

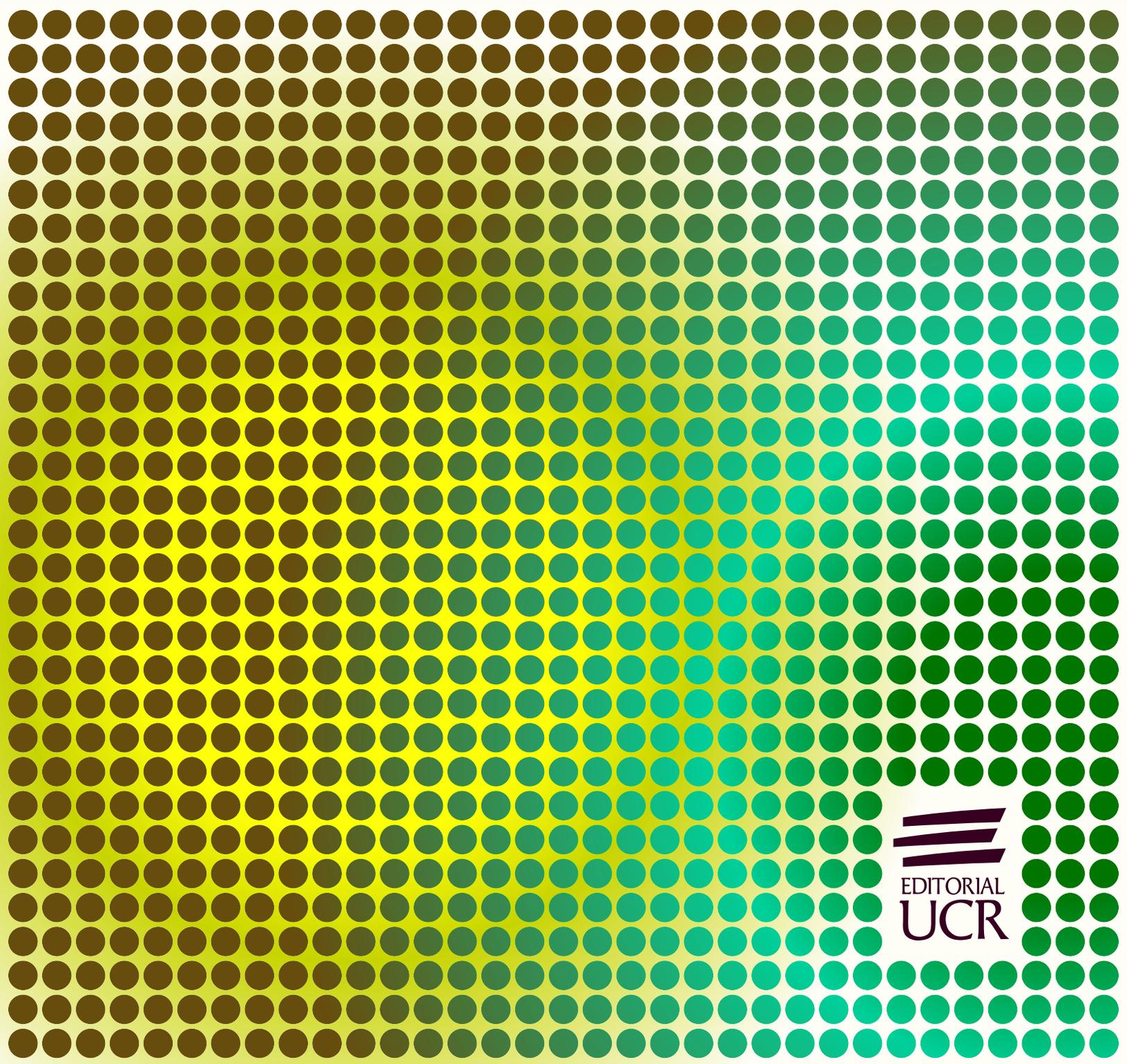
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/index>

www.ucr.ac.cr / ISSN: 2215-2652

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica

ENERO/ JUNIO 2023 - VOLUMEN 33 (1)



EDITORIAL
UCR

Propuesta metodológica para el análisis de confort térmico animal en zonas apartadas de Colombia

Methodological proposal for analysis of animal thermal comfort for isolated areas of Colombia

Pablo Julián Ruíz Ramirez

*Ing. Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá DC, Colombia
Maestrando en Meteorología Aplicada, Universidad Federal de Viçosa, Brasil*

e-mail: pjruihra@unal.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6452-9566>

Robinson Osorio Hernández

*Ing. Agrícola, M.Sc., PhD. Universidad Nacional de Colombia,
Grupo de Investigación Ingeniería de Biosistemas, Bogotá DC, Colombia*

e-mail: rosorioh@unal.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8698-7234>

Recibido: 6 de julio de 2022

Aceptado: 7 de octubre de 2022

Resumen

A lo largo del tiempo, varios autores han investigado la relación que tienen las condiciones climáticas con la producción animal, demostrando que el estado de confort influye de manera positiva en la producción. Esta investigación tuvo como objetivo realizar una propuesta metodológica para el análisis de confort térmico animal en zonas aisladas, tomando como caso de estudio tres Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación, donde se llevan a cabo proyectos productivos en el marco del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, empleando datos climáticos de temperatura y humedad relativa, obtenidos de series de tiempo de 2002 hasta 2019 con sensores remotos. La metodología propuesta a partir del uso de plataformas digitales de libre acceso mostró ser aplicable y, en los casos de estudio, encontró que las regiones que pueden presentar menores afectaciones a aves, porcinos y bovinos son Tierra Grata y Miravalle, mientras que, en Caño Indio, se sugiere adoptar estrategias de control climático para mejorar el ambiente térmico animal.

Palabras Clave:

Bioclima; estrés térmico; índice de confort; plataformas digitales de libre acceso; producción animal.



