



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



**RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y LA  
TEMPERATURA CORPORAL EN OVEJAS TROPICALES DURANTE EL  
PASTOREO**

TUTORA:

LIVIA PINTO-SANTINI

AUTOR:

JULIO REYES

MARACAY, ABRIL DE 2016



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESCUELA DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN ANIMAL



**RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y LA  
TEMPERATURA CORPORAL EN OVEJAS TROPICALES DURANTE EL  
PASTOREO**

TUTORA:

LIVIA PINTO-SANTINI

AUTOR:

JULIO REYES

**Trabajo presentado como parte de los requisitos para optar al título de Ingeniero Agrónomo, mención Agronomía, que otorga la Universidad Central de Venezuela.**

MARACAY, ABRIL DE 2016

## RESUMