

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA  
FACULTAD DE VETERINARIA**

**EVALUACIÓN DEL USO DE SENSORES SUBCUTÁNEOS PARA DETERMINAR  
LAS VARIACIONES DE TEMPERATURA CORPORAL DE LOS BOVINOS**

**“por”**

**Florencia OLIVERA ATENSSIA  
Lucía LEZCANO BOLLINI**

**TESIS DE GRADO presentada como uno  
de los requisitos para obtener el título de  
Doctor en Ciencias Veterinarias**

**Orientación: Producción Animal**

**MODALIDAD: Ensayo experimental**

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2019**

## PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis aprobada por:

Presidente: \_\_\_\_\_

Dr. Fernando Fumagalli

Segundo miembro: \_\_\_\_\_

Dr. Martín Breijo

Tercer miembro: \_\_\_\_\_

Dr. Juan Pablo Damián

Fecha de aprobación 20 de diciembre de 2019

Autores: \_\_\_\_\_

Lucía Lezcano

\_\_\_\_\_  
Florencia Olivera

:

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar queremos agradecer a nuestro tutor Martin Breijo y a nuestras co-tutoras Gimena Brito y Lourdes Adrien por estar a nuestra disposición y poder realizar este trabajo. A INIA- Treinta y Tres donde realizamos nuestra práctica y a todo el personal por la ayuda.

Queremos agradecer a nuestra familia y amigos por el apoyo y estar siempre.

A nuestra querida casa, La Facultad de Veterinaria y a la biblioteca sobre todo a sección referencia.

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| PÁGINA DE APROBACIÓN.....  | 2  |
| AGRADECIMIENTOS.....   | 3  |
| LISTA DE FIGURAS.....  | 5  |
| RESUMEN.....   | 6  |
| SUMMARY.....   | 7  |
| 1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....   | 8  |
| 2 HIPOTESIS.....   | 13 |
| 3 OBJETIVOS.....   | 13 |
| 3.1 Objetivo general.....  | 13 |
| 3.2 Objetivos específicos.....   | 13 |
| 4 MATERIALES Y MÉTODOS.....  | 14 |
| 4.1 Dispositivo de registro de temperatura.....  | 14 |
| 4.2 Trabajo experimental.....  | 14 |
| 4.3 Implante de sensores subcutáneos.....  | 14 |
| 4.4 Experimento 1. Registro de la temperatura superficial a lo largo del día en verano.....  | 15 |
| 4.5 Experimento 2. Registro de la temperatura superficial a lo largo del día en invierno.....  | 15 |
| 4.6 Experimento 3. Estudio de la relación de la temperatura superficial, rectal y variables ambientales (temperatura ambiente y humedad relativa)  | 16 |
| 4.7 Análisis estadístico.....  | 16 |
| 5 RESULTADOS.....  | 17 |
| 5.1 Colocación de sensores subcutáneos.....  | 17 |
| 5.2 Experimento 1. Registro de la temperatura superficial a lo largo del día en verano.....  | 18 |
| 5.3 Experimento 2. Registro de la temperatura superficial a lo largo del día en invierno.....  | 19 |
| 5.4 Experimento 3. Estudio de la relación de la temperatura superficial, rectal y variables ambientales (temperatura ambiente y humedad relativa). | 21 |
| 6 DISCUSIÓN.....   | 25 |
| 7 CONCLUSIONES.....  | 28 |
| 8 BIBLIOGRAFÍA.....  | 29 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Balance térmico en el ganado bovino de carne.....  | 10 |
| Figura 2. Sensores iButton DS1921H y dispositivo de descarga de información.....   | 14 |
| Figura 3. Evolución a lo largo del día de la temperatura ambiente (A), la temperatura superficial de los bovinos (B) y humedad relativa (C) en verano.....   | 18 |
| Figura 4. Evolución a lo largo del día de la temperatura ambiente, la temperatura superficial de los bovinos y la humedad en invierno (EXP2).....  | 20 |
| Figura 5. Variaciones de la temperatura ambiental, superficial y rectal a distintas horas del día. A. registro de la temperatura ambiental, B registro de temperatura superficial medida con sensores subcutáneos C..... | 22 |
| Figura 6. Correlaciones entre temperatura ambiente, rectal y superficial en los bovinos.....   | 23 |
| Figura 7. Correlaciones de la temperatura superficial y rectal en relación con la humedad ambiente.....  | 24 |

## **RESUMEN**

La temperatura corporal y sus fluctuaciones pueden ser utilizadas como indicadores de bienestar y de salud de los animales. En la práctica veterinaria, usualmente se registra a través de la colocación de termómetros a nivel rectal, pero este procedimiento requiere la sujeción del animal y no permite realizar un monitoreo continuo de la misma. En el presente estudio se evaluó la colocación de dispositivos que registran la temperatura (iButton DS1921H, Maxim Integrated™, Texas, USA) en el subcutáneo de bovinos, como herramienta alternativa para el registro de temperatura corporal. Para ello se utilizaron novillos de biotipo carnívoros, de manto negro (Angus y cruces), entre 12-18 meses de edad a los cuales se les implantaron los dispositivos subcutáneos. Los mismos fueron mantenidos a pastoreo, en predios que contaron con estaciones meteorológicas que registraron la temperatura ambiente y la humedad. En verano e invierno se evaluó la evolución de la temperatura subcutánea y se la relacionó con registros de la temperatura rectal y con variables medioambientales (temperatura y humedad).

En líneas generales, la temperatura superficial (TS) estudiada en diferentes momentos del año, se mantuvo dentro de los rangos esperables de temperatura corporal para los bovinos. En verano osciló entre los 37,8°C y 39,8°C y en invierno entre los 36,0°C y 38,5°C.

Las variaciones de temperatura ambiente correlacionaron positivamente tanto con la temperatura subcutánea ( $r^2=0,29$ ,  $p<0.001$ ), como con la temperatura rectal ( $r^2=0,17$ ,  $p<0.001$ ), demostrando que si bien ambas temperaturas son afectadas por la temperatura ambiente, la temperatura subcutánea es afectada en mayor medida. En el presente trabajo, no se observaron efectos de las variaciones de la humedad ambiente sobre la temperatura corporal en los bovinos.

En suma, el implante de los dispositivos subcutáneos permitió el registro continuo de la temperatura subcutánea en bovinos y demostró que si bien la temperatura superficial es más sensible a las variaciones de temperatura ambiental que la temperatura rectal, su medición puede ser una herramienta útil para el monitoreo continuo de la temperatura corporal de bovinos.

## SUMMARY

Body temperature and its fluctuations can be used as indicators of animal welfare and health. In veterinary practice, it is usually recorded through thermometers placed at the rectum, but this procedure requires restraining the animal and it does not allow the continuous monitoring of this parameter. In the present study, the use of subcutaneous devices for temperature recording in cattle was evaluated as an alternative tool for recording body temperature.

For this, subcutaneous devices were implanted in black beef steers, (Angus and their crosses), 12-18 months old. They were maintained grazing in a paddock, having weather stations for recording environmental parameters. The evolution of subcutaneous temperature was evaluated under different weather conditions and was related with the rectal temperature and environmental temperature and humidity. In this study, the subcutaneous temperature recorded at different times of the year, remained within the expected ranges for cattle body temperature. In summer it was ranged between 37.8 °C and 39.8 °C and in winter was between 36.0 °C and 38.5 °C.

Subcutaneous and rectal temperature correlated positively with the variations in the environmental temperature ( $r^2 = 0.29$ ,  $p < 0.05$  and  $r^2 = 0.17$ ,  $p < 0.05$ , respectively), the subcutaneous temperature being affected in to a greater extent. In the present work, the environmental humidity does not affect the body temperature in cattle.

In sum, the implantation of the subcutaneous devices allowed the continuous recording of the subcutaneous temperature in cattle and showed that although the subcutaneous temperature is more sensitive to the environmental variations, its measurement can be a useful tool for continuous monitoring of cattle temperature.

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La vida depende en gran medida de su capacidad de adaptación a las diferentes condiciones medioambientales de nuestro planeta y por ello muchas especies han desarrollado sistemas de adaptación térmica para sobrevivir a estas condiciones. Más allá de los motivos de pura supervivencia, la temperatura condiciona la actividad bioquímica en el cuerpo de los animales reduciendo o incrementando indirectamente su actividad metabólica. Por lo tanto, mantener la misma dentro de ciertos límites de oscilación que permita a las especies desarrollar su máximo potencial metabólico es una ventaja evolutiva para algunas especies.