Abstract

Over time, several authors have investigated the relationship between climatic conditions and animal production, showing that the comfort state positively influences production. This research aimed to make a methodological proposal for the analysis of animal thermal comfort in isolated areas, taking as a case study three Territorial Spaces for Training and Reincorporation, where productive projects are carried out within the framework of the Final Agreement for the Termination of the Conflict and the Construction of a Stable and Lasting Peace, using climatic data of temperature and relative humidity obtained during time series from 2002 to 2019 with remote sensors. The proposed methodology based on the use of free access digital platforms proved to be applicable, and, in the case studies, it found that the regions that may have the least impact on broilers, pigs and cattle are Tierra Grata and Miravalle, while in Caño Indio, it is suggested to adopt climate control strategies to improve the animal thermal environment.

Keywords:

Animal production; bioclimate; comfort index; free access digital platforms; heat stress

1. INTRODUCCIÓN

La producción animal está influenciada directamente por las condiciones ambientales, es decir, por las condiciones de confort y bienestar animal, lo que afecta directamente el consumo energético de las instalaciones [1], [2].

El concepto de bienestar animal tiene varias interpretaciones. Para Damián y Ungerfeld [3], es aquel estado en que el animal puede responder con un bajo costo y efecto ante alguna condición adversa. El bienestar animal se basa en el concepto de que el animal se encuentre libre de hambre y sed, molestias e incomodidad, lesiones y enfermedades y puedan expresar sus comportamientos normales [4], [5].

El concepto del bienestar animal ha cobrado importancia a través del tiempo, debido al cuestionamiento ético [6]. Entre los factores que afectan al bienestar animal, Baêta y Souza [7] plantean que las condiciones ambientales son importantes, dado que el animal es considerado como un sistema termodinámicamente abierto, que interactúa constantemente con los alrededores y, por ello, se encuentran en un proceso constante de intercambio materia y energía [8]. Los factores ambientales de mayor relevancia son: la temperatura ambiental, humedad relativa, radiación solar, y velocidad del viento [7].

En el marco del Acuerdo Final para la Terminación del Conflicto y la Construcción de una Paz Estable y Duradera, se conformó la figura de Espacio Territorial para la Capacitación y Reincorporación (ETCR), que lo conforman veinticuatro áreas ubicadas en trece de los treinta y dos departamentos, en los que excombatientes de las FARC-EP pudiesen reintegrarse de forma gradual a la sociedad, mediante la instauración de proyectos productivos [9]. Entre las actividades que se realizan allí, se encuentra el ecoturismo, ganadería de ceiba, comercio comunitario, avicultura, piscicultura, porcicultura, producción de caña panelera, aguacate, cacao, café, entre otros [9].

Como estos espacios se encuentran ubicados en diferentes lugares del país, al considerar las especies animales que pueden existir en estas zonas y la diversidad climática entre las diferentes localizaciones, se hace necesario realizar un análisis de confort higrotérmico a través de una metodología propuesta, con el fin de dar pautas para el mejoramiento de las condiciones de vida de los animales.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se llevó a cabo al emplear percepción remota en las ETCR de Tierra Grata, ubicado en el municipio de Manaure del Balcón del Cesar en el departamento del Cesar, Caño Indio, municipio de Tibú, Norte de Santander y Miravalle municipio de San Vicente del Caguán, departamento de Caquetá. Las coordenadas de estos espacios se ilustran en la Fig. 1.

Al igual que muchas zonas rurales del país, las cuales están aisladas de los principales centros urbanos, se tiene baja disponibilidad y accesibilidad de información meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [10], por lo que se optó por recopilar información de los servidores de la NASA mediante el Centro de Servicio de Datos e Información de la Tierra Goddard [11] y del GES – DISC [12]. De esta plataforma, se obtuvieron

los parámetros de ‘temperatura media de la superficie de la piel’, ‘humedad relativa en superficie ascendente durante el día’, ‘humedad descendente durante la noche’ y ‘velocidad del aire en la superficie cercana’.

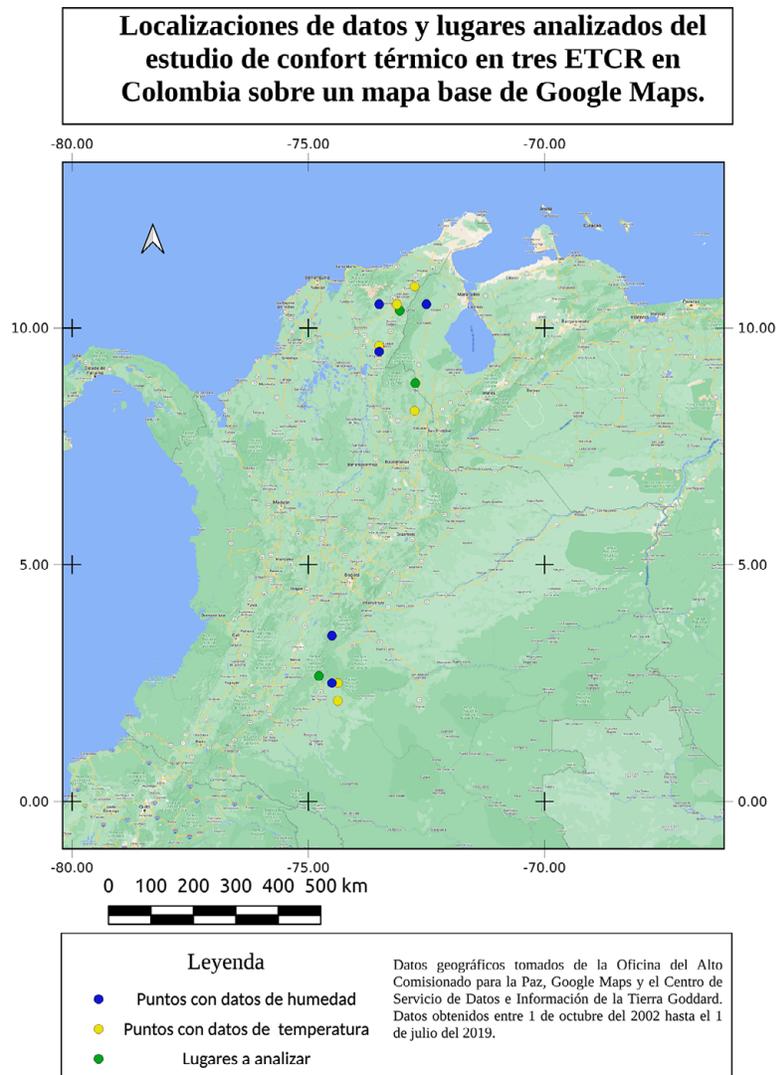


Fig. 1. Localizaciones de datos y lugares analizados del estudio de confort térmico en tres ETCR en Colombia sobre un mapa base de Google Maps. Adaptado de: [9], [11], [12], [13], [14].

