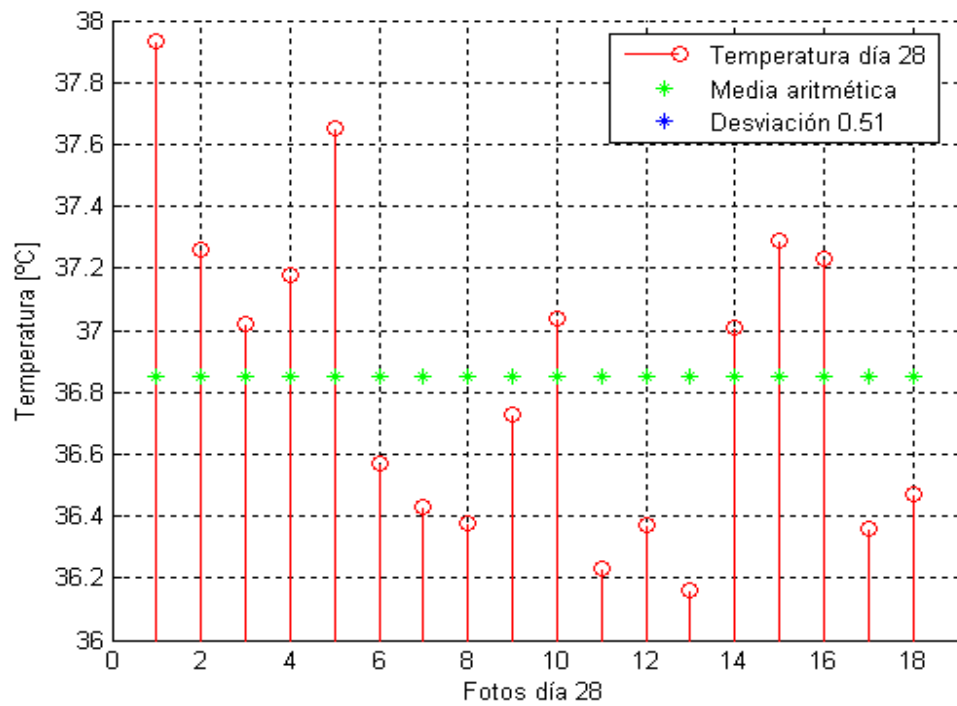
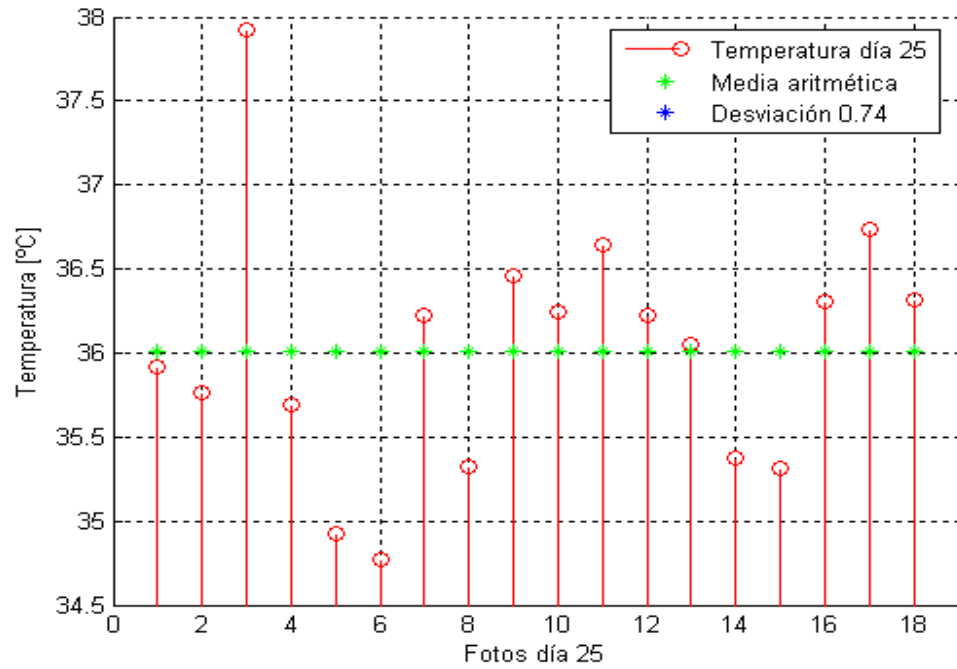
De acuerdo a lo observado en las gráficas de la figura 30, la variación entre las temperaturas promedio es de 35 a 37 [°C] aproximadamente y al igual que lo obtenido en el primer ciclo sensando esta no presenta un modelo definido de crecimiento o disminución ya que la temperatura media del último día sensado es menor que la del primero, pero la del segundo es mayor que la de los otros dos días muestreados.

Y por último para el tercer ciclo sensado, se tienen a continuación las temperaturas promedio para los días 4, 7, 11, 18, 25, 28 de este:

**Figura 31. Graficas de las temperaturas promedio corporales por foto durante los días 4, 7, 11, 18, 25 y 28 del tercer ciclo.**







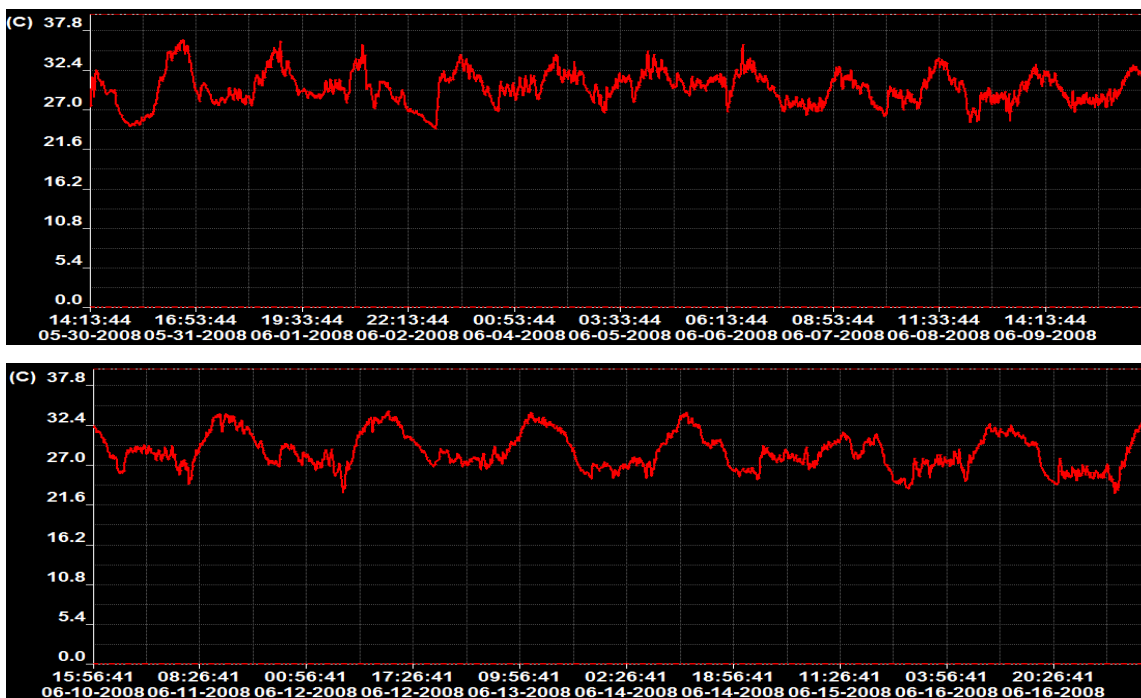
Fuente: Autores del proyecto

Para este último ciclo sensado en el cual se tomaron muestras durante seis días diferentes, se observa de los resultados obtenidos, que la temperatura corporal promedio de los pollos por imagen se encuentra en un rango entre los 35 a 37 [°C] y que además esta tuvo una variación importante en el segundo día de toma de muestras de aproximadamente 1.37 [°C].

**3.1.3. Temperatura media de las imágenes termográficas Vs. Temperatura media de los sensores.** Como ya se había mencionado al comienzo de este capítulo, existen otras variables que también van a influenciar la problemática del aumento en las tasas de mortalidad y la disminución de la morbilidad en el proceso de cría y engorde de los pollos de granja. Una de estas variables es la temperatura del ambiente, de la cual se encuentra estrechamente ligada la temperatura corporal de las aves, que para nuestro interés fue monitoreada a partir de un sensor instalado en medio de nuestro galpón objetivo. Este sensor industrial pertenece a la marca “ERASMUS”, y para tener acceso a los datos obtenidos por este sistema se utilizaba un software, el cual generaba gráficamente un bosquejo de las temperaturas sensadas.