Podemos clasificar a los vertebrados en dos grandes grupos en función de la relación que establecen entre la temperatura corporal y la temperatura ambiental. Los animales poiquiloterms o de sangre fría (peces, anfibios y reptiles) se caracterizan por tener una menor termogénesis, ser organismos bradimetabólicos en los que su temperatura corporal fluctúa con la del medio ambiente. Los homeoterms o de sangre caliente tienen la capacidad de controlar, dentro de un estrecho margen, su temperatura corporal independientemente a la temperatura ambiente, por lo cual necesitan generar calor a través de una intensa actividad taquimetabólica así como contar con mecanismos adicionales de enfriamiento.

La principal fuente de producción de calor de los animales homeoterms es por la actividad metabólica de órganos tales como, cerebro, corazón, hígado y riñones (responsables de aproximadamente del 60% del calor corporal). Por otro lado, la principal vía de eliminación de calor es a través de regiones del cuerpo muy vascularizadas y desprovista de pelos, las cuales funcionan como "ventanas térmicas". Las orejas, las patas y la nariz en mamíferos, así como la piel facial en las aves son ejemplos de regiones donde se pierde calor (Pérez, 2013).

El sistema nervioso autónomo está encargado del control de la temperatura corporal y lo hace a través de tres componentes: vías aferentes termoceptivas, centros de integración central y vías eferentes termoelectoras (Kurz, 2008). La primera fase es percibida por termorreceptores, que se localizan en las diferentes capas dérmicas, en órganos nobles (riñones, hígado, pulmones, medula espinal) y en los plexos arteriovenosos (Kobayashi, 2015).

Estos captan señales físicas (temperatura) y químicas (pirógenos, criógenos) y envían aferencias a las áreas sensoriales cortical y al hipotálamo (Navarro, 2002). Integran los sistemas de control centrales de la temperatura, la región preóptica del hipotálamo anterior sensible a señales de calor (la más importante), la región hipotálmica posterior: sensible a señales de frío, el sistema límbico, la sustancia reticular del tronco, los ganglios del sistema nervioso autónomo. Estos actúan en forma integrada y ofician de termostato. Si existen diferencias entre la temperatura real (obtenida por mediciones de receptores periféricos) y la temperatura teóricamente correcta (termostato), se activan mecanismos efectores para modificar la temperatura real y hacerla coincidir con la teórica (Navarro, 2002).



Frente a una disminución de la temperatura corporal, se activan mecanismos de termogénesis asociados al a) aumento de la tasa metabólica basal (por inducción de la secreción de tiroxina y cortisol) provocando incrementos en el consumo de oxígeno y glucosa y en consecuencia liberación de calor por estas reacciones químicas; b) liberación de calor por contracciones rítmicas involuntarias del músculo esquelético (tiritar); c) aumento de la lipólisis de tejido graso, d) cambios comportamentales en busca de refugios, fuentes de calor e incremento del consumo de alimento (Sanmiguel y Díaz, 2011).

Por otra parte, el aumento de la temperatura corporal desencadena mecanismos de regulación con el objetivo de disipar calor ya sea por radiación, conducción, convección y/o evaporación (Figura 1). La vasodilatación cutánea y el aumento de la frecuencia cardíaca aumentan el flujo sanguíneo en la dermis, lo que permite eliminar calor hacia el medio externo por mecanismos de convección, conducción y radiación. El aumento de la sudoración permite la pérdida de calor por evaporación de la película de sudor y el aumento de la frecuencia respiratoria aumenta la evaporación de agua que humedece la vía respiratoria. Los cambios comportamentales se vinculan con la búsqueda de lugares frescos, aumenta el consumo de agua, baja el consumo de alimento (Sanmiguel y Díaz, 2011).

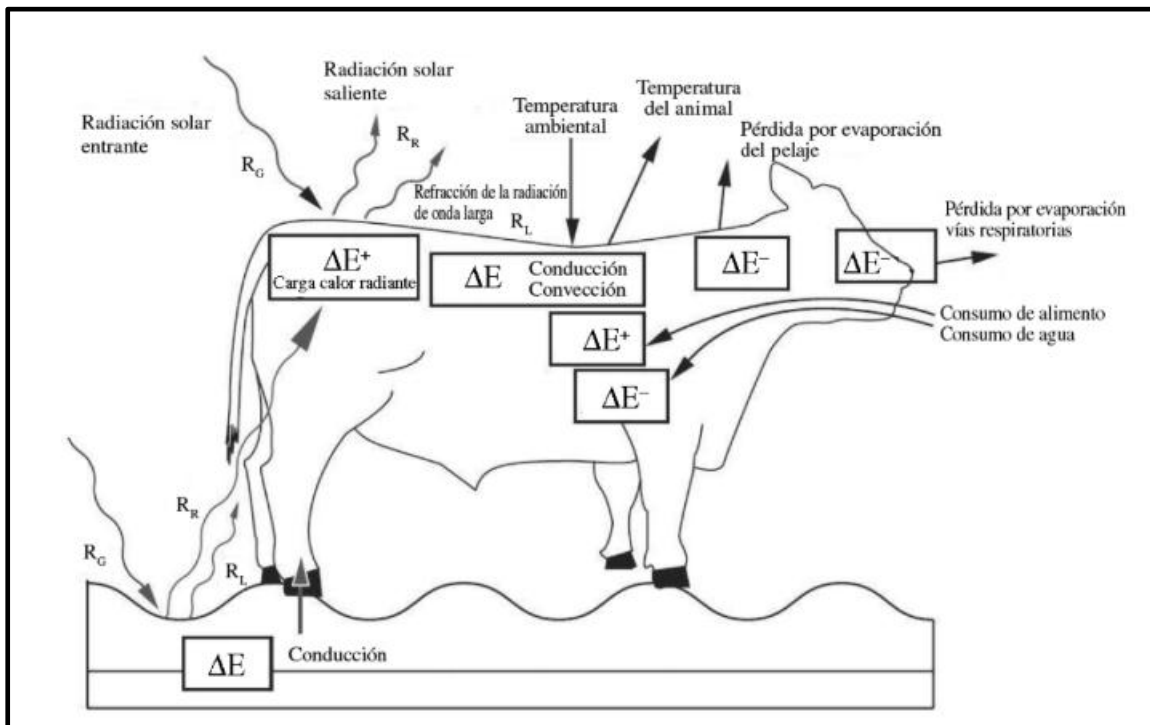


Figura 1: Balance térmico en el ganado bovino de carne (extraído de Sanmiguel y Díaz, 2011). Modelo de disipación del calor donde R es la energía asociada con la radiación, E es el calor incluido en E+ (calor que recibe del medio) y E- (calor que disipa).

La temperatura corporal normal del bovino oscila entre 37,8 y 40,0 °C (Arias y col., 2008), sin embargo, existen diversos factores capaces de modificar la temperatura corporal del bovino. La edad, la actividad física, la alimentación, la condición corporal así como el celo pueden incrementar la temperatura corporal, mientras que la desnutrición y la ingestión de grandes cantidades de agua pueden disminuirla (Bianca, 1968; Hahn y col., 1993; Mader y col., 2001; Brown-Brandl y col., 2006).

En sistemas intensivos de producción, los bovinos son mantenidos con dietas con alta densidad energética (granos) que incrementan la producción de calor, por lo cual en los meses cálidos tienen mayores dificultades para regular su temperatura corporal. Dietas en base a concentrados han demostrado aumentar la temperatura rectal y la tasa de respiración en bovinos (Arias y col., 2008). Se ha reportado que las altas temperaturas corporales decrecen la actividad de la glándula tiroides, afectando la motilidad y la tasa de pasaje de los alimentos (National Research Council, 1981). Por otra parte, se ha descrito que en condiciones de estrés calórico, se presenta una notoria depresión en la fertilidad de las vacas (Mansilla, 1996).

El color de la piel y del pelaje se considera un mecanismo importante de adaptación a temperaturas ambientales. Se ha descrito que coberturas claras pueden disminuir la ganancia de calor, mientras que mantos oscuros disminuyen la pérdida en varias

especies de mamíferos (Caro, 2009, Kadzere y col., 2002). En bovinos, el color del manto también influye sobre la fertilidad del ganado lechero sometido a los efectos del estrés calórico (Bertipaglia y col., 2006)

El movimiento de los animales también influye en el incremento de la temperatura corporal. En función de la época del año, de la temperatura ambiente, de la hora del día, de la distancia de traslado y del acceso al agua, la temperatura corporal en bovinos se puede incrementar entre 0,5 y 3,5 °C (Arias y col., 2008).