Los parámetros de temperatura y velocidad del aire se obtuvieron mediante el Sistema Mundial de Asimilación de Datos de la Tierra –GLDAS [13], el cual adquiere información mediante la observación y modelamiento de la superficie terrestre basado en la vegetación, así como la precipitación y radiación descendente. Este sistema provee resultados con una precisión entre 1 a 0.25 °C y $\pm 0.5 \text{ ms}^{-1}$ [13].

Por otro lado, la humedad relativa se obtuvo al emplear la Sonda Infrarroja Atmosférica (AIRS) de Recuperación Física Estándar (STM), que es un espectrómetro de rejilla junto a un conjunto de sensores atmosféricos situados en la segunda plataforma de órbita polar del Sistema

de Observación de la Tierra (EOS). La herramienta provee el valor medio ponderado de los parámetros, que se observa en una celda de observación [11].

Los datos mencionados anteriormente se obtuvieron para el periodo de tiempo del 1 de octubre de 2002 al 1 de julio del 2019 con el fin de observar tendencias del comportamiento climático. La información climática proviene de lugares cercanos a los sitios de análisis, de forma que se optó por realizar estimaciones de los parámetros mencionados. Para el tratamiento de la información, se elaboró la siguiente metodología:

2.1 Parámetros climáticos

Algunos parámetros climáticos se obtuvieron entorno a un polígono rectangular con coordenadas geográficas decimales ($lon_1, lat_1, lon_2, lat_2$), los cuales fue necesario representarlos como un punto. Al tener en cuenta que el sistema de referencia de coordenadas empleado por la plataforma corresponde a WGS84 o GRS80, se emplean coordenadas geográficas decimales y se supone que la información suministrada corresponde a aquella situada en el centro de gravedad de dicho polígono de dimensiones $((lon_1+lon_2)/2; (lat_1+lat_2)/2)$.

2.3 Coordenadas geográficas

Ubicada la información en los puntos, se realizó la conversión del sistema de coordenadas geográficas a MAGNA-SIRGAS, empleando el software libre MAGNA-SIRGAS pro v4.2 [14]. Al ubicar todos los puntos en dicho sistema, se observó que todos se encuentran ubicados en origen Central, a excepción de dos que se ubicaron en origen Este y otros dos que no convergen dentro del territorio nacional, ubicándose sobre territorio de la República de Venezuela (Fig. 1). Para resolver esta situación, se forzó al programa a calcular los dos puntos sobre el origen Este en origen Central, y, para los demás puntos, se realizó una regresión lineal a quince puntos obtenidos, al variar la latitud definida por el programa, manteniendo la longitud constante (-72.5). Al hacer esto, se obtuvieron las ecuaciones (1) y (2) mediante el software CurvExpert, donde N y E son las coordenadas cartesianas Norte y Este, respectivamente, y L , la latitud en grados decimales. Estas ecuaciones tienen un coeficiente de correlación mayor a 0.99, lo que indica su alta confiabilidad.

$$N = 1.598033 \times 10^6 + 1.844422 \times 10^3 L \quad (1)$$

$$E = 1.1729973 \times 10^6 - 9.575 L \quad (2)$$

2.3 Temperatura y humedad

Al obtener todas las coordenadas en el sistema de referencia MAGNA SIRGAS origen central, se calcularon los pesos relativos Pr de cada parámetro de temperatura y humedad, teniendo en cuenta las distancias entre los puntos de donde se tiene información y las zonas a analizar mediante la ecuación (3), donde m hace referencia a la coordenada Norte o Este, $C(l,m)$ es la coordenada m del lugar a analizar, $C(b,m)$ la coordenada m del parámetro b (temperatura

o humedad relativa) y d la sumatoria de las distancias de los puntos de los parámetros al punto a analizar.

$$p_{rb,m} = \frac{C_{l,m} - C_{b,m}}{d_m} \quad (3)$$

La interpolación del parámetro meteorológico desconocido b , a partir de los m conocidos, se realizó mediante la expresión (4), donde P_i es el parámetro meteorológico i , además, $P_{(E,i)}$ y $P_{(N,i)}$ son los pesos de las coordenadas Este y Norte, respectivamente, calculados mediante la expresión (3) y ρ el valor del parámetro b obtenido.

$$\rho_b = \frac{\sum_{i=1}^n P_{i,b} (p_{E,i} + p_{N,i})}{\sum_{i=1}^n (p_{E,i} + p_{N,i})} \quad (4)$$

Obtenidos los datos de temperatura y humedad relativa, se procedió a calcular el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) desarrollado por [15], modificado por varios autores con el objeto de aplicarlo a varios animales, por ejemplo, la ecuación (5), dada por [16], sirve para analizar el estado de confort térmico de pollos de engorde. En dicha ecuación, T_{amb} es la temperatura de bulbo seco, y H_r la humedad relativa en forma decimal. La ecuación (6) representa el ITH para porcinos [17]. Con respecto a vacas lecheras, [18] y [6] analizaron la ecuación (7), propuesta por Thom [15], empleada para evaluar el confort térmico en vacas Holstein en el trópico alto. Por otro lado, de la ecuación (8), [19] estima el riesgo relativo que un caballo pueda sufrir un golpe de calor cuando llevan a cabo algún tipo de actividad exigente, donde H_r^x es la humedad relativa porcentual.