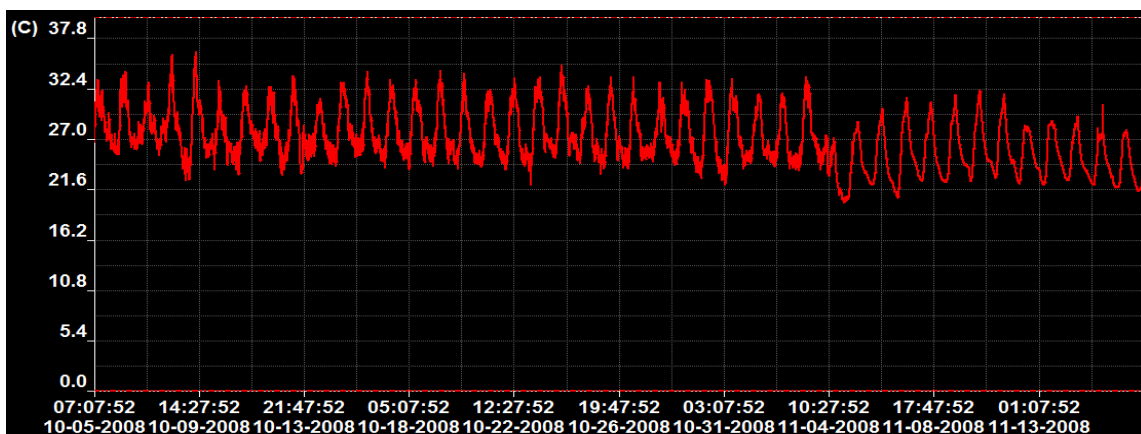
Este dispositivo estuvo sensando la temperatura ambiente registrada en el galpón durante los dos primeros ciclos monitoreados y de aquí se obtuvieron las siguientes gráficas de temperatura:

Figura 32. Temperatura ambiente sensada para el ciclo 1



Fuente: Autores del proyecto

Figura 33. Temperatura ambiente sensada para el ciclo 2



Fuente: Autores del proyecto

A partir de los resultados registrados en las graficas de las figuras 32 y 33, se obtuvieron datos de la temperatura del ambiente por día analizado, estos datos corresponden a las temperaturas registradas al medio día en el sensor. Ya teniendo esta temperatura ambiente por día para cada uno de los ciclos, se hace entonces una comparación mediante una simple diferencia aritmética, con respecto a la temperatura corporal promedio por imagen infrarroja que se obtuvo por día para los ciclos 1 y 2 que están establecidas en las figuras 29 y 30.

**Tabla 7. Temperatura medida por foto contra temperatura ambiente medida con el sensor para el ciclo 1.**

| <b>Fecha</b>  | <b>Temperatura Media por fotos [°C]</b> | <b>Temperatura Media por sensor [°C]</b> | <b>Diferencia Aritmética [°C]</b> |
|---------------|---|--|-----------------------------------|
| <b>Día 4</b>  | 36.10                                   | 30.7                                     | 5.4                               |
| <b>Día 11</b> | 35.64                                   | 32.7                                     | 2.94                              |
| <b>Día 21</b> | 36.62                                   | 31.6                                     | 5.02                              |

Fuente: Autores del proyecto

**Tabla 8. Temperatura medida por foto contra temperatura ambiente medida con el sensor para el ciclo 2.**

| <b>Fecha</b>  | <b>Temperatura Media por fotos [°C]</b> | <b>Temperatura Media por sensor [°C]</b> | <b>Diferencia Aritmética [°C]</b> |
|---------------|---|--|-----------------------------------|
| <b>Día 4</b>  | 35.28                                   | 30.6                                     | 4.68                              |
| <b>Día 17</b> | 36.93                                   | 32.3                                     | 4.63                              |
| <b>Día 30</b> | 35.08                                   | 31.8                                     | 3.28                              |

Fuente: Autores del proyecto

Como se puede observar, los valores obtenidos con el sensor industrial están por debajo en promedio unos 4.32 [°C], con respecto a los valores de temperatura térmica corporal promedio, obtenidos a partir de la termografía infrarroja y el procesamiento de imágenes. Esto indica que la temperatura que se está tomando como referencia para medir la sensación térmica de los pollos en el galpón se encuentra por debajo de la verdadera temperatura corporal experimentada por las aves.

Ya que para el último ciclo sensado no se tuvo instalado el sensor industrial para que monitoreara la temperatura ambiente, se obtuvieron datos de la temperatura ambiente que se percibía en el galpón mediante un termómetro de mercurio. Entonces de acuerdo con el análisis que se venía realizando se comparó la temperatura sensada con el termómetro con respecto a los resultados de la temperatura corporal promedio por imagen infrarroja que se obtuvieron por día para el ciclo 3. Obteniendo así los resultados que se exponen en la tabla 9.

**Tabla 9. Temperatura medida por foto contra temperatura ambiente medida con el termómetro para el ciclo 3.**

| Fecha  | Temperatura Media por fotos [°C] | Temperatura Media por el termómetro [°C] | Diferencia Aritmética [°C] |
|--------|----------------------------------|--|----------------------------|
| Día 4  | 37.37                            | 33                                       | 4.37                       |
| Día 7  | 37.27                            | 35                                       | 2.27                       |
| Día 11 | 35.13                            | 28.5                                     | 6.63                       |
| Día 18 | 37.11                            | 31                                       | 6.11                       |
| Día 25 | 36.01                            | 30                                       | 6.01                       |
| Día 28 | 36.85                            | 35                                       | 1.85                       |

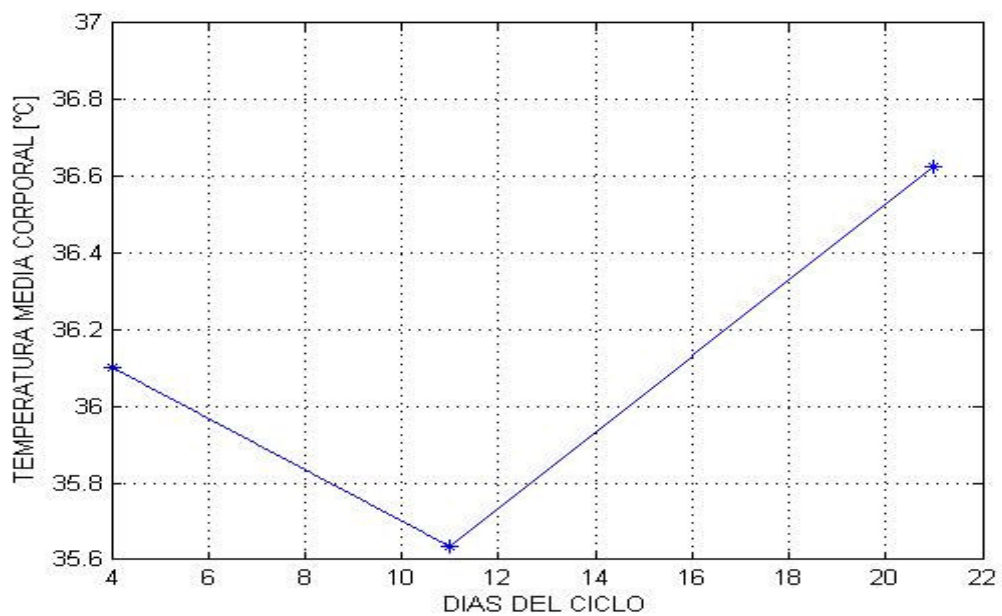
Fuente: Autores del proyecto

Se pudo observar un comportamiento similar al que se tuvo en el anterior análisis, teniendo ahora una diferencia aritmética promedio de 4.54 [°C]. Esto permite establecer la misma conclusión acerca de la temperatura que se está teniendo en cuenta para el manejo térmico de las aves.

**3.2. Caracterización del comportamiento térmico corporal de las aves.** De acuerdo a lo observado en las figuras 29, 30 y 31 obtenidas a partir del procesamiento de las imágenes infrarrojas sensadas, se calculó un promedio de temperaturas de estas imágenes por día sensado para cada uno de los ciclos, como anteriormente se había mencionado. Debido a que se tenían una cantidad

muy pequeña de estos datos para poder observar un comportamiento definido, se realizó una regresión polinomial a las temperaturas promedio obtenidas en cada día, para así obtener un modelo de comportamiento que se ajuste a los datos. Esta regresión polinomial se decidió a partir de la observación del ajuste de estos datos punto a punto (Figuras 34, 35 y 36).

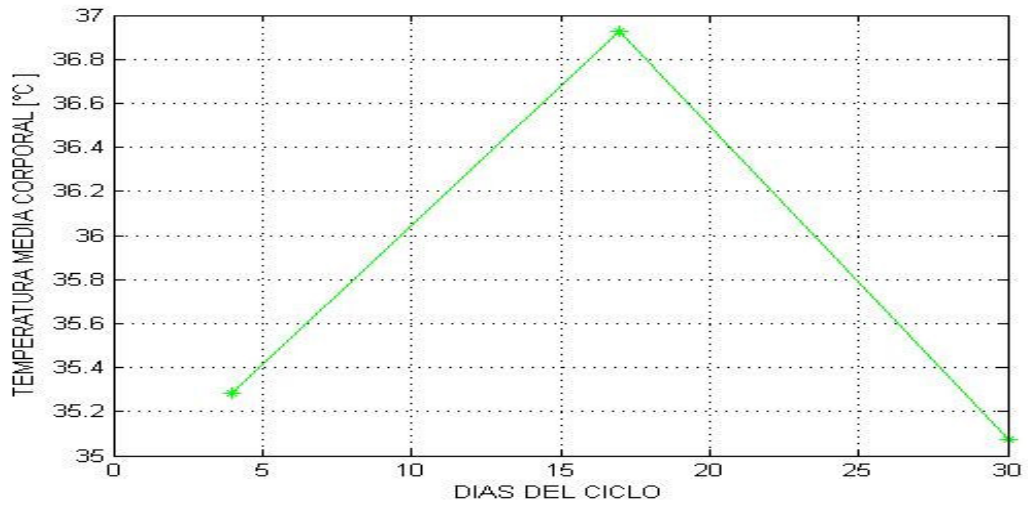
**Figura 34. Ajuste punto a punto de los datos de temperatura media para el primer ciclo sensado.**



Fuente: Autores del proyecto

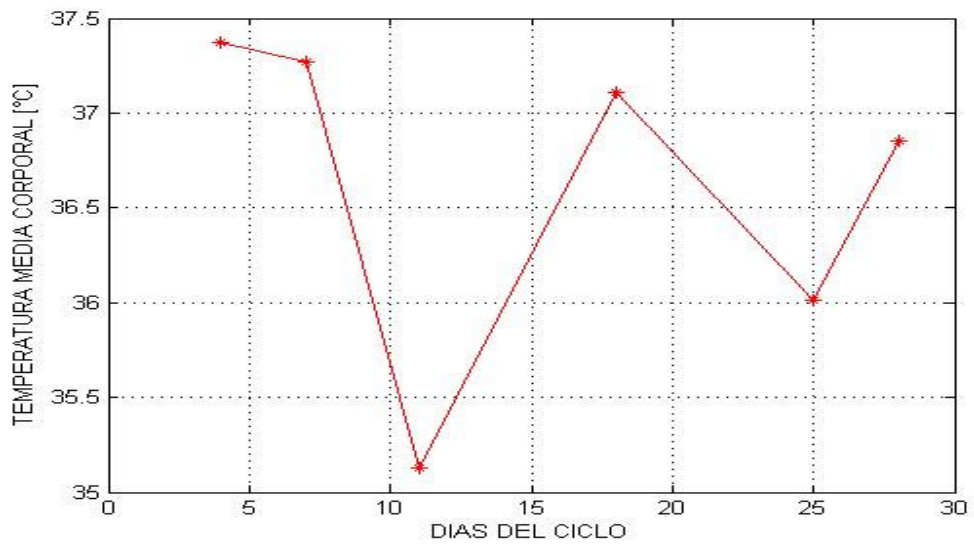
**Figura 35. Ajuste punto a punto de los datos de temperatura media para el segundo ciclo**

**sensado.**



Fuente: Autores del proyecto

**Figura 36. Ajuste punto a punto de los datos de temperatura media para el tercer ciclo sensado.**



Fuente: Autores del proyecto

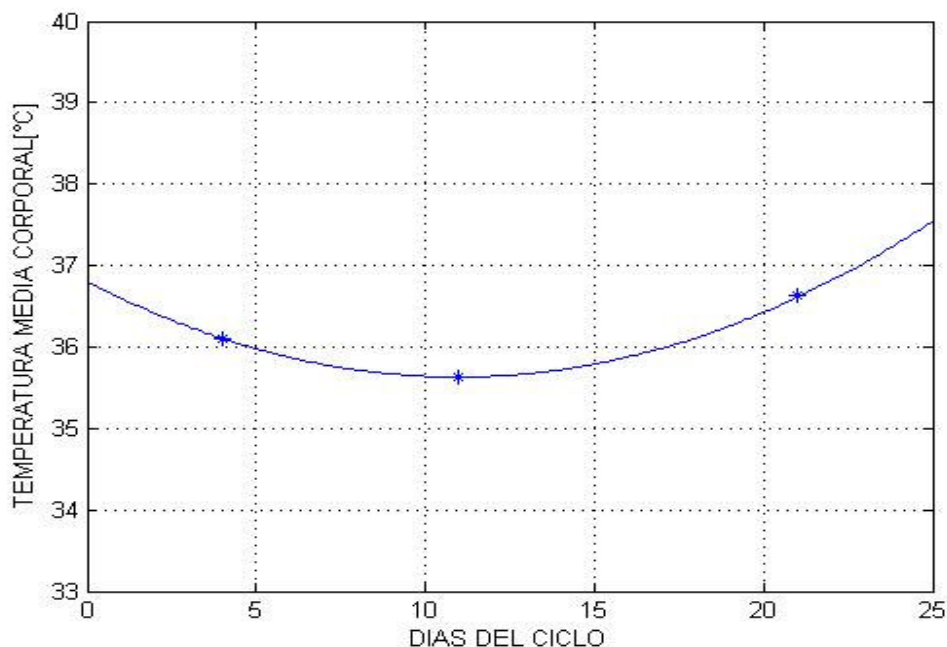
Se realizó el mejor ajuste polinomial para cada uno de los ciclos. Este ajuste fue implementado mediante el programa Matlab y la función “*polyfit*”, la cual se encarga de ajustar un número de datos  $N$  a la función polinómica que mejor se acomode de acuerdo a la distribución de estos en el plano. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

**Primer ciclo:**

Para este primer ciclo se realizó un ajuste polinomial de segundo orden obteniendo así la grafica observada en la figura 37. La ecuación característica de esta función es:

$$Y = 0.0097 X^2 - 0.2128 X + 36.7978 \quad (3.1)$$

**Figura 37. Ajuste polinomial de los datos de temperatura media para el primer ciclo sentido.**



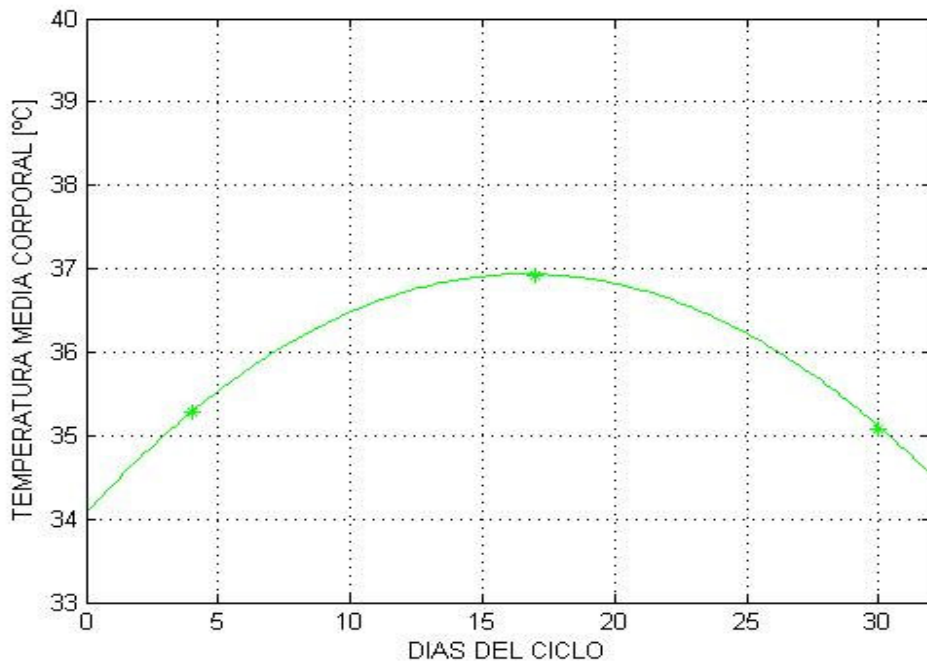
Fuente: Autores del proyecto

**Segundo Ciclo:**

Para el segundo ciclo la grafica que se obtuvo a partir del ajuste se observa en la Figura 38. Este ajuste fue también de segundo orden y la ecuación característica que describe esta función es la siguiente:

$$Y = -0.0103 X^2 + 0.3434 X + 34.0758 \quad (3.2)$$

**Figura 38. Ajuste polinomial de los datos de temperatura media para el segundo ciclo sensado.**



Fuente: Autores del proyecto

**Tercer Ciclo:**

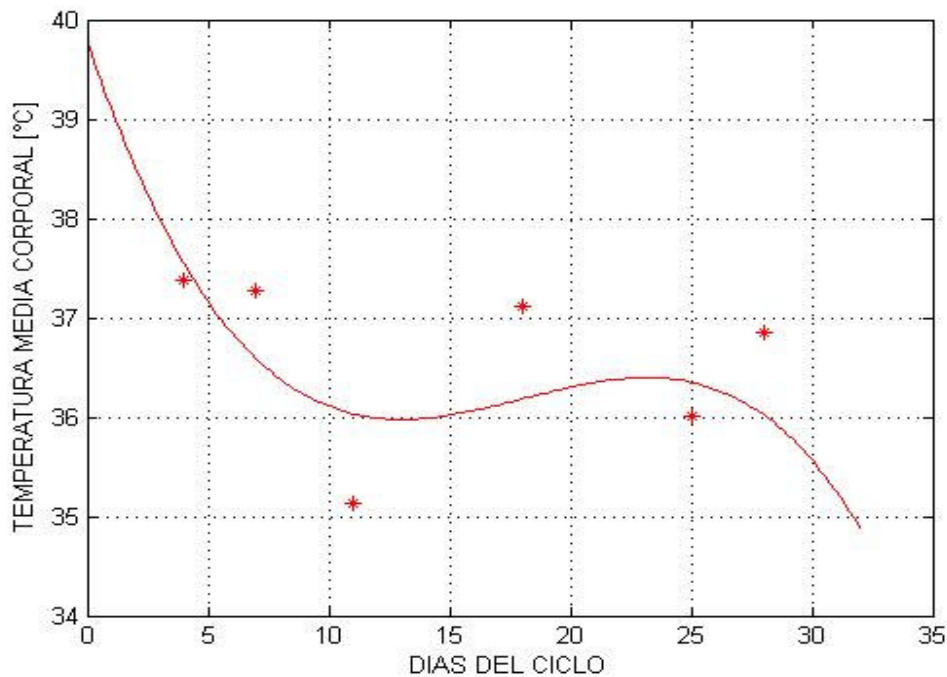
Para el tercer y último ciclo sensado se ajustó con un modelo polinómico de tercer orden, esto como correspondencia a la distribución que exponían los datos

muestreados y a la forma que se obtenía en la grafica de la distribución punto a punto (figura 36).