Las condiciones ambientales van a determinar la eficiencia de los mecanismos de termorregulación, por lo que la temperatura, la humedad relativa y velocidad del viento pueden generar estrés térmico en los animales (Suárez y col., 2012). Está bien descrito que el estrés térmico en bovinos, afecta el comportamiento fisiológico y el metabolismo general de manera inmediata (Araúz, 2017; Cassandra y col., 2008). Se afectan las funciones de reproducción gestación (Jordan, 2003), actividad de pastoreo, consumo de forraje, consumo de agua (National Research Council, 2001), la producción de leche (West, 2003).

La monitorización de la temperatura corporal y sus fluctuaciones son indicadores claves del bienestar y la salud de los animales. Esta herramienta puede ser utilizada para evaluar el estrés térmico (Laburn y col., 2002; Renaudeau y col., 2008; Green y col., 2009), para seleccionar animales más tolerantes a las condiciones ambientales (Dikmen y col., 2009) o determinar el momento del estro o del parto. Por otra parte es una herramienta muy importante para la detección temprana de fiebre por enfermedades.

El registro de temperatura corporal se puede realizar a tres niveles:

**a. Temperatura del núcleo del cuerpo:** se asume que revela la temperatura interna del mismo, muy cerca a los órganos principales, el corazón, el cerebro y las vísceras. Clásicamente, se asume que esta medida es evaluada por sensores de tacto rectal, vaginal, timpánico, vascular, intra-peritoneal o digestivo.

**b. Temperatura media periférica:** se asume que es una posición intermedia entre el núcleo del cuerpo y sitios periféricos o superficiales. Mediciones realizadas con microchips implantados intramuscularmente, o a una profundidad de más de dos centímetros de la piel.

**c. Temperatura periférica o superficial:** mediciones obtenidas de la piel del animal, pelaje, ojos, ubre, piernas, orejas, y los realizados por microchips implantados a una profundidad de menos de dos centímetros de la piel.

Existe una amplia variedad de métodos para la monitorización de la temperatura corporal, dentro de los cuales el más comúnmente utilizado es la termometría rectal con termómetro de mercurio o digital. La termometría rectal es de muy bajo costo, pero requiere que el animal sea conducido a una instalación adecuada y sea restringido por el tiempo necesario para la determinación de la temperatura corporal. La actividad muscular generada por el traslado y el estrés producto de la maniobra puede generar hipertermia en los animales reduciendo así la precisión de la

determinación (Torrao y col., 2011). Por otro lado la medición requiere la presencia de personal para el manejo de los animales y no puede realizarse en forma continua a lo largo del día.

Por tal razón, se han desarrollado una gran variedad de dispositivos alternativos que permitan reducir las desventajas de la termometría rectal. Son ejemplo de ello, el termómetro infrarrojo ambiental sin contacto, bolos reticulares inalámbricos, sensor de temperatura del canal auditivo, termómetro timpánico infrarrojo (Prendiville y col., 2002). A su vez existen también registradores de datos o transmisores que se pueden adjuntar a la piel del animal o ser implantados en el subcutáneo (Agarwal y col., 2016). Estos permiten el almacenamiento de datos de temperatura, en un tiempo determinado y dentro de un intervalo definido por el usuario. Por lo general, este tipo de dispositivo contiene un termistor, un reloj en tiempo real y una memoria interna. Después de un cierto período de tiempo los datos del dispositivo se descargan (McCafferty y col., 2015).

Con el desarrollo de la investigación agronómica y veterinaria, aparece la necesidad de métodos más sensibles, continuos y conectados a funciones fisiológicas específicas. En este sentido, los recursos de medición de temperatura a distancia (Telemetría) tienen como beneficio reducir el estrés y así la alteración fisiológica de animales a la hora del registro, eliminando la influencia del procedimiento de medición y mejorando la calidad de los datos.

En el presente trabajo se buscará validar el uso de sensores subcutáneos para el registro de temperatura superficial en bovinos y determinar las variaciones en el registro de temperatura en función de las condiciones ambientales en las que se mantienen los bovinos. Por otra parte, estudiaremos la relación entre la temperatura superficial (sensores subcutáneos) y la central medida a través del registro de la temperatura rectal.

## **2. HIPÓTESIS**

El implante de sensores subcutáneos nos permite determinar la temperatura superficial en bovinos de carne. La temperatura superficial en bovinos está relacionada con las variaciones en la temperatura central y está afectada por las condiciones ambientales en las cuales se encuentran los animales.

## **3. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar y validar una metodología alternativa para la determinación continua de la temperatura corporal en bovinos

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Determinar si los dispositivos TS– grabación automática (iButtonR127, Maxim Integrated™, Texas, USA) utilizados para registro de temperatura en ambientes, pueden ser utilizados como dispositivos implantables para registrar la temperatura superficial.
- b) Determinar la relación entre la temperatura subcutánea y la temperatura rectal de bovinos.
- c) Analizar las relaciones entre las variables ambientales (temperatura ambiente y humedad relativa) y la temperatura corporal de los bovinos (superficial y rectal).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Dispositivos de registro de temperatura:

Los dispositivos para el registro de temperatura superficial utilizados en el presente trabajo fueron iButton DS1921H (Maxim Integrated™, Texas, USA). Estos son utilizados para registros de cadenas de frío, monitoreo de procesos y/o medioambiente, industria farmacéutica e investigación. Son dispositivos programables que se pueden reprogramar y reutilizar nuevamente. Pueden registrar hasta 2048 valores de temperatura, en intervalos equidistantes que pueden ir a 1 a 255 minutos. El rango de temperatura de los dispositivos utilizados en el ensayo fue de 15 a 46°C.



Figura 2. Sensores iButton DS1921H y dispositivo de descarga de información.

### 4.2. Trabajo experimental

Todas las actividades con animales se realizaron en la Unidad Experimental Palo a Pique perteneciente a INIA Treinta y Tres, Uruguay (33° 16' S, 541 29' O). Los procedimientos fueron aprobados por la Comisión de Ética en el Uso de Animales de INIA (nº expediente: INIA 2014.30).

#### 4.2.1 Implante de los sensores subcutáneos

El implante de los dispositivos de TS-grabación automática (iButtonR127, Maxim Integrated) se realizó en el subcutáneo en la región de la parrilla costal a 20 cm de la línea dorsal entre las costilla. Previo a cirugía los sensores fueron desinfectados con

alcohol 70%. Se realizó una tricotomía quirúrgica y embrocado, para realizar una anestesia infiltrativa en L invertida con lidocaína al 2%(RIPOLL), una incisión de 3 cm de largo y la colocación subcutánea del dispositivo. La sutura de piel se realizó con puntos simples y con material absorbible (Vicryl nº 2). Se realizó antibioticoterapia preventiva con Oxitetraciclina L.A. (Bayer, Alemania) a una dosis única de 20 mg/Kg intramuscular. Una vez culminado el tiempo estimado de registro de temperatura, se procedió al retiro de los dispositivos repitiendo los procedimientos de anestesia, de la cirugía y el tratamiento post quirúrgico descrito anteriormente.

La información de los sensores se descargó a través del software Maxime Integrated™ obteniendo los datos en una hoja del cálculo que se utilizó para el posterior análisis.

#### **4.2.3 Experimento 1: Registro de la temperatura superficial a lo largo del día en verano.**

En el presente trabajo se implantaron dispositivos de grabación de temperatura en tres novillos cruza, de biotipo carnívoros, capa negra, de 15 meses de edad, con un peso promedio de  $259,2 \pm 33$  Kg. Los animales fueron mantenidos con agua y comida *ad libitum*, en un área de 14,4 ha de pradera cultivada con Festuca variedad Fortuna, sin presencia de sombra.

Los dispositivos se implantaron en el mes de febrero y los registros se realizaron por el término de 42 días. Los sensores se programaron para el registro de la temperatura corporal cada 60 minutos.

Paralelamente, a través de estaciones meteorológicas automáticas (del HOBO Pro Modelo Serie) colocadas en el mismo predio de los animales, se registró la temperatura ambiente (C°) y la humedad relativa (%).

La evolución de la temperatura subcutánea en el presente trabajo, se analizó a partir del 7 día de registro, con el fin de evitar posibles alteraciones asociadas a las reacciones inflamatorias locales post implante. De los datos obtenidos, se analizaron los registros obtenidos entre los días 7 y 21.

#### **4.2.4 Experimento 2: Registro de la temperatura superficial a lo largo del día en invierno.**

Para el presente experimento se seleccionaron 5 novillos cruza, de biotipo carnívoros, capa negra, de 15 meses de edad, con un peso promedio de  $276,6 \pm 33$  Kg que fueron mantenidos en un área con similares condiciones nutricionales y ambientales a las descritas en el experimento 1. En esta oportunidad los dispositivos se implantaron en el mes de julio manteniéndolos por el término de 75 días. Los sensores se programaron para el registro de la temperatura corporal cada 60 minutos. El registro de la temperatura ambiente (C°) y la humedad relativa (%) se realizó a través de estaciones meteorológicas automáticas (del HOBO Pro Modelo Serie). Al igual que en el experimento anterior, una vez culminado el experimento, para el análisis de la evolución de la temperatura subcutánea, se descartaron los registros de los primeros 7 días de implante y los datos obtenidos que se analizaron fueron los registros obtenidos entre los días 7 y 21.

#### **4.2.5 Experimento 3: Estudio de la relación de la temperatura superficial, rectal y variables ambientales (temperatura ambiente y humedad relativa).**

Para el desarrollo de este experimento, a partir de los 5 bovinos implantados en el experimento 2 en tres fechas independientes del período de estudio (días 33, 43 y 54 post implante) se registró la temperatura rectal cada dos horas, entre las 8 y las 18 h utilizando de un termómetro digital.

Para el análisis del comportamiento de las variables se utilizaron los datos de los registros de temperatura superficial y los registros de la estación meteorológica para esas fechas.

#### **4.3 Análisis estadístico**

Las variaciones de la temperatura ambiental, subcutánea y rectal a lo largo del día se analizaron utilizando el programa PROC MIXED (SAS 9.0) tomando como efectos fijos hora de observación y día. Las correlaciones entre variables se determinaron a través del coeficiente de correlación de Pearson utilizando el programa PRISM 8.2.



## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Colocación de sensores subcutáneos**

La colocación de los sensores no ocasionó efectos adversos en los animales. No se observaron reacciones inflamatorias o contaminaciones bacterianas secundarias al implante.

### **5.2 Experimento 1: Registro de la temperatura superficial a lo largo del día en verano.**

#### **5.2.1 Temperatura y humedad ambiente**

En el período estudiado (entre el 27 de febrero y al 13 de marzo de 2015), el registro de las estaciones meteorológicas señaló que las temperaturas medias fueron de 19,23 °C. La temperatura ambiente varió a lo largo del día, los registros más bajos se observaron entre las 2 y 8 horas (oscilando entre los 14,4±0,24°C y 15,2±0,24°C) y los máximos se alcanzaron entre las 14 y 16 hs (oscilando entre 24,8±0,24°C y 25,1±0,24°C) (Figura 3 A). Por otra parte, la humedad relativa alcanzó su máxima expresión entre las 2 y las 8 hs (registrando niveles entre 92.7±0,86% y 94.0±0.86%, mientras que la menor concentración de humedad se alcanzó entre las 14 y 16 hs con una media de 52.8±0,86%) (Figura 3 C).

#### **5.2.2 Temperatura superficial en los bovinos**

En bovinos, la temperatura superficial registrada por los sensores subcutáneos alcanzó una media de 38,5°C. La temperatura superficial varió a lo largo del día, a misma oscilo entre los 37.8±0,13°C y 39.8±0,13°C, registrando sus mínimos entre las 2 y 6 hs (oscilando 37,5±0,13°C y 37,8±0,13°C) y su pico máximo entre las 12 y 16 hs (registrado entre 39,5±0,13°C y 39,8±0,13°C). (Figura 3 B).

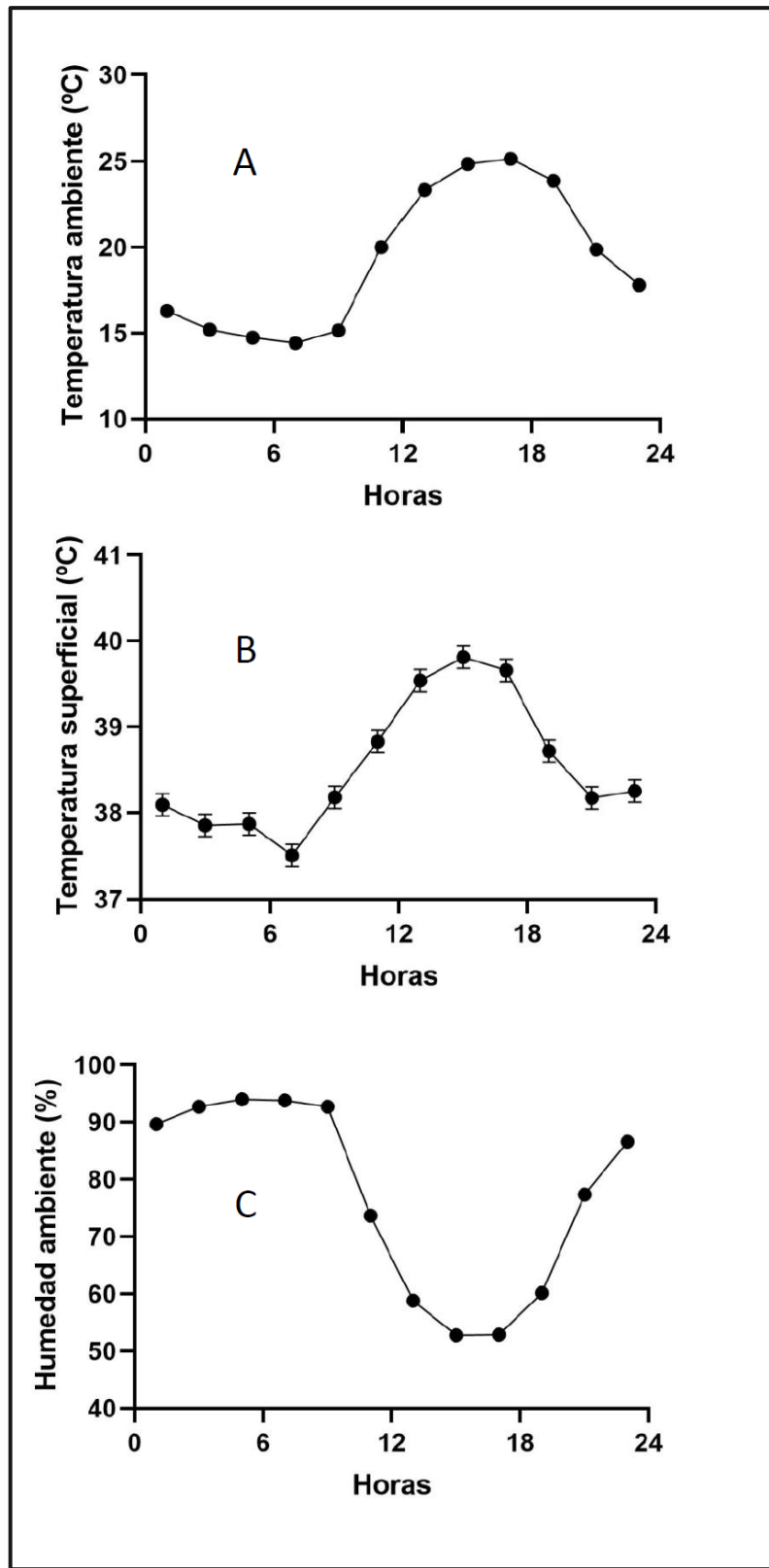


Figura 3: Evolución de la temperatura ambiente a lo largo del día (A), la temperatura superficial de los bovinos (°C) (B) y humedad relativa (%) (C) en verano. (Entre el 27 de febrero y al 13 de marzo de 2015)

### **5.3 Experimento 2: Registro de la temperatura superficial a lo largo del día en invierno.**

#### **5.3.1 Temperatura y humedad ambiente**

En este período la temperatura media fue de  $11,3^{\circ}\text{C}$ . Los registros mínimos de temperatura se observaron entre las 6 y 8 hs en un rango entre los  $6,6\pm 0,21^{\circ}\text{C}$  y  $7,2\pm 0,21^{\circ}\text{C}$  y las temperaturas máximas se alcanzaron entre las 14 y 17 hs en un rango de  $17,2\pm 0,21^{\circ}\text{C}$  y  $17,8\pm 0,21^{\circ}\text{C}$  (Figura 4A). Cuando analizamos los niveles de humedad relativa en la estación fría se observó un pico de humedad ambiente a las 9 hs de  $57,4\pm 0,77\%$  y las mínimas se registraron entre las 14 y 16 hs, en un rango de  $28,6\pm 0,77\%$  a  $29,9\pm 0,77\%$ . (Figura 4C).

#### **5.3.2 Temperatura superficial del bovino**

La temperatura registrada con los sensores subcutáneos presento una media de  $37,4^{\circ}\text{C}$ . Esta varió a lo largo del día aunque se mantuvo en un rango entre  $36,0\pm 0,13^{\circ}\text{C}$  y  $38,5\pm 0,13^{\circ}\text{C}$ . Presentando registros mínimos entre las 6 y 9hs en un rango de  $35,7\pm 0,13^{\circ}\text{C}$  y  $36,0\pm 0,13^{\circ}\text{C}$  y los registros máximos entre las 13y 14hs con temperaturas que oscilaron entre  $38,0\pm 0,13^{\circ}\text{C}$  y  $38,5\pm 0,13^{\circ}\text{C}$ . (Figura 4 B)

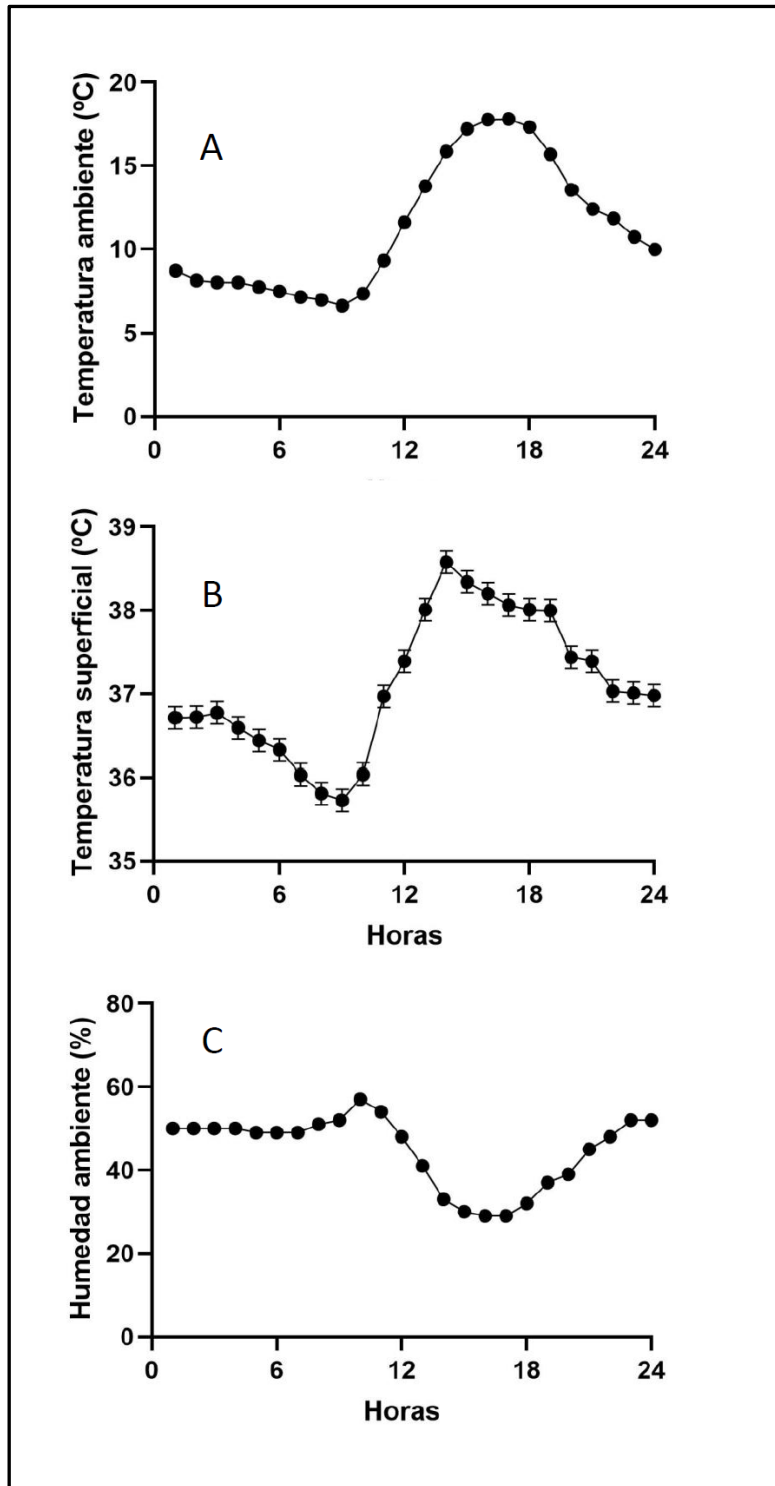


Figura 4: Evolución de la temperatura ambiente a lo largo del día (A), la temperatura superficial de los bovinos (°C) (B) y la humedad (%) (C) en invierno.

## **5.4 Experimento 3: Estudio de la relación de la temperatura subcutánea, rectal y variables ambientales (temperatura ambiente y humedad relativa).**

### **5.4.1 Temperatura ambiente y humedad relativa**

La temperatura ambiente en este ensayo alcanzó una media de 16.6°C. Registramos que las temperaturas mínimas oscilaron entre los 12,1±0,76°C a 13,3±0,76°C entre las 21 y 23 horas. Las temperaturas ambientales máximas se registraron entre las 10 y las 13 horas en un rango entre los 18.7±0,76°C y 21,1±0,76°C (Figura 5A). Por otra parte la humedad relativa presenta un pico máximo de humedad a las 16 horas de 36,1±0,90% y su mínima entre la 1 a 9 horas de con un rango de 26,9±0,90% y 27,5±0,90%.

### **5.4.2 Temperatura superficial y rectal de los bovinos**

La temperatura registrada por los sensores subcutáneos alcanzó una media de 36,4°C, esta osciló entre 33,9±0,45°C y 39,0±0,44°C a lo largo del día. La misma presentó mínimas que se registraron entre las 19 y 23 horas situándose en un rango entre 33,9±0,45°C y 34,9±0,44°C. Por otra parte, los registros máximos se observaron entre las 10 y 16hs situándose en un rango de 37,8±0,45°C y 39,0±0,44°C. (Figura 5B)

La temperatura rectal evaluada mediante termómetro digital tuvo una media de 38.8 °C. Presentó un pico máximo a las 12 hs de 39,1°C mientras que los demás valores no variaron significativamente (Figura 5 C).

Por otra parte, existió una correlación positiva entre la temperatura ambiente y subcutánea de grado regular en la escala de Pearson ( $r$  de Pearson = 0,54), con un coeficiente de determinación ( $r^2$ ) de 0,29 ( $p < 0,0001$ ) (Figura 6 A). La temperatura rectal también registró una correlación positiva con la temperatura ambiental, sin embargo esta muestra un menor impacto en relación al observado con la temperatura superficial, con un  $r$  de Pearson = 0,41 y un  $r^2$  de 0,17 ( $p < 0,0001$ ). Estos resultados están con concordancia con el hecho que existe una correlación positiva entre la temperatura rectal y superficial ( $p < 0,01$ ) que en la escala de Pearson es un  $r$  de 0,268 con un  $r^2$  de 0,07 (Figura 6 C). En el presente ensayo no se encontraron correlaciones significativas entre la humedad relativa y la temperatura rectal y superficial ( $p > 0,05$ ) (Figura 7).

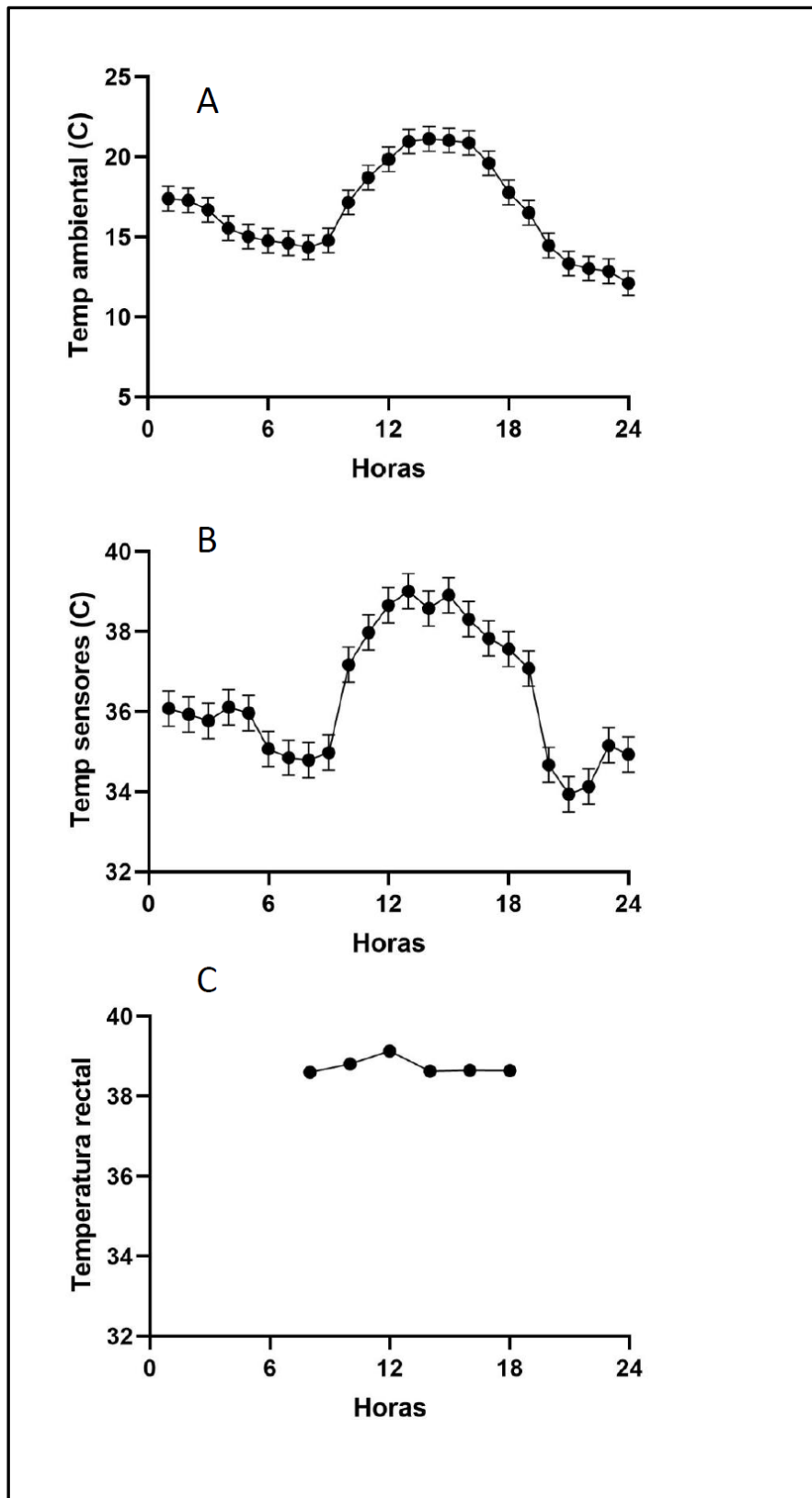


Figura 5. Variaciones de la temperatura ambiental, superficial y rectal a distintas horas del día. A: registro de la temperatura ambiental (°C). B: registro de temperatura superficial medida con sensores subcutáneos (°C). C: Temperatura rectal (°C) registrada con termómetro rectal entre las 8 y las 18 horas.

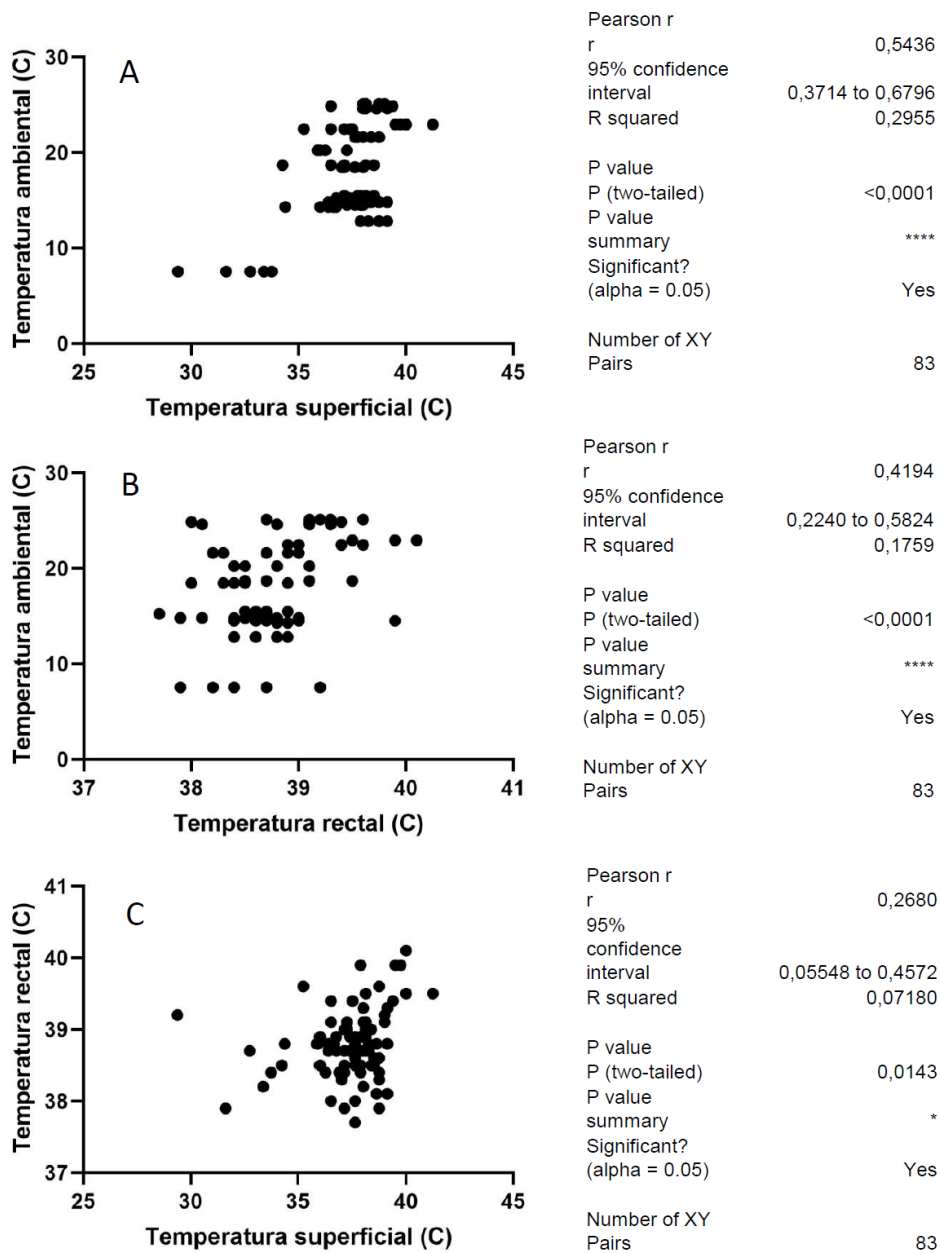


Figura 6. Correlaciones entre temperatura ambiente, rectal y superficial (°C) en los bovinos.

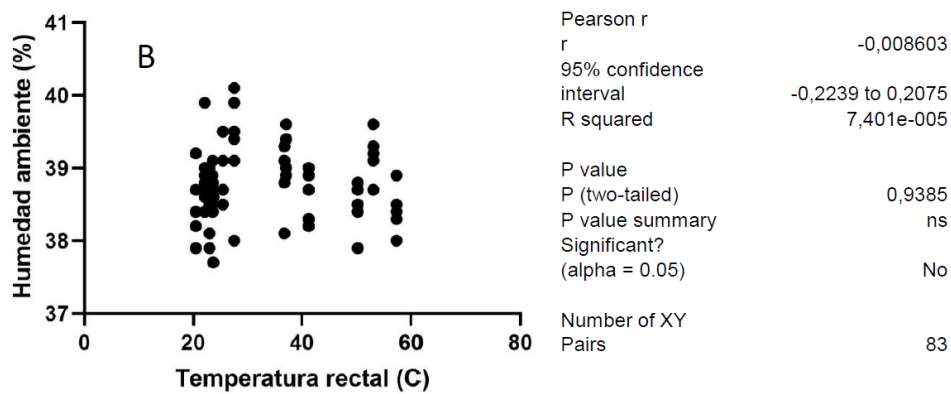
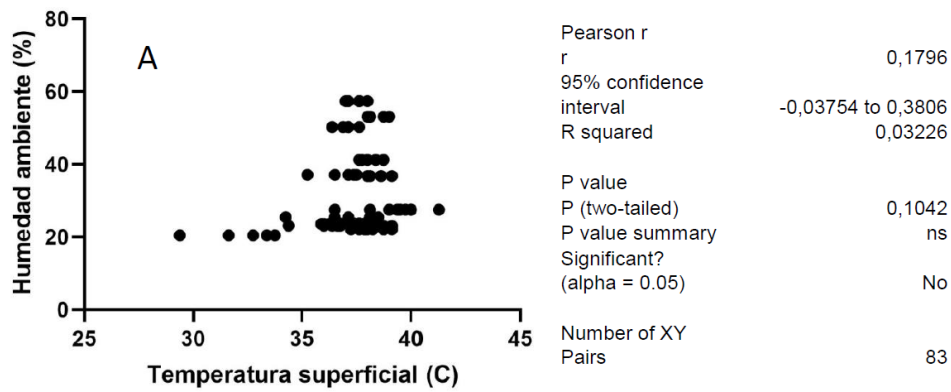


Figura 7. Correlaciones de la temperatura superficial y rectal (°C) en relación con la humedad ambiente (%)



## 6. DISCUSIÓN

La medición de la temperatura rectal con termómetros, es el sistema de registro más extendido en bovinos. Sin embargo es una metodología muy dependiente de la disponibilidad de recursos humanos, su registro puede afectarse por el arreo o el encierro de los animales y no permite el registro de la temperatura en forma continua (Mader y col., 2007). En los últimos años, se han ensayado métodos alternativos de registro, que permitan la medición continua de temperatura corporal con fines científicos o productivos principalmente a través del uso de microchips implantados a diferentes regiones o tejidos (recto, vagina, subcutáneo, canal timpánico) (Giro y col., 2019).

Existe un acuerdo en que la temperatura rectal es equivalente a la temperatura central del cuerpo del individuo y que es la medición de referencia para la validación de cualquier método alternativo (Agarwal y col., 2016). La mucosa rectal está muy vascularizada y protegida por una fuerte masa muscular y la cola del animal, por tal razón su temperatura es menos influenciada por factores ambientales. Sin embargo, ha sido descrito que la temperatura del aire es uno de los factores ambientales que más afecta la temperatura rectal (Shrode y col., 1960).

En el presente trabajo, a través del implante de sensores subcutáneos buscamos determinar la temperatura subcutánea en bovinos de biotipo carnívoros producidos en condiciones de pastoreo en Uruguay. Lee y col. (2016) determinaron en bovinos Holando producidos en Korea, que la temperatura subcutánea en bovinos es parcialmente influenciada por las condiciones ambientales pero aun así demostraron que puede ser de gran utilidad para el registro de la temperatura en bovinos a lo largo del tiempo con fines productivos o académicos.

Los sensores fueron colocados a nivel de la región dorso lateral izquierda de la parri-lla costal, región seleccionada por su fácil acceso en las instalaciones bovinas. Estudios previos mostraron que la localización de los sensores subcutáneos no afecta significativamente el registro de la temperatura superficial salvo que se localice en lugares donde existe más oferta de tejido conjuntivo (Lee y col., 2016).

La temperatura ambiente, la humedad relativa y el movimiento de aire son factores climáticos de que influyen directamente en la capacidad de los animales para mantenerse en su zona de confort térmico (Arias y col., 2008). La zona de confort o zona de termoneutralidad para los bovinos está definida entre los 5 y 20°C (Cowan y col., 1993), la que puede llegar incluso hasta 27°C según el origen y la raza del animal (Bodisco y Rodríguez, 1985). En el presente trabajo, la temperatura ambiente media en el ensayo de verano fue de 19,23 °C oscilando entre los 14,4 °C y los 25,1 °C (Figura 3A) mientras que en el invierno se alcanzó una media de 11,3 °C oscilando entre los 6,6 °C y 17, 8 °C (Figura 4A). La temperatura media anual del aire en Uruguay que es de 17,7 °C, registrando su máximo en el norte del país con 19,8°C, y el mínimo en la costa sur con 16,6°C. La temperatura media en verano es de 22,6°C, y la del invierno desciende hasta los 12,9 °C (CNFR, 2011). Por lo tanto, los registros

de temperatura subcutánea y rectal en el presente trabajo se realizaron dentro de la zona de confort ambiental de los bovinos.

La humedad relativa es considerada un factor de potencial estrés en el ganado, ya que acentúa las condiciones adversas de las altas temperaturas (Arias y col., 2008). Los principales efectos de la misma están asociados con una reducción en la efectividad en la disipación de calor por sudoración y respiración, afectando a los animales especialmente en medioambientes en los que la disipación del calor por vías evaporativas son cruciales para mantener la condición homeotérmica (Arias y col., 2008). En el presente trabajo, no registramos temperaturas extremas por lo cual los efectos de la humedad no tuvieron un valor significativo

Los registros de las estaciones meteorológicas en el verano y en el invierno mostraron que la temperatura ambiente y la humedad relativa a lo largo del día tienen un patrón inverso (Figura 3 y 4). En verano las máximas de la temperatura ambiente se registraron entre las 14 y 16 horas mientras que las mínimas de la humedad coinciden con este mismo horario (Figura 3 A y C). En el mismo período las temperaturas mínimas se registraron entre las 2 y 8 hs presentándose en este mismo horario las máximas de la humedad ambiente. Un patrón similar se observó en invierno donde el registro de las temperaturas máximas fue entre las 14 y 17hs y la humedad mínima fue registrada entre las 14 y 16hs (Figura 4 A y C). Esta relación temperatura y humedad relativa ha sido descrita previamente por los servicios de meteorología.

La temperatura subcutánea o superficial de los bovinos en verano tuvo una media de 38,5°C y osciló entre los 37,8°C y 39,4 °C (Figura 3 B) mientras que el período invernal la media fue de 37,3°C y esta se mantuvo entre los 36,0 y 38.5 °C (Figura 4 B). La temperatura rectal normal del bovino oscila entre 37,8 y 40,0 °C (Arias y col., 2008), por lo que la temperatura central del bovino no difirió mayormente de la temperatura superficial de los mismos en condiciones de pastoreo en Uruguay. Estos resultados están en concordancia con los observados por Lee y col., (2016) en el cual observan que la temperatura superficial tanto en verano como invierno se mantiene en una media 37.2 °C. Estos autores reportaron que aún en eventos extremos con temperaturas ambientales inferiores a 0°C, la temperatura superficial de los bovinos no descendió por debajo de los 31, 5 °C.

Por otra parte, se observaron variaciones de la temperatura superficial y rectal a lo largo del día (Figuras 5 B y C). En bovinos mantenidos en condiciones ambientales controladas se ha descrito que la mayoría de los animales muestran patrones circadianos bifásicos caracterizados por incrementos y caídas de la temperatura probablemente relacionados con las rutinas de ingesta de alimentos (Bitman y col., 1984). En nuestro trabajo las variaciones de temperatura mostraron un perfil similar al de la evolución de la temperatura ambiental (Figuras 5A). Los picos máximos de temperatura subcutánea y rectal estuvieron asociados con las máximas de las temperaturas ambientales (Figura 5) lo que sugiere que estos cambios de temperatura están más

asociados a cambios ambientales que metabólicos. En este sentido, tanto las mediciones de la temperatura superficial como la rectal correlacionaron positivamente con la evolución de la temperatura ambiente (Figura 6). La correlación entre la temperatura superficial y la ambiental tuvo un  $r^2$  de 0,29 (Figura 6A) y la rectal de 0,17 (Figura 6B) mostrando la menor afectación de la temperatura central del bovino por los cambios de temperatura medioambientales (Figura 6).

En el presente trabajo la humedad relativa observada en los ensayos no generó cambios en el registro de la temperatura corporal (superficial y/o rectal) de los bovinos mantenidos en condiciones de pastoreo (Figura 7).

## **7. CONCLUSIONES**

En condiciones de pastoreo en Uruguay, el registro de la temperatura superficial puede ser equiparable a los valores de temperatura rectal.

Las variaciones de la temperatura superficial son más afectadas por las variaciones de la temperatura ambiente que la rectal.

Las variaciones de la humedad relativa no afectan significativamente la temperatura corporal del bovino en condiciones de campo.

Los sensores ibutton demostraron ser una buena herramienta para el registro continuo de la temperatura corporal, evitando la manipulación a los mismos y la generación de stress.

La principal desventaja de estos dispositivos, está relacionada con la necesidad de extraerlos para obtener los registros. Sería de gran utilidad diseñar un mecanismo que permita el registro de temperatura subcutánea a distancia.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Agarwal, A., Mehendiratta, E., Sanket, R., Samkaria, R., Shah, A., Singh, R., Gehlot, A. (2016). WPAN Based Cattle Health Monitoring With Labview as A Data Logger. *Int J Gen Commun Netw.* 9: 275-284.
2. Arias, R., Mader, T., Escobar, P. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche *Arch Med Vet;* 40:7-22.
3. Araúz S, E E (2017). Influencia del color del pelaje sobre el comportamiento térmico corporal, cinética de la sobrecarga calórica y alteración cardiorespiratoria circadiana em vacas lecheras cruzadas (6/8 *Bos taurus* x 2/8 *Bos indicus*) bajo estrés calórico em el trópico húmedo. *REDVET* 18(7): 1-45. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070717/071707.pdf>. Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2019.
4. Bertipaglia, E. C. A., Silva, R. G., Maia, A.S.C. (2006). Fertility and hair coat characteristics of Holstein cows in a tropical environment. *Anim. Reprod.* 2(3):187-194.
5. Bianca W. (1968). Thermoregulation. En: Hafez ES (ed). *Adaptation of Domestic Animals*. Philadelphia, Lea & Febiger, 97-118 p.
6. Bitman, J., Lefcourt, A., Wood, D.L., Stroud, B. (1984). Circadian and ultradian temperature rhythms of lactating dairy cows. *J Dairy Sci* 67:1014-1023.
7. Brown-Brandl, T., Eigenberg R., Nienaber, J. (2006). Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livest Sci;* 105: 57-68.
8. Caro T. (2009). Contrasting coloration in terrestrial mammals. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* B.364: 537- 548.
9. Cassandra,B., Tucker,A., Andrea, R., Rogers, Karin, E., Schultz. (2008).Effect of solar radiation on dairy cattle behavior, use of shade and body temperature in a pasture-based system. *Appl Anim Behav Sci* 109:141–154.
10. CNFR Comisión Nacional de Fomento Rural, UY. (2011). Adaptación y mitigación al cambio climático en sistemas agropecuarios del Uruguay. Disponible en: [http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/anexo\\_2\\_-\\_catalogo\\_de\\_inversiones\\_y\\_practicas\\_para\\_la\\_adaptacion\\_al\\_cambio\\_climatico.pdf](http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/anexo_2_-_catalogo_de_inversiones_y_practicas_para_la_adaptacion_al_cambio_climatico.pdf) Fecha de consulta: 27 de noviembre de 2019.

11. Dikmen, S., Martins, L., Pontes, E., Hansen, P.J. (2009). Genotype effects on body temperature in dairy cows under grazing conditions in a hot climate including evidence for heterosis. *Int J Biometeorol.*53: 327-331.
12. Giro A., Campos Bernardib de A.C., Barioni Junior W., Prudêncio Lemesc A., Bottaa D., Romanelloa N., Nascimento Barreto de A., Rossetto Garcia A. (2019) Application of microchip and infrared thermography for monitoring body temperature of beef cattle kept on pasture. *J Therm Biol* 84:121-128.
13. Green, A.R., Xin, H. (2009). Effects of Stocking Density and Group Size on Thermoregulatory Responses of laying hens under heat- challenging conditions. *American Soc of Agric Biol Eng*; 52:2033-2038.
14. Hahn, G., Nienaber, J., Eigenberg, A. (1993). Environmental influences on the dynamics of thermoregulation and feeding behavior in cattle and swine. 4° Int Symp, University of Warwick. Coventry, Inglaterra, p. 1106-1116.
15. Jordan, E. (2003). Effects of heat stress on reproduction. *J. Dairy Sci.* 86:104-114.
16. Kadzere, C., Murphy, M., Silanikove, N., Maltz, E. (2002). Heat stress in lactating cow: a review. *Livest Prod Sci* 77:59-91.
17. Kurz A. (2008). Physiology of thermoregulation. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 22:627-644.
18. Kobayashi S. (2015) Temperature receptors in cutaneous nerve endings are thermostat molecules that induce thermoregulatory behaviors against thermal load. *Temperature* 2(3): 346-351.
19. Laburn, H.P., Faurie, A., Goelst, K., Mitchell, D. (2002). Effects on fetal and maternal body temperatures of exposure of pregnant ewes to heat, cold, and exercise. *J Appl Physiol* 92: 802-808.
20. Lee, Y., Bok, J.D., Lee, H.J., Lee, H.G., Kim, D., Lee, I., Kang, S.K., Choi, Y.J. (2016). Body temperature monitoring using subcutaneously implanted thermologgers from Holstein steers. *Asian. Austral. J. Anim. Sci* 29: 299–306.
21. Mader T, D Griffin, L Hahn (2007). Managing feedlot heat stress. Disponible en: [www.thebeefsite.com/articles/1062/managing-feedlot-heat-stress/](http://www.thebeefsite.com/articles/1062/managing-feedlot-heat-stress/). Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2019.

22. Mader, T., Hungerford, L., Nienaber, J., Buhman, M., Davis, M., Hahn, G., Cerko-  
ney, W., Holt, S. (2001). Heat stress mortality in Midwest feedlots. *J Anim Sci*  
79 (Suppl. 2): 33.
23. McCafferty, D. (2015). Challenges of measuring body temperatures of free-  
ranging birds and mammals. *Anim Biotelemetry* 3:33.
24. Mansilla, V (1996). Estudio preliminar de algunas variables climáticas sobre la  
eficiencia reproductiva en vacas Holstein Friesian en la Provincia de Ñuble.  
Tesis. Universidad de Concepción, 60 p.
25. Navarro, X. (2002). Fisiología del sistema nervioso autónomo. *Rev Neurolog*;  
35: 553-562.
26. National Research Council (NRC) (2001) Nutrient Requirements of Dairy Cat-  
tle. 7a. ed. Washington, National Academies, 405 p.
27. National Research Council (NRC) (1981) Effect of Environment on Nutrient  
Requirements of Domestic Animals. Washington, National Academies, 168 p.
28. Pérez Esteban H (2013). Fisiología Animal II. Managua, Universidad Nacional  
Agraria, 242 p.
29. Prendiville, D., Lowe, J., Earley, B., Spah, C., Kettlewell, R. (2002). Radiote-  
lemetry systems for measuring body temperature. Disponible en:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/84886419.pdf>. Fecha de consulta: 2 de Julio  
de 2019.
30. Renaudeau, D., Kerdoncuff, M., Anais, C., Gourdine, J.L. (2008). Effect of  
temperature level on thermal acclimation in Large White growing pigs. *Animal*  
2:1619–1626.
31. Sanmiguel. P. R. A. Diaz. A. V. (2011). Mecanismos fisiológicos de la termo-  
regulación en animales de producción. *Rev Colombiana Cienc Anim.* 4(1):89-  
94.
32. Shrode, R.R., Quazi, F.R., Rupel, I.W., Leighton, R.E. (1960). Variation in rec-  
tal temperature, respiration rate, and pulse rate of cattle as related to variation  
in four environmental variables. *J Dairy Sci* 43:1235-1244.
33. Suárez, E.P, Reza S. G, Díaz E. A, García F. C, Pastrana I. V, Cuadrado H.  
C.1, Espinosa M. C. (2012) Efectos de las condiciones ambientales sobre el  
comportamiento ingestivo en bovinos de carne en un sistema intensivo en el  
Valle del Sinú. *Rev Corp Cienc Tecnol Agrop* 13(2):207-212.

34. Torrao, N., Hetem, R., Meyer, L., Fick, L. (2011). Assessment of the use of temperature-sensitive microchips to determine core body temperature in goats. *Vet Rec*, 168(12):328-328.
35. West, J. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 86: 2131-2144.