$$ITH_p = 1.8T_{amb} + 0.55H_r + 31.45 \quad (5)$$

$$ITH_c = 0.45T_{bh} + 1.35T_{bs} + 32 \quad (6)$$

$$ITH_{v,T} = T_{bh} + 0.36T_{bs} + 41.5 \quad (7)$$

$$ITH_{cab} = T_{bs} + \frac{H_r^x}{1.8} \quad (8)$$

Cabe resaltar que, entre los datos obtenidos, se tienen dos series de humedad concernientes a la humedad diaria ascendente ($H_{r,AD}$) y decreciente nocturna ($H_{r,DN}$) en cada región, por lo que los índices ITH se calcularon dos veces, cambiando dicho parámetro para observar su comportamiento. Para analizar el nivel de confort animal, se tomaron rangos de los índices para estados de **normalidad**, donde no se presentan riesgos fisiológicos y de bienestar; **alerta**, donde la posibilidad de presentar afectaciones es de bajo a moderado; **atención**, cuya posibilidad de afectación es moderada a alta; y **peligro**, con una alta probabilidad de comprometer la actividad metabólica del animal, y que presente daños en su salud [19], [16], [17], [6], estos intervalos se resumen en el CUADRO I. Es de notar que para el índice ITH_{cab} , concerniente a equinos en condiciones de actividad física [19], solo se definen tres intervalos.

Con respecto a la temperatura de bulbo húmedo, debido a la falta de información presentada por la plataforma Giovanni [12] y el IDEAM [10] se optó por determinar este parámetro mediante psicrometría [20], teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar en que se encuentran las regiones determinadas, mediante el mapa *OpenTopoMap* base, proporcionado por la plataforma de *Open Street Maps* [21]. Se aplicó una corrección por interpolación simple a los ETCR de

Miravalle y Tierra Grata, dado que Caño Indio se encuentra a 50 m.s.n.m., por lo cual se supuso que las condiciones a 0 m.s.n.m. son aproximadamente iguales. En los tres casos, se obtuvo datos de temperatura de bulbo húmedo para un intervalo de temperatura entre la máxima y mínima, y humedad relativa tanto diaria ascendente como nocturna descendente para toda la serie de datos (2002 - 2019) a los cuales se les aplicó regresión lineal y polinómica de segundo a tercer grado y se compararon entre sí para obtener el mejor modelo.

CUADRO I

INTERVALOS DE ESTADOS TÉRMICOS DE ÍNDICES DE TEMPERATURA-HUMEDAD PARA DIFERENTES ANIMALES

| Estado | ITH_p | ITH_c | ITH_y | ITH_{cab} |
|----------|---------|---------|---------|-------------|
| Normal | <70 | <74 | <70 | <50 |
| Alerta | 70-79 | 74-79 | 70-73 | 50-64 |
| Atención | 79-83 | 79-83 | 73-79 | |
| Peligro | >84 | >84 | >79 | >64 |

Tomado y adaptado de: [6], [16], [17], [18], [19].

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto al cálculo de la temperatura de bulbo húmedo para las dos condiciones de humedad analizadas, se obtuvieron modelos de regresión de tercer orden, a excepción de los modelos de Caño Indio para temperaturas de 25 °C, 26 °C, 28 °C y 32 °C, donde el mejor ajuste se obtuvo mediante un polinomio de segundo grado. Las ecuaciones de correlación obtenidas para el caso de Caño Indio para temperaturas entre 24 °C y 32 °C, y humedad relativa entre 40 % y 100 %, arrojaron un coeficiente de correlación mínimo 0.9945; en el caso de Miravalle, para temperaturas de 20 °C a 26 °C, y humedad relativa desde 60 % hasta 85 %, se obtuvo un coeficiente de correlación mínimo de 0.99620; por último, para el rango de temperaturas de 21 °C a 28 °C, y humedad relativa desde 60 % hasta 85 %, correspondiente a Tierra Grata, el coeficiente de correlación mínimo fue de 0.99815. Lo anterior significa que los modelos planteados pueden ser aplicados al tener certeza de que generarán un error mínimo.

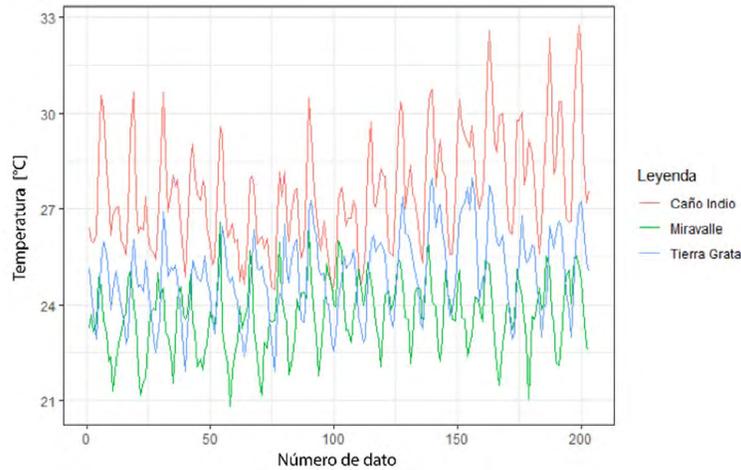
Los parámetros meteorológicos obtenidos mediante interpolación ponderada para las diferentes regiones de forma anual respecto a la temperatura de bulbo seco (T_{bs} [°C]) humedad relativa diaria ascendente ($H_{(r,AD)}$ [%]), humedad relativa nocturna descendente ($H_{r,ND}$ [%]), temperatura de bulbo húmedo calculado, teniendo en cuenta la humedad relativa diaria ascendente y la nocturna descendente $T_{bh,DA}$ [°C] y $T_{bh,ND}$ [°C] así como su variación se muestran en el CUADRO II, donde se puede observar que la mayor temperatura y su variación corresponde a la región de Caño Indio, seguido de Tierra Grata y de Miravalle al igual que el rango de variación que se presenta de humedad relativa.