La ecuación característica que describe este ajuste es la siguiente:

$$Y = -0.0008 X^3 + 0.0434 X^2 - 0.7228 X + 39.7953 \quad (3.3)$$

**Figura 39. Ajuste polinomial de los datos de temperatura media para el tercer ciclo sensado.**



Fuente: Autores del proyecto

Al observar los resultados obtenidos para el ajuste de las temperaturas corporales promedio para cada uno de los ciclos sensados, no se puede establecer una tendencia en el comportamiento de estos datos, ya que en el primer ciclo se observa que la temperatura para los primeros días comienza a disminuir y después de la mitad del ciclo presenta un aumento trabajando siempre bajo un

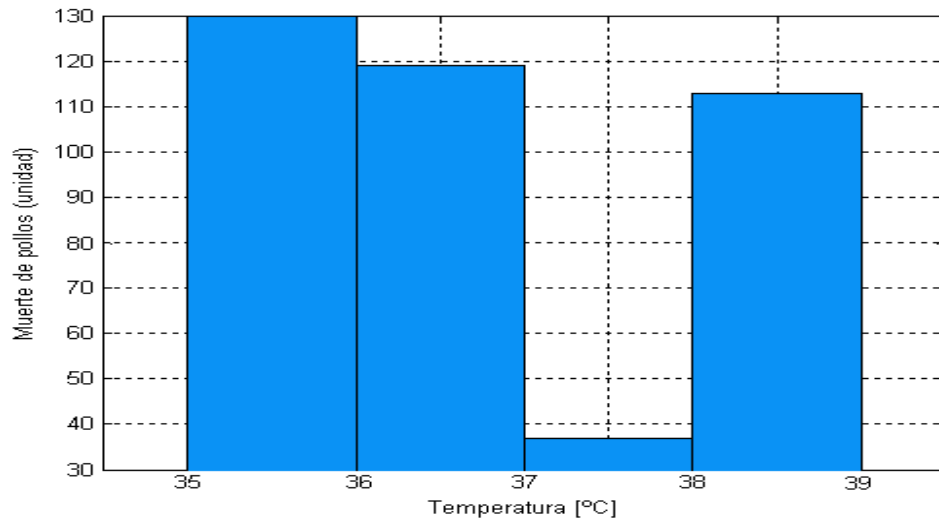
rango de temperaturas entre 35.5 y 37.5 [°C] aproximadamente. Para el segundo ciclo la temperatura tiene un comportamiento de aumento hasta nuevamente la mitad de este y luego desciende, estando siempre en el rango de temperaturas entre 34 y 37 [°C] aproximadamente. Y en el último ciclo la tendencia es una disminución generalmente constante entre los 35 y 40 [°C] pero que presenta un leve aumento entre los 15 y los 27 días del ciclo.

**3.3. Relación de la temperatura corporal promedio sensada mediante termografía con respecto a las tasas de mortalidad de las aves.** Para observar de qué forma afecta la temperatura corporal promedio a las tasas de mortalidad que se presentan en el proceso de cría y engorde de los pollos, se graficaron histogramas de frecuencia, que permiten establecer una visión de este fenómeno. Los histogramas se efectuaron observando el número de muertes que se presentaban para 5 rangos de temperatura seleccionados (34 a 35 [°C], 35 a 36[°C], 36 a 37[°C], 37 a 38[°C] y 38 a 39 [°C]) en cada uno de los ciclos trabajados. La información del número de muertes por día fue suministrada por la empresa interesada en la realización de este proyecto y los días de cada ciclo se clasificaron según la temperatura que presentaban en las gráficas de las figuras 37, 38 y 39.

De acuerdo con esto los resultados que se obtuvieron para los tres ciclos sensados fueron los siguientes:

**Primer Ciclo:**

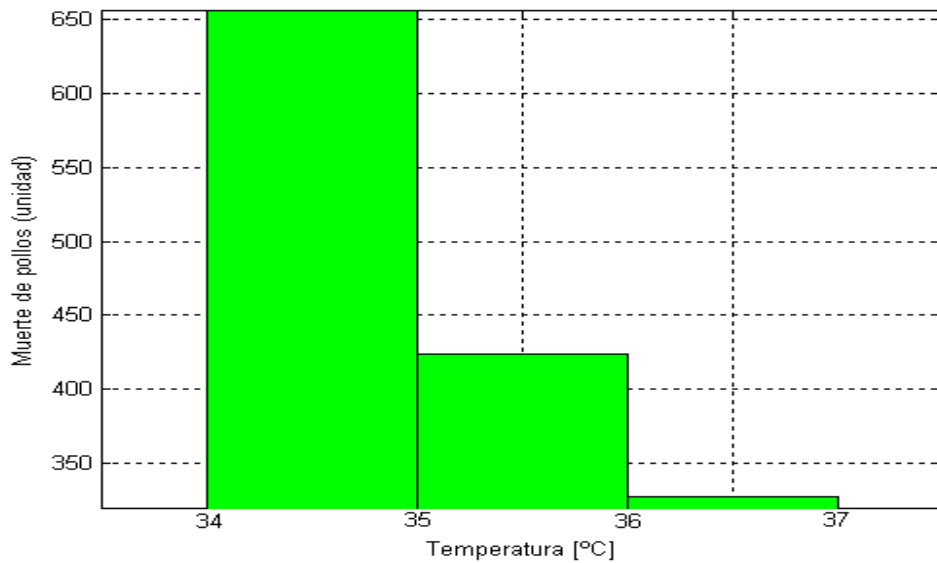
**Figura 40. Mortalidad de los pollos del primer ciclo Vs. Temperatura corporal promedio**



Fuente: Autores del proyecto

**Segundo ciclo:**

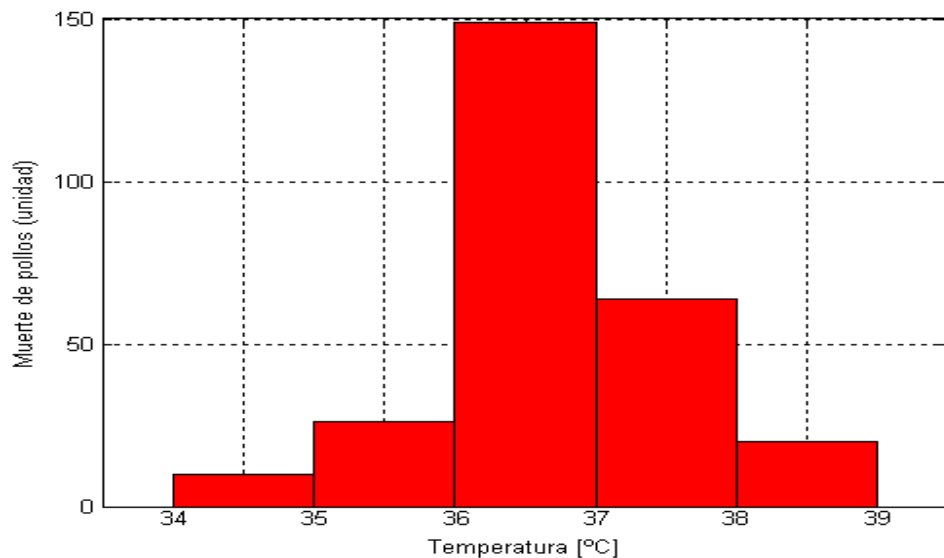
**Figura 41. Mortalidad de los pollos del segundo ciclo Vs. Temperatura corporal promedio**



Fuente: Autores del proyecto

**Tercer ciclo:**

**Figura 42. Mortalidad de los pollos del tercer ciclo Vs. Temperatura corporal promedio**



Fuente: Autores del proyecto

Un análisis inicial de las graficas da cuenta de la poca resistencia de los pollos a los cambios de temperatura sobre todo a las más bajas. Se observa en el ciclo 1 que entre 35 y 37 [°C] ocurren más del 50% de las muertes, estas temperatura se presentaron entre los primeros 4 días y entre los días 17 y 23. También se encontró que durante los últimos 3 días, las muertes se incrementaron debido a un aumento en la temperatura promedio corporal de los pollos que según la caracterización que se realizó estaría cerca de los 39 [°C].

En el ciclo 2 el comportamiento de la mortalidad de las aves evidencia que las temperaturas bajas y los cambios en esta son perjudiciales para los pollos. Para este ciclo en el intervalo de temperaturas de 34 a 36 [°C] las muertes superan las 1000 unidades, mientras que en el resto de intervalos no se logra llegar ni al 50% de este ultimo valor de aves muertas, cabe aclarar también que para este ciclo se existió una epidemia de gripa en la parvada lo cual influenció en el aumento de la tasa de mortalidad.

Y por último para el tercer ciclo sensado se observa un comportamiento de la mortalidad muy diferente a lo observado en los dos ciclos anteriores, ya que acá se presenta la mayor mortalidad en el rango de temperatura que se encuentra entre los 36 a 37 [°C].

Con esto se puede concluir que no se puede observar un comportamiento definido en lo referente a la incidencia de la temperatura corporal promedio de los pollos con respecto a las tasas de mortalidad que estos presentan en el proceso de cría, levante y engorde.

**3.4. Relación de la temperatura corporal promedio sensada mediante termografía con respecto a las tasas de morbilidad de las aves.** La morbilidad se conoce como la relación existente entre la cantidad de comida que se le suministra al animal en relación con el peso que este gana.