Así mismo, al representar la variación de la temperatura y humedad relativa con respecto a un periodo anual en las tres regiones analizadas (Fig. 2), se observa un aumento de la temperatura progresivo con picos de máximos y mínimos en diferentes años, estas variaciones no siguen, aparentemente, un patrón en específico, y su tendencia es creciente.

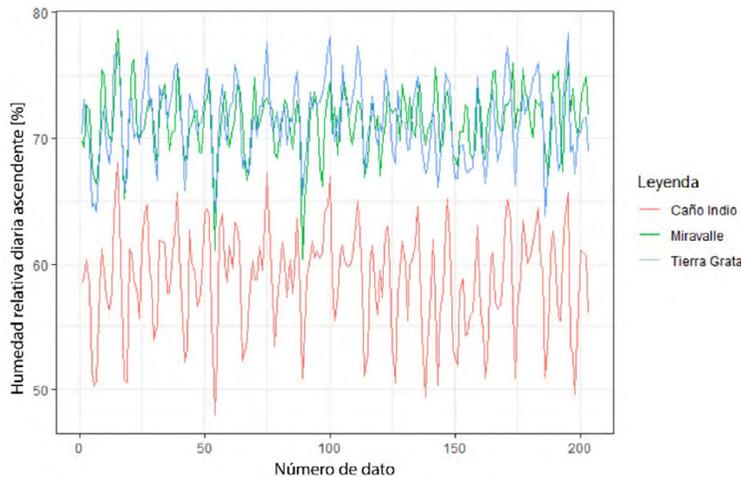
CUADRO II

PARÁMETROS METEOROLÓGICOS MEDIOS DE LAS TRES ZONAS. RANGO DE DATOS: 2002 - 2019

| ETCR | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Parámetro | Caño Indio | Miravalle | Tierra Grata |
| T_{bs} [°C] | 27.54 ± 1.73 | 23.68 ± 1.12 | 24.98 ± 1.31 |
| $H_{r,DA}$ [%] | 58.71 ± 4.05 | 71.35 ± 2.61 | 71.35 ± 3.00 |
| $H_{r,ND}$ [%] | 86.94 ± 2.48 | 79.44 ± 2.07 | 73.69 ± 3.27 |
| $T_{bh,DA}$ [°C] | 18.2 ± 1.25 | 17.95 ± 1.69 | 21.07 ± 7.08 |
| $T_{bh,ND}$ [°C] | 19.57 ± 9.46 | 19.48 ± 1.7 | 6.58 ± 7.88 |



a)



b)

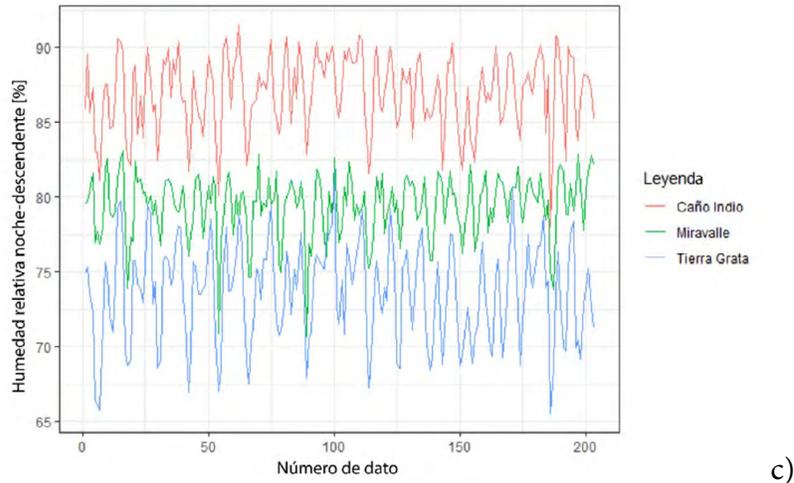


Fig. 2. Variación de parámetros meteorológicos desde $n_0 = 2002$ hasta $n_{203} = 2019$. Comparación en las tres regiones, a) temperatura, b) humedad relativa día ascendente, c) humedad relativa noche descendente.

Con respecto a la humedad relativa, supuestamente no varía su comportamiento. Sin embargo, se presentan variaciones fuertes al comparar $H_{r,DA}$ y $H_{r,ND}$ (Tierra Grata), moderadas (Miravalle), y bajas a nulas (Caño Indio). Esto puede deberse a influencia de diferentes condiciones orográficas, cuerpos de agua y coberturas vegetales que circundan estas regiones.

Por otro lado, las variaciones de temperatura y humedad relativa del CUADRO II se contrastan con las gráficas de la Fig. 2, al comparar el comportamiento de estas variables en las tres regiones desde $n_0=01/09/2002$ hasta $n_{203}=01/07/2019$, donde la tendencia descrita se mantiene a lo largo del periodo analizado. Al final del 2019, se observa un aumento de la temperatura entre $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es importante observar y mantener condiciones ambientales adecuadas para los animales, dado los grandes cambios de temperatura no solo para este análisis, sino también para prever y estimar, en el futuro, posibles contingencias ante el incremento de la temperatura, producto del cambio climático.

Al analizar los valores obtenidos de los ITH calculados para pollos de engorde, porcinos, bovinos, y equinos, se obtuvieron las regiones con mayores días en que los animales se encuentran en menor y mayor riesgo de sufrir afectaciones en su estado de bienestar y sus condiciones fisiológicas. Lo anterior se encuentra representado en la Fig. 3 a través de la muestra de las fajas de confort para cada animal y zona.

Para pollos de engorde, se presentan pocas diferencias entre las condiciones de humedad diurna ascendente y nocturna descendente. El análisis de humedad relativa día ascendente ($H_{r,DA}$) arroja que solo existe normalidad en 28 de los 203 meses analizados en Tierra Grata, 73 en Miravalle (ambos durante la noche) y ninguno en Caño Indio; la mayoría de las condiciones de temperatura-humedad en las cuales estarán los pollos se debe estar en condición de alerta, dado que en Miravalle se presentaron 197 y 128 meses de los 203 analizados (día y noche, respectivamente) en estas condiciones, seguido de Tierra Grata con 166 y 138, y, finalmente, en Caño Indio, donde se presentaron 52 y 49 meses en condición de alerta.

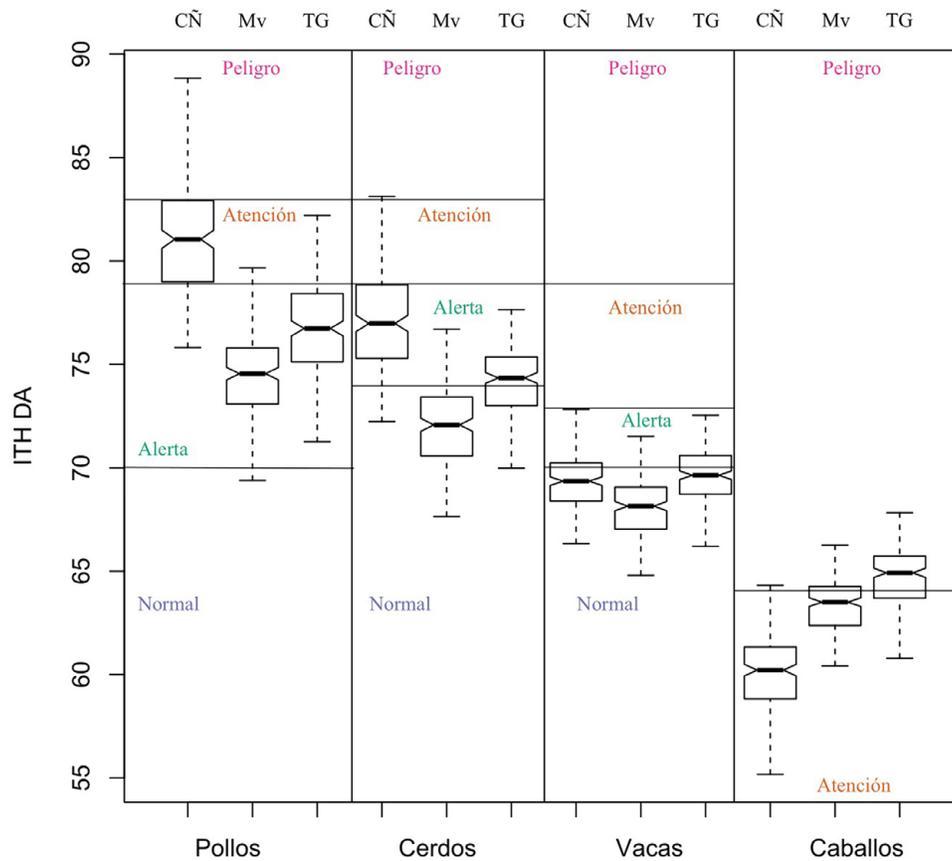


Fig. 3. Índice Temperatura - Humedad determinado para los pollos de engorde, porcinos, bovinos y equinos según H_{DA} .

Por otro lado, con respecto a la situación de atención y peligro, se presentan en promedio, durante el día y la noche, 98 y 54 meses, respectivamente, en Caño Indio, mientras que en Tierra Grata hay solo 37 y 2 en Miravalle, ambos de atención.

La guía de manejo de reproductoras de [22] establece rangos de temperaturas y humedades relativas óptimas para aves para la segunda fase de vida (de la cuarta a la séptima semana), entre 24 °C y 18 °C, y 50 % a 70 %, respectivamente. Es de resaltar que el confort higrotérmico de las aves es vital para evitar daños fisiológicos en el animal y reducción de los niveles de producción, producto de golpes de calor.

Por el contrario, en ambientes con temperaturas bajas, la ingesta de alimento aumenta, pero no se incrementa el peso corporal del animal, dado que este lo emplea en actividad metabólica para compensar la pérdida de calor; incluso los animales pueden ser más susceptibles de sufrir síndrome ascítico al comparar condiciones cálidas. Al tener en cuenta lo anterior, la temperatura de los 203 meses analizados fue mayor a 24 °C, y la humedad relativa superior a 60 % durante la noche, y solo en 86 meses en Caño Indio y se coincide con el análisis del ITH, al dejar en evidencia el efecto conjunto de la temperatura y la humedad en el índice de confort.

Respecto a los porcinos, en Miravalle se presentaron 173 y 151 meses de normalidad respecto $H_{r,DA}$ y $H_{r,ND}$, 92 y 188 en Tierra Grata, y 15 y 46 en Caño Indio. En cuanto a las condiciones de

alerta, Caño Indio presenta los mayores meses durante el día con 135, seguido de Tierra Grata con 96 y, finalmente, Miravalle con 30. La tendencia al considerar $H_{r,ND}$ se modifica, solo siendo mayor en Caño Indio (128), seguido de Miravalle (52) y ninguno en Tierra Grata. Las condiciones de atención prevalecen en Caño Indio (47 y 39 día y noche, respectivamente), y las de peligro durante el día en Tierra Grata, mientras que en la noche prevalece Caño Indio.

Por debajo 24 °C, el animal debe consumir más alimento y destinar los nutrientes y energía a funciones de mantenimiento, mientras que, si la temperatura es superior, el animal es menos activo, reduce su ingesta de alimento viéndose afectado así su peso corporal. Por otro lado, la humedad relativa óptima debe oscilar entre el 50 % y 70 % [23], parámetro que debe controlarse para evitar pérdidas excesivas de peso, contribuir al desarrollo de lechones, reducir enfermedades, entre otros. Al considerar esto y saber que en ninguna región se presenta una temperatura superior a 35 °C se supondría que los animales no se encontrarían en condiciones adversas. Junto con lo anterior, en Caño Indio, se encuentran 3 meses con menos del 50 % referente a $H_{r,DA}$, y los demás meses mayor al 70 % según $H_{r,DA}$. Asimismo, tanto Miravalle como Tierra Grata presentan 148 y 137 meses, respectivamente, con $H_{r,DA}$ mayor a 70 %, pero al observar $H_{r,ND}$ se presentan 203 meses en Miravalle y en Tierra Grata 170, aunque en ningún caso la humedad relativa es menor a 50 %; por lo que es posible determinar que existen condiciones de anormalidad o condiciones en las cuales los porcinos pueden presentar estrés térmico o alguna condición adversa. Al comparar esta información con el Índice de Temperatura Humedad, se observa una descripción inversa en el sentido que tanto en Tierra Grata como en Miravalle se encuentra, la mayoría del tiempo, una condición normal, esto se debe al efecto conjunto de la temperatura y la humedad relativa como mecanismo pasivo de transferencia de calor en la interacción animal-alrededores.

El análisis en cuanto a bovinos con respecto al índice de temperatura humedad, al tener en cuenta tanto a $H_{r,DA}$ como $H_{r,ND}$ en las tres ETCR, se encuentra en condiciones normales en la mayoría de los meses analizados, cuya única diferencia es que para $H_{r,ND}$ en Caño Indio se prestó una situación de atención durante 103 meses.

Por otra parte, la zona termo neutral para bovinos de engorde y doble propósito se encuentra entre 4 °C y 27 °C [24], [25]. En ese orden de ideas, respecto a la temperatura, se encontraron por encima de 27 °C, 118 y 15 meses en Caño Indio y Tierra Grata, respectivamente, y siempre se encontraron con humedad relativa mayor del 40 %. Con lo anterior, en Caño Indio y Tierra Grata, se encontraron situaciones de riesgo, situación que no se ve reflejada en el Índice de Temperatura Humedad, posiblemente por el efecto conjunto de la temperatura y humedad.

Finalmente, en lo que respecta a los equinos, para la condición de $H_{r,DA}$, 138 meses se presentaron en situación de peligro en Tierra Grata y 65 en atención, 135 y 199 meses en atención en Miravalle y Caño Indio, respectivamente, y 68 y 4 en peligro para las mismas dos regiones. La situación cambia para $H_{r,ND}$, donde únicamente 37 y 1 meses para Tierra Grata y Miravalle, respectivamente, se encontraron en situación de atención, y 166, 202 y 203 meses se presentaron peligro para Tierra Grata, Miravalle y Caño Indio, respectivamente, indicando esto que los equinos son muy sensibles a los cambios de humedad bruscos. La humedad relativa ideal para criar caballos se encuentra entre 40 % y 70 % [5], y la mayoría de los valores obtenidos mediante la plataforma está por encima de este valor, comprometiendo así la integridad, salud

y bienestar de los animales en esas condiciones. Los equinos pueden resistir una temperatura mínima de 5 °C y máxima de 35 °C [19], rango en el cual ningún caso se presenta riesgo dentro del análisis efectuado.

Al tener en cuenta que las tres zonas se encuentran en regiones cálidas y húmedas, con población de escasos recursos económicos, y deficiencia en el suministro de fluido eléctrico, se recomiendan estrategias pasivas de climatización con el fin de mejorar las condiciones bioclimáticas para los animales, e inclusive, para sus habitantes. Se pueden utilizar estrategias como: orientación oriente-occidente, polisombras como protecciones solares próximas a las aberturas de las instalaciones, utilizar materiales aislantes en las cubiertas, o cielos rasos con cámaras de aire; además, se pueden utilizar cubiertas con alturas superiores a tres metros, de colores claros y reflectivos en la parte superior, también paredes claras, con el fin de disminuir la carga radiante sobre las edificaciones. También es posible realizar ventilación híbrida (natural y mecánica) cuando las condiciones lo permitan [1].

Por último, se pueden realizar trabajos futuros con esta metodología al utilizar índices de confort que incluyan variables adicionales como temperatura de globo negro, con el fin de tener herramientas de decisión robustas basadas en las particularidades climáticas y regionales de las diferentes zonas del país.

4. CONCLUSIONES

A pesar de que la disponibilidad de información *in situ* (tomada con estaciones terrestres) pueda representar retrocesos para la toma de decisiones al no contar con datos históricos, existen alternativas que permiten sopesar estas dificultades. Una de ellas, es disponer de los datos que se encuentran alojados en los servidores del IDEAM y de los instrumentos de medición remota de NASA con los cuales es posible estimar los índices de confort para aves, porcinos, vacunos y equinos, de acuerdo con las ecuaciones estimadas y presentadas en este estudio.

La metodología expuesta tiene el potencial de poder aplicarse en otros lugares que presenten condiciones similares al facilitar la estimación de posibles riesgos a la salud animal y, con ello, tener herramientas para la toma de decisiones que puedan mejorar las condiciones de hábitat para los animales en aquellas regiones donde se carezca de información tomada en terreno.

De manera puntual, el ETCR que, a partir del análisis generado presenta mejores condiciones bioclimáticas de confort animal es Miravalle para porcinos y bovinos en la mayoría del tiempo; mientras que para estos animales en Caño Indio y Tierra Grata predominan condiciones de riesgo higrotérmicos. No obstante, esta información puede empeorar las condiciones de confort térmico de acuerdo con las tendencias de temperatura y humedad encontradas, por lo que se hace necesario continuar con el análisis, generar proyecciones y tomar decisiones entorno a mitigar los efectos que adversos que se puedan materializar.

5. ROLES DE LOS AUTORES

- Pablo Julián Ruíz Ramírez: Desarrollo metodológico de la investigación, recolección de datos, redacción inicial, diseño del trabajo
- Robinson Osorio Hernández: Propuesta de línea de investigación, revisión y corrección de redacción, interpretación de variables, ajuste de gráficas

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, por ser las personas quienes nos inspiran día a día a construir vida digna y apuestas de transformación rural.

A la Universidad Nacional de Colombia, al programa curricular de Ingeniería Agrícola y a la Maestría en Ingeniería – Ingeniería de Biosistemas, por brindar las herramientas necesarias para desarrollar esta investigación.

Al profesor Gabriel Tafur por su asesoría y opinión en el análisis de resultados.

REFERENCIAS

- [1] A. de Sousa Cardoso, “Avaliação de Materiais Alternativos como Coberturas em Instalações para Produção Animal Visando o Conforto Térmico”, Tesis de Maestría, Universidade Federal de Viçosa, 2010.
- [2] L. M. Navas y F. J. Baptista, *Auditorías Energéticas en Instalaciones Ganaderas Parte 1: Manual para la realización de auditorías energéticas en instalaciones ganaderas*, 1st ed. Madrid: IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2010.
- [3] J. P. Damián y R. Ungerfeld, “Indicadores de bienestar animal en especies productivas: una revisión crítica Farm animal welfare indicators: a critical review”, *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, vol. 21, pp. 103–113, 2013.
- [4] H. Quispe, I. Cayo-Colca y J. Saucedo, “Correlación entre indicadores conductuales de bienestar animal y propiedades fisicoquímicas de la carne bovina”, *Rev. Investig. Vet. del Perú*, vol. 30, no. 1, Mar. 2019, doi: 10.15381/rivep.v30i1.15674.
- [5] C. J. Sánchez y J. C. Álvarez, “Determinación de las Variables Fisiológicas en Potros de Raza Silla Argentina a una Altitud de 2804 m.s.n.m.”, Trabajo de grado, Universidad De La Salle, 2013.
- [6] B. Mazas Gil y R. Fernández Manzanal, “Desarrollo de una escala de actitudes hacia el bienestar animal para estudiantes de Educación Primaria”, *Rev. Complut. Educ.*, vol. 29, no. 4, pp. 1151–1168, 2017.
- [7] C. de F. Baêta y F. Souza, *Ambiência Em Edificações Rurais Conforto Animal*, 2nd ed. Viçosa: UFRV, 2010.
- [8] S. E. Curtis, *Environmental management in animal agriculture*. Iowa: Iowa State University Press, 1983.
- [9] ARN. “Espacios Territoriales de Capacitación y Reincorporación (ETCR)”. Reincorporación.gov.co. <https://www.reincorporacion.gov.co/es/reincorporacion/Paginas/Los-ETCR.aspx> (accesado en sept., 2020)

- [10] IDEAM - Instituto de Hidrología. “Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos”. IDEAM. go.co. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/> (accesado en oct., 2020)
- [11] NASA. “GES DISC - EARTHDATA”. Nasa.gov. <https://disc.gsfc.nasa.gov/> (Accesado em oct., 2020).
- [12] NASA. “AIRS3STM”. Nasa.gov. https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/AIRS3STM_V006/summary (accesado en nov., 2020).
- [13] Beaudoin, H. y M. Rodell, NASA/GSFC/HSL (2020), GLDAS Noah Land Surface Model L4 monthly 0.25 x 0.25 grados V2.1, Greenbelt, Maryland, USA, Goddard Earth Sciences Data y Information Services Center (GES DISC), doi:10.5067/SXAVCZFAQLNO. (accesado en sept., 2020).
- [14] Instituto Geográfico Agustín Codazzi. *Magna Sirgas Pro 4.2*. (2019). Accesado: Set 08, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://igac.gov.co/es/noticias/igac-presenta-la-nueva-version-magna-sirgas-pro-42>
- [15] E. C. Thom, “The Discomfort Index”, *Weatherwise*, vol. 12, no. 2, pp. 57–61, 1959, doi: 10.1080/00431672.1959.9926960.
- [16] Y. Oliveros, F. Requena, A. León, M. Ostos, R. Parra, J. Marquina y D. Bastianelli, “Aplicación del índice de confort térmico como estimador de periodos críticos en cría de pollos de engorde”, *Rev. Zootec. Trop.*, 2008.
- [17] R. Centurion et al., “Ambiente térmico y bienestar de los cerdos en el período de descanso previo al sacrificio”, *Arch. Zootec.*, vol. 63, pp. 239–249, 2014.
- [18] R. G. Da Silva, D. A. E. Morais y M. M. Guilhermino, “Evaluation of thermal stress indexes for dairy cows in tropical regions”, *Rev. Bras. Zootec.*, vol. 36, no. 4, pp. 1192–1198, Jul. 2007, doi: 10.1590/s1516-35982007000500028.
- [19] D. R. Hodgson, R. E. Davis y F. F. McConaghy, “Thermoregulation in the horse in response to exercise”, *Br. Vet. J.*, vol. 150, no. 3, pp. 219–235, May 1994, doi: 10.1016/S0007-1935(05)80003-X.
- [20] A. Parra y E. Hernández, *Psicrometría Aplicada*, 2da ed. Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia, 2007.
- [21] S. Erhardt, P. Hochreuther, M. Schütz, M. Berger y Martin, “open topomap”. Opentopomap.org. <https://opentopomap.org/about>. (Accesado en nov., 2020)
- [22] Cobb, *Guía de Manejo Reproductoras Cobb*. Accesado: mar. 29, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.cobb-vantress.com/assets/Cobb-Files/cff8d901a4/Cobb-Breeder-Guide-Spanish.pdf>
- [23] A. Osorio Saraz, V. Cadavid, P. Ferraz, G. Ferraz y F. Damasceno, “Thermal comfort assessment in a typological non-isolated maternity pig sheds with different types of farrowing systems”, *Agron. Res.*, vol. 19, pp. 1087-1098, 2021, doi: 10.15159/AR.21.089.
- [24] A. Góngora y A. Hernández, “La Reproducción De La Vaca Se Afecta Por Las Altas Temperaturas Ambientales”, *U.D.C.A.*, vol. 13, no. 2, pp. 141-151, 2010.
- [25] S. Sugiono, H. Dewi y S. Rudy, “Measuring Thermal Stress of Dairy Cattle Based on Temperature Humidity Index (THI) in Tropical Climate”, *MATEC Web of Conferences*, vol. 68, p. 06004, ago. 2016, doi: 10.1051/MATECCONF/20166806004. (Accesado en noviembre, 2020)[18] R. G.