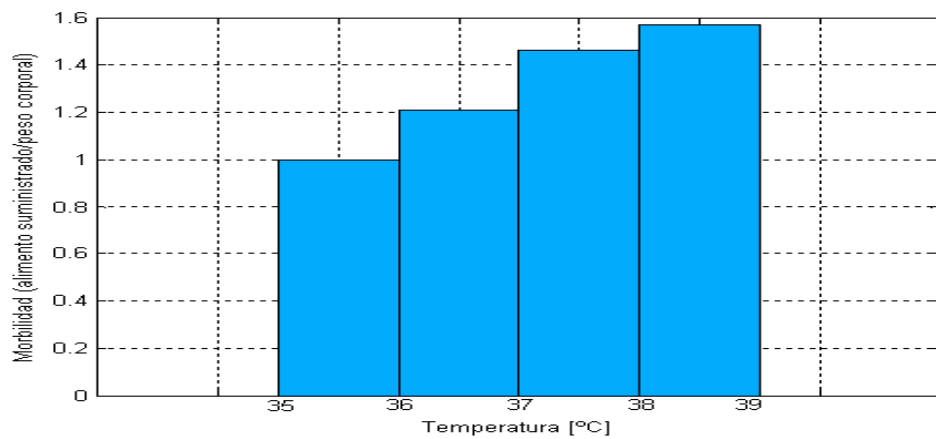
$$\text{Morbilidad} = \frac{\text{Consumo de purina en gramos}}{\text{peso actual del ave}} \quad (3.4)$$

Al igual que se realizó la comparación de las tasas de mortalidad con respecto a la temperatura corporal promedio, otro factor que se puede observar es el nivel de influencia que tiene la temperatura corporal de las aves con respecto a las tasas de morbilidad que estos presentan. Para analizar este factor se realizaron histogramas de frecuencias donde se tomaron intervalos de temperaturas de un grado Celsius (34 a 35 [°C], 35 a 36[°C], 36 a 37[°C], 37 a 38[°C] y 38 a 39 [°C]) y se clasificaron los días que se encontraban entre cada intervalo de temperatura según las gráficas de comportamiento obtenidas, como ya se había hecho para el análisis de mortalidad. Después se relacionó la morbilidad de cada uno de estos días con los intervalos de temperatura ya establecidos. Para realizar este experimento los datos de morbilidad fueron tomados de una muestra representativa del galpón objetivo y estuvieron facilitados por la empresa

interesada en el desarrollo de este proyecto. Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

**Primer ciclo:**

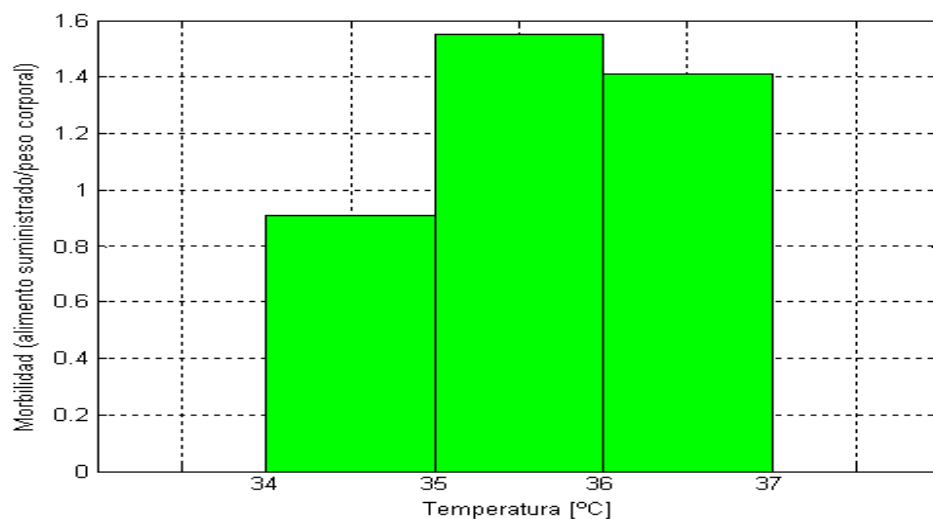
**Figura 43. Morbilidad de los pollos en el primer ciclo Vs. Temperatura corporal promedio**



Fuente: Autores del proyecto

**Segundo ciclo:**

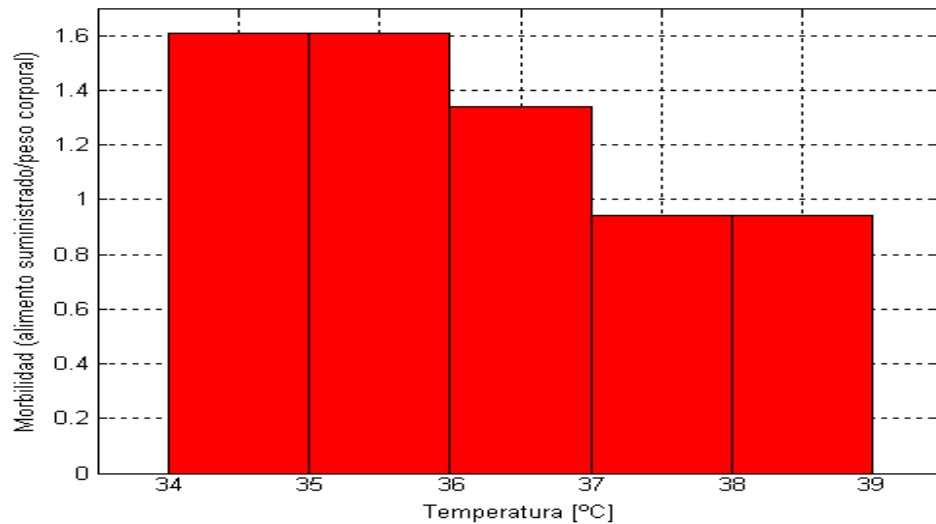
**Figura 44. Morbilidad de los pollos en el segundo ciclo Vs. Temperatura corporal promedio**



Fuente: Autores del proyecto

**Tercer ciclo:**

**Figura 45. Morbilidad de los pollos en el segundo ciclo Vs. Temperatura corporal promedio**



Fuente: Autores del proyecto

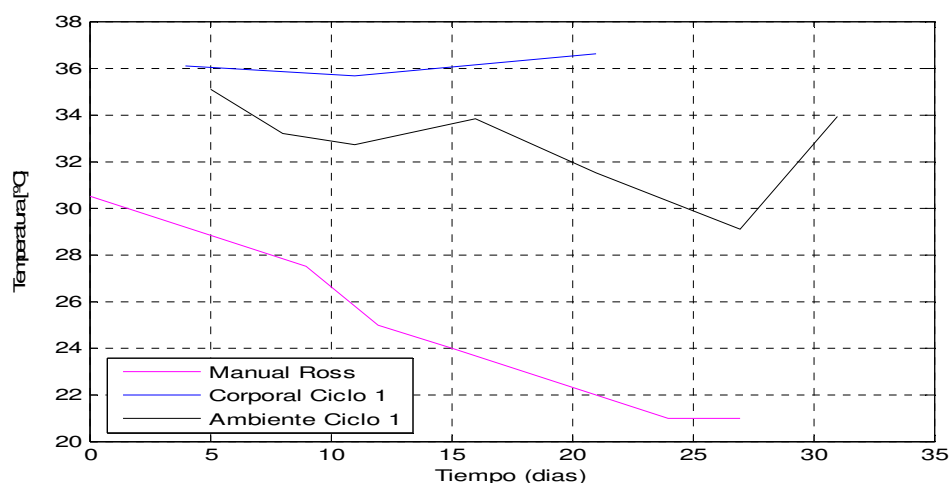
Según lo observado en los histogramas de las figuras 42, 43 y 44, al igual que en la mortalidad de las aves, en la morbilidad no se puede observar un comportamiento característico de la incidencia de la temperatura en los niveles de conversión del alimento. Ya que por lo menos, en los dos primeros ciclos se observa un mejor rendimiento en la morbilidad a temperaturas bajas, pero en el tercer ciclo se tiene que la mejor conversión se experimenta a temperaturas elevadas, esto según las temperaturas obtenidas mediante la termografía y las morbilidades suministradas por la empresa interesada en este proyecto.

**3.5 Comparación de la temperatura corporal promedio sensada mediante termografía con respecto al sugerido por la industria.** El manual de Ross establece unas temperaturas recomendadas para el confort térmico de los pollos de cría y engorde durante este proceso. Estas temperaturas son llamadas temperaturas aparentes y como ya se había mencionado en el capítulo 1, obedecen a una combinación entre la temperatura de bulbo seco que tiene el pollo

y la humedad relativa (H.R) que se observa en el ambiente. A continuación se hace una comparación para cada uno de los ciclos sensados, entre las temperaturas corporales promedio obtenidas mediante termografía, las temperaturas ambientales obtenidas con los sensores y las temperaturas recomendadas por el manual de Ross para el proceso de cría y engorde de los pollos.

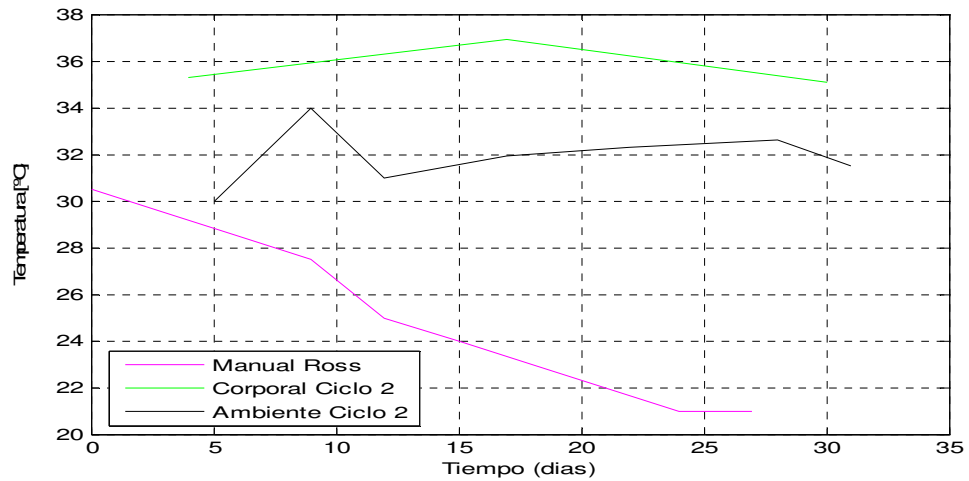
Los datos base que se toman para realizar la grafica que debe caracterizar según el manual de Ross el comportamiento térmico aparente en la parvada, son los que se encuentran en la tabla 1 y fueron tomados a una humedad relativa de aproximadamente el 60%. Mientras que los datos utilizados para caracterizar el comportamiento térmico sesandos mediante termografía y el procesamiento digital de imágenes son las temperaturas promedio que se encuentran en las graficas 37, 38 y 39. Y los datos que se utilizaron para realizar la gráfica de comportamiento de la temperatura ambiental fueron obtenidos del sensor industrial y el termómetro que se tenían instalados en el galpón objetivo.

**Figura 46. Temperatura corporal sensada mediante termografía Vs. Temperatura recomendada por el manual de Ross con H.R de 60% Vs. Temperatura ambiental para el primer ciclo**



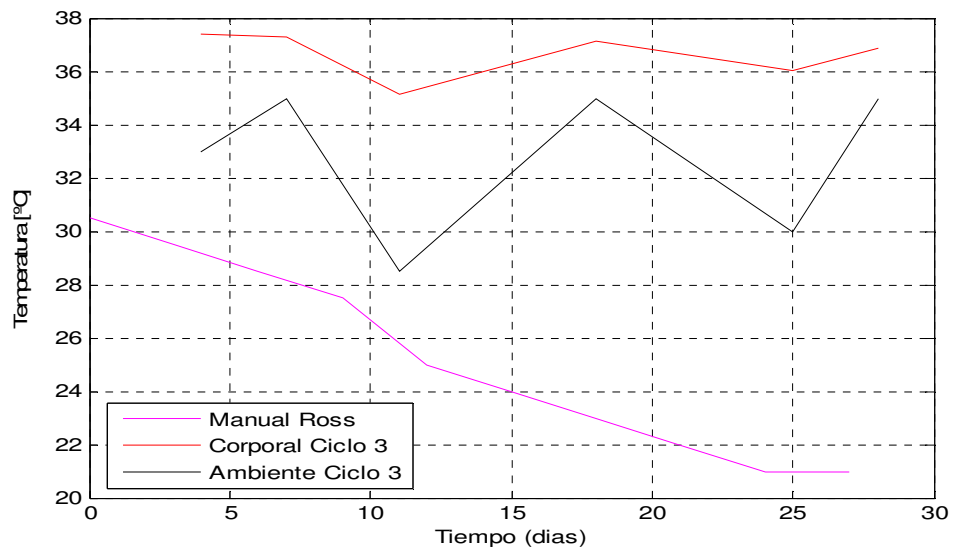
Fuente: Autores del proyecto

**Figura 47. Temperatura corporal sensada mediante termografía Vs. Temperatura recomendada por el manual de Ross con H.R de 60% Vs. Temperatura ambiental del segundo ciclo para el segundo ciclo**



Fuente: Autores del proyecto

**Figura 48. Temperatura corporal sensada mediante termografía Vs. Temperatura recomendada por el manual de Ross con H.R de 60% Vs. Temperatura ambiental para el tercer ciclo**



Fuente: Autores del proyecto

Al observar las figuras 46, 47 y 48 se puede ver que las temperaturas aparentes diarias recomendadas por el manual de Ross, se encuentran muy por debajo de las obtenidas mediante el sensor industrial de temperatura. Esta gran diferencia puede ser debida a que el manual de Ross presenta puntos óptimos de funcionamiento medidos bajo altos estándares de calidad en la producción de cría y engorde de los pollos. Además, se puede concluir que las temperaturas ambientales se encuentran por debajo de las temperaturas corporales de los pollos medidas mediante la termografía. Lo cual indica que la temperatura ambiental no es un muy buen indicador del confort térmico que experimentan las aves en su proceso de cría y engorde.

#### 4. CONCLUSIONES

- El procesamiento que se realizó para obtener los valores de temperatura corporal está limitado por el tipo de imágenes infrarrojas adquiridas, ya que se debieron crear protocolos en la toma de éstas (enfoque, distancia a la cámara, altura del suelo y separación entre los pollos). Por esta razón varias de las fotos que se tomaron a pesar de haberse hecho teniendo en cuenta las anteriores condiciones, fueron descartadas porque no cumplían estas mismas para así poder ser procesadas. Las imágenes se tomaron sin perturbar el proceso de cría, levante y engorde de las aves que normalmente se realiza en la granja.
- Existe una diferencia entre las temperaturas ambientales monitoreadas mediante sensores y las temperaturas corporales obtenidas mediante la termografía, esta diferencia se encuentra entre los 4.3 y 4.5 [°C] aproximadamente. Donde siempre se hallan por encima los valores de temperatura corporal, como se observa en las figuras 46, 47 y 48.
- Cuando se compararon los valores de temperatura ambiente medidos con los sensores industriales, estos estaban siempre por encima de los valores que recomienda el manual de Ross; lo cual indica que el proceso de cría y engorde que se realiza en esta granja, no está ajustado a las recomendaciones establecidas por este manual y por lo tanto no se puede esperar el mejor rendimiento el cual se tendría si el proceso cumpliera con estos estándares de calidad.
- La mortalidad medida en los tres ciclos no tiene una relación directa con la temperatura ambiental y corporal. Se puede observar que para el ciclo 1, los valores más altos de mortalidad se dieron en el rango de 35 a 36°C, para el

ciclo 2, los índices de mortalidad más altos estuvieron en el rango de 34 a 35°C, y finalmente para el ciclo 3 los índices de mortalidad más altos estuvieron en el rango de 36 a 37°C. Con lo cual se puede concluir que los índices de mortalidad se ven afectados por otras variables (enfermedades, humedad relativa, etapa de incubación, etc) además de la temperatura.

- De igual forma, no se puede concluir que exista una relación entre las temperaturas corporales y los índices de conversión de alimento, debido a que, por ejemplo, en los ciclos 1 y 2 se obtiene un mejor índice de conversión a bajas temperaturas, mientras que en el ciclo 3 se observa lo contrario. Esto implica que existen otras variables que inciden de forma más significativa en la conversión del alimento que la temperatura; como puede ser las enfermedades, la etapa de incubación, entre otras; las cuales no fueron variables supervisadas en este trabajo.

## 5. RECOMENDACIONES

- Después de analizar la información obtenida y de verificar que las temperaturas ambientales y por tanto las temperaturas corporales, están lejos de ser las recomendadas en el manual Ross se recomendaría realizar un experimento con ambiente controlado (temperatura ambiente, humedad, alimento suministrado e iluminación) para poder verificar el rendimiento en estas nuevas condiciones.
- Se recomienda realizar un estudio continuado de medición de la temperatura corporal usando video termográfico durante el ciclo completo de cría, levante y engorde de pollos, de tal forma que los cambios instantáneos de temperatura (olas de frío o calor) que influyen en la mortalidad puedan ser monitoreados.
- Existen otros métodos para medir la temperatura corporal de los pollos de engorde, tal como el método rectal, el cual ofrece observaciones de mayor precisión pero con la desventaja de tener que manipular al animal. Por eso se recomienda, contrastar los resultados aquí expuestos con los obtenidos usando este método rectal, para validar los resultados de temperaturas corporales obtenidos con la cámara termográfica.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÀFICAS

- [1] Gerald C. Holst. COMMON SENSE APPROACH TO THERMAL IMAGING. 2000.
- [2] “*Manual de manejo de pollo de engorde Ross.*” Aviagen Incorporated. www.aviagen.com. Nov. 2002.
- [3] M. Tessier, D. du Tremblay, C. Klopfenstein, G. Beauchamp and M. Boulianne. “*Abdominal Skin Temperature Variation in Healthy Broiler Chickens as Determined by Thermography.*” Poultry Science Association, Inc. Dec., 2002.
- [4] Natalia Sanchez Aldana, Juliana Velasquez Gomez. “*Imágenes por radiación infrarroja y termografía.*” Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA) e Instituto de Ciencias de la Salud (CES).
- [5] Land Instruments International. “*Guía Básica a la Termografía.*” Land Instruments International. 2004
- [6] “*IR FLEXCAM THERMAL IMAGERS Manual de Uso.*” Febrero de 2007.
- [7] R. Molina. “*Introducción al procesamiento y análisis de imágenes digitales.*” Universidad de Granada.
- [8] Estrada-pareja, M.; Marquez-Giron, S.; Restrepo, Luis F. “*Efecto de la temperatura y la humedad relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor en pollos de engorde.*”. Revista colombiana de ciencias pecuarias. Julio 25 de 2007.

[9] [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) . Año de búsqueda 2009.

[10] Begoña Acha y Carmen Serrano, Departamento digital de imágenes 5º de telecomunicaciones 2007 Universidad de Sevilla

[11] Demirbas, M.; Yian Chow, K. and Shyan Wan, C. *“INSIGHT: Internet-Sensor Integration for Habitat Monitoring.”*

[12] Mora Soriano, J.D. *“La producción Avícola en Colombia. Connotaciones. Universidad Nacional de Colombia.”*

[13] Xin, H.; Berry, I.L.; Barton, T.L. and Tabler, G.T. *“Sidewall Effects on Energy Use in Broiler Houses.”* Applied Poultry Science Association, Inc. 2003.

[14] Estrada-pareja, and M.; Marquez-Giron, S. *“Interacción de los Factores Ambientales con la Respuesta del Comportamiento Productivo en Pollos de Engorde.”* Revista colombiana de ciencias pecuarias. 2005. Vol. 18.

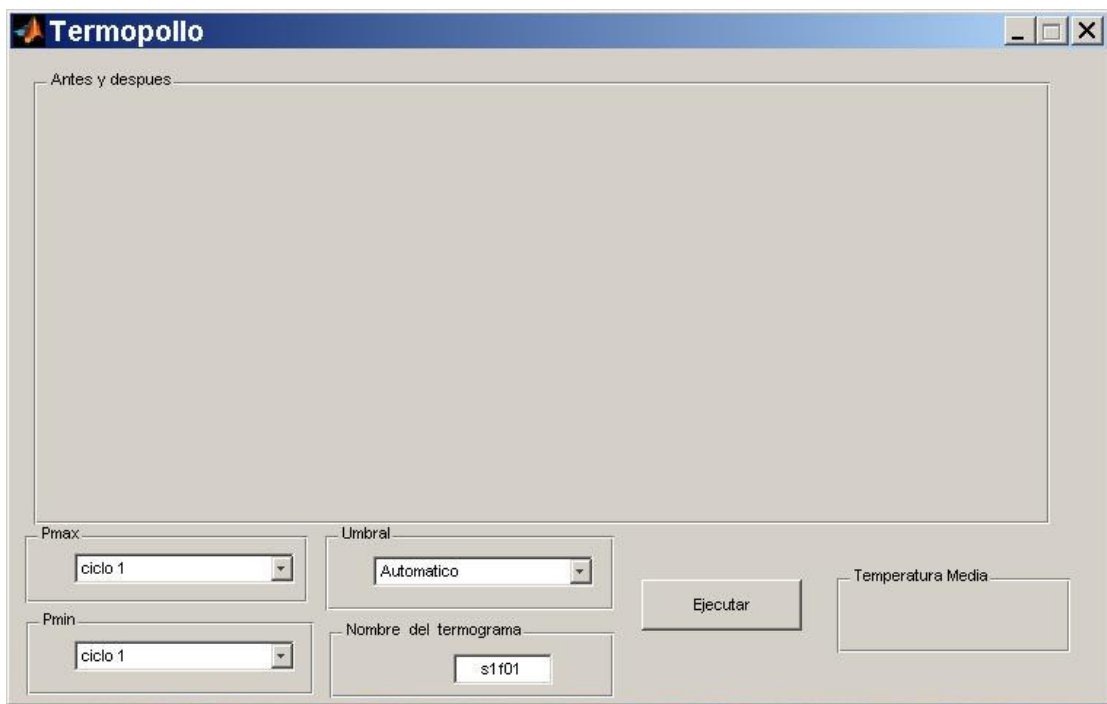
## **ANEXOS**

## ANEXOS A

### GUIA DE USUARIO DEL PROGRAMA

El programa esta hecho en “lenguaje m” de MATLAB y cuenta con una interfaz en GUIDE, de esta forma la manipulacion de las variables que afectan el proceso de las imágenes y la representacion de los resultados se elaboran de una forma ordenada y sencilla.

**Figura 1. Ventana inicial de la interfaz**



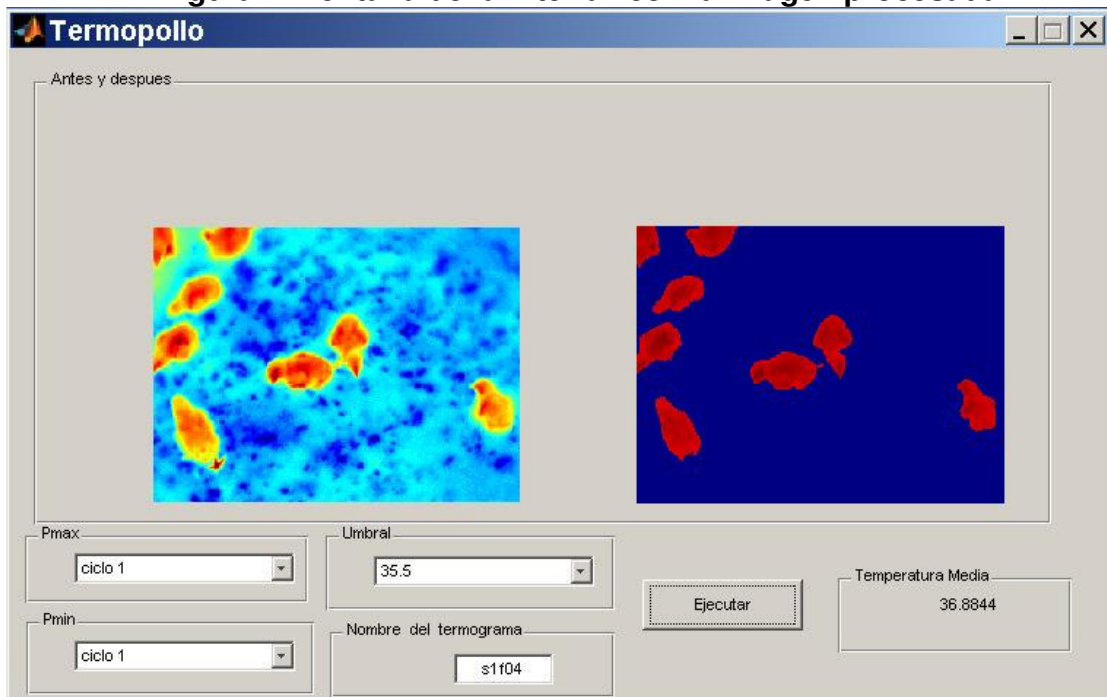
Fuente: Autores del proyecto

A primera vista se observa que la ventana del programa está dividida en dos partes: la parte superior es donde se ubica la imagen térmica original y la imagen después de realizarse el procesamiento. Esto se realizo con el fin que el usuario del programa pueda juzgar el resultado y de ser necesario efectuar los cambios en

las variables para obtener mejores resultados. Y la parte inferior de la ventana del programa contiene los siguientes controles:

- Cantidad de pixeles máximo y mínimo (Pmax y Pmin): estas variables son las encargadas de determinar el tamaño de los segmentos que cuentan la cantidad de pollos en la imagen termografica, es decir todos los segmentos de imagen que tengan más pixeles del valor Pmin y menos pixeles que el valor Pmax serán los segmentos que serán tomados en cuenta para obtener la temperatura promedio de la imagen.

**Figura 2. Ventana de la interfaz con la imagen procesada**

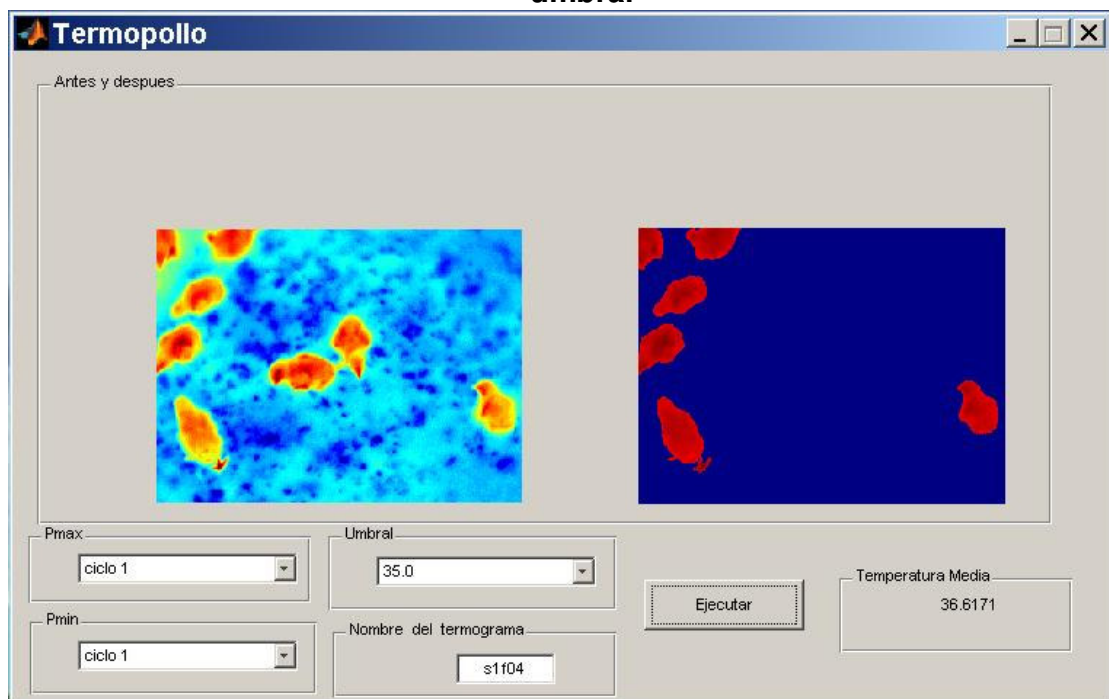


Fuente: Autores del proyecto

-Umbral: es el valor de temperatura al cual se segmenta la imagen, permitiendo separar las aves de su entorno; el programa permite cambiar este valor para modificar el tamaño de los segmentos y en consecuencia el número de segmentos que aparecerán en la imagen procesada. La relación que existe entre el valor del

umbral y el tamaño de los segmentos es inversamente proporcional; y por defecto el programa inicia con un umbral de 34.5, este valor fue deducido de la experiencia con las primeras imágenes termograficas y ha funcionado correctamente bajo las mismas condiciones de toma de imágenes (distancia y ángulo).

**Figura 3. Ventana de la interfaz con la imagen procesada con cambio de umbral**



Fuente: Autores del proyecto

- Nombre de la foto: aquí se escribe el nombre de la foto, a la cual se le desea hacer el procesamiento; el protocolo para llamar la foto es el siguiente:

s + Número de la sección fotográfica + f + Numero de la foto,

Por ejemplo: s02f09.

- El botón ejecutar: Después que ya se han colocado las variables en los valores deseados y una vez seleccionada la foto se pulsa el botón ejecutar para visualizar la temperatura promedio y la imagen antes y después del procesamiento de imágenes.

## ANEXO B

### CODIGOS DE LOS ALGORITMOS

El código fuente que se encuentra a continuación pertenece al del programa que realiza el procesamiento de las imágenes infrarrojas:

En esta parte inicial de la programación se cargan la imágenes, se crean variables para el proceso de segmentación y se asignan valores a los parámetros principales, los cuales son: la cantidad de pixeles máximo y mínimo, umbral y nombre de la imagen.

```
clc
load termografia
global foto
foto=char(get(handles.edit1,'string'))
sw1=get(handles.popupmenu1,'value');
sw2=get(handles.popupmenu2,'value');
sw3=get(handles.popupmenu3,'value');

if sw1==1
    pmax=2500;
elseif sw1==2
    pmax=2506;
elseif sw1==3
    pmax=5700;
elseif sw1==4
    pmax=1800;
elseif sw1==5
```

```
    pmax=2000;
elseif sw1==6
    pmax=2200;
elseif sw1==7
    pmax=2400;
elseif sw1==8
    pmax=2600;
elseif sw1==9
    pmax=2800;
elseif sw1==10
    pmax=3000;
elseif sw1==11
    pmax=3200;
elseif sw1==12
    pmax=3400;
elseif sw1==13
    pmax=3600;
elseif sw1==14
    pmax=3800;
elseif sw1==15
    pmax=4000;
elseif sw1==16
    pmax=4200;
elseif sw1==17
    pmax=4400;
elseif sw1==18
    pmax=4600;
elseif sw1==19
    pmax=4800;
```

```
elseif sw1==20
    pmax=5000;
elseif sw1==21
    pmax=5200;
elseif sw1==22
    pmax=5400;
elseif sw1==23
    pmax=5600;
elseif sw1==24
    pmax=5800;
elseif sw1==25
    pmax=6000;
end
```

```
if sw2==1
    pmin=500;
elseif sw2==2
    pmin=1000;
elseif sw2==3
    pmin=1500;
elseif sw2==4
    pmin=100;
elseif sw2==5
    pmin=200;
elseif sw2==6
    pmin=300;
elseif sw2==7
    pmin=400;
elseif sw2==8
```

```
    pmin=500;
elseif sw2==9
    pmin=600;
elseif sw2==10
    pmin=700;
elseif sw2==11
    pmin=800;
elseif sw2==12
    pmin=900;
elseif sw2==13
    pmin=1000;
elseif sw2==14
    pmin=1100;
elseif sw2==15
    pmin=1200;
elseif sw2==16
    pmin=1300;
elseif sw2==17
    pmin=1400;
elseif sw2==18
    pmin=1500;
elseif sw2==19
    pmin=1600;
end
```

```
if sw3==1
    Um=34.5;
elseif sw3==2
    Um=33.0;
```

```
elseif sw3==3
    Um=33.5;
elseif sw3==4
    Um=34.0;
elseif sw3==5
    Um=34.5;
elseif sw3==6
    Um=35.0;
elseif sw3==7
    Um=35.5;
elseif sw3==8
    Um=36.0;
elseif sw3==9
    Um=36.5;
elseif sw3==10
    Um=37.0;
elseif sw3==11
    Um=37.5;
elseif sw3==12
    Um=38.0;
elseif sw3==13
    Um=38.5;
elseif sw3==14
    Um=39.0;
end
if foto=='s1f01'
    l=s1f01;
elseif foto == 's1f02'
    l=s1f02;
```

```
elseif foto == 's1f03'  
    l=s1f03;  
elseif foto == 's1f04'  
    l=s1f04;  
elseif foto == 's1f05'  
    l=s1f05;  
elseif foto == 's1f06'  
    l=s1f06;  
elseif foto == 's1f07'  
    l=s1f07;  
elseif foto == 's1f08'  
    l=s1f08;  
elseif foto == 's1f09'  
    l=s1f09;  
elseif foto == 's1f10'  
    l=s1f10;  
elseif foto == 's1f11'  
    l=s1f11;  
elseif foto == 's1f12'  
    l=s1f12;  
elseif foto == 's1f13'  
    l=s1f13;  
elseif foto == 's1f14'  
    l=s1f14;  
elseif foto == 's1f15'  
    l=s1f15;  
elseif foto == 's1f16'  
    l=s1f16;  
elseif foto == 's1f17'
```

```
l=s1f17;
elseif foto == 's1f18'
    l=s1f18;
elseif foto == 's1f19'
    l=s1f19;
elseif foto == 's1f20'
    l=s1f20;
elseif foto == 's1f21'
    l=s1f21;
elseif foto == 's1f22'
    l=s1f22;
elseif foto == 's1f23'
    l=s1f23;
elseif foto == 's1f24'
    l=s1f24;
elseif foto == 's1f25'
    l=s1f25;
elseif foto == 's1f26'
    l=s1f26;
elseif foto == 's2f01'
    l=s2f01;
elseif foto == 's2f02'
    l=s2f02;
elseif foto == 's2f03'
    l=s2f03;
elseif foto == 's2f04'
    l=s2f04;
elseif foto == 's2f05'
    l=s2f05;
```

```
elseif foto == 's2f06'  
    l=s2f06;  
elseif foto == 's2f07'  
    l=s2f07;  
elseif foto == 's2f08'  
    l=s2f08;  
elseif foto == 's2f09'  
    l=s2f09;  
elseif foto == 's2f10'  
    l=s2f10;  
elseif foto == 's2f11'  
    l=s2f11;  
elseif foto == 's2f12'  
    l=s2f12;  
elseif foto == 's2f13'  
    l=s2f13;  
elseif foto == 's2f14'  
    l=s2f14;  
elseif foto == 's2f15'  
    l=s2f15;  
elseif foto == 's2f16'  
    l=s2f16;  
elseif foto == 's2f17'  
    l=s2f17;  
elseif foto == 's2f18'  
    l=s2f18;  
elseif foto == 's2f19'  
    l=s2f19;  
elseif foto == 's3f01'
```

```
l=s3f01;
elseif foto == 's3f02'
    l=s3f02;
elseif foto == 's3f03'
    l=s3f03;
elseif foto == 's3f04'
    l=s3f04;
elseif foto == 's3f05'
    l=s3f05;
elseif foto == 's3f06'
    l=s3f06;
elseif foto == 's3f07'
    l=s3f07;
elseif foto == 's3f08'
    l=s3f08;
elseif foto == 's3f09'
    l=s3f09;
elseif foto == 's3f10'
    l=s3f10;
elseif foto == 's3f11'
    l=s3f11;
elseif foto == 's3f12'
    l=s3f12;
elseif foto == 's3f13'
    l=s3f13;
elseif foto == 's3f14'
    l=s3f14;
elseif foto == 's3f15'
    l=s3f15;
```

```

elseif foto == 's3f16'
    l=s3f16;
elseif foto == 's3f17'
    l=s3f17;
elseif foto == 's3f18'
    l=s3f18;
elseif foto == 's3f19'
    l=s3f019;
end

N=1;Nmax=0;con(500)=0; % se crean unos contadores
M(240,320)=0; % se crea la matriz auxiliar
mm=0; %"mm" guarda el número de posibles aves en la imagen
l=0;

for i=1:240
    for j=1:320

        if Nmax<N
            Nmax=N;
        end
        if l(i,j)>Um %% UU
            if j>1
                if M(i,j-1)==0
                    if i>1
                        if M(i-1,j-1)==0
                            if M(i-1,j)==0
                                mm=mm+1;
                            end
                        end
                    end
                end
            end
            if j<240
                if M(i-1,j+1)==0
                    mm=mm+1;
                end
            end
        end
    end
end

```

```

N=Nmax+1;con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
    else
N=M(i-1,j+1);con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
    end
else
    N=Nmax+1;con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
end
    else
        N=M(i-1,j);
        con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
    end
    else
        N=M(i-1,j-1);con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
    end
    else
        N=Nmax+1;con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
    end
else
    N=M(i,j-1);con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
end
else
    if i>1 %%%% era j
        if M(i-1,j)==0
            if M(i-1,j+1)==0
                N=Nmax+1;con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
            else
                N=M(i-1,j+1);
                con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
            end
        end
    end

```

```

else
    N=M(i-1,j);con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
end
else
    N=1;con(N)=con(N)+1;M(i,j)=N;
end
end
end

```

% A continuación se inicia un proceso de reorganización de los segmentos, con el fin de evitar desorden en los datos

```

if j>1
    if M(i,j-1)==N
        if i>1
            if M(i-1,j)~=0 & M(i-1,j)~=N
                if M(i-1,j)<N
                    ff=M(i-1,j);
                    pp=N;
                else
                    ff=N;
                    pp=M(i-1,j);
                end
            end

            for k=1:i
                for p=1:320
                    if M(k,p)==ff
                        M(k,p)=pp;con(ff)=con(ff)-1;con(pp)=con(pp)+1;
                    end
                end
            end
        end
    end
end
end

```

```

        end
    end
end
end
    %termina el proceso de reorganización de segmentos
end
end
end
%Inicia la selección de segmentos por cantidad de pixeles
for t=1:500
    if con(t)> pmin & con(t)< pmax
        mm=mm+1;
        pollo(1,mm)=t; % numero del pollo en la matriz M
        pollo(2,mm)=con(t);% El número de pixeles por pollo
    end
end
%Termina la selección de segmentos
T(fix((max(max(I))-Um)*10)+1)=0;
I1(240,320)=0;
for a1 =1:mm
    pollo(1,a1);
    for b1 =1:240
        for c1 =1:320
            if M(b1,c1)==pollo(1,a1)
                T(fix((I(b1,c1)-Um)*10))=T(fix((I(b1,c1)-Um)*10))+I(b1,c1);
                I1(b1,c1)=I(b1,c1);
            end
        end
    end
end
end
end

```

```
end
mm=0;
for d1= 1: fix((max(max(I))-Um)*10)+1
    mm=mm+T(d1);
    l=l+(T(d1)*d1);
end
```

%En este punto final se entrega el valor de la temperatura promedio y se muestran las imágenes antes y después de la segmentación.

```
Temp=Um+0.1*(l/mm);
set(handles.text5,'string',Temp);
subplot(1,2,1)
imshow(I,[])
subplot(1,2,2)
imshow(I1,[])
colormap(jet)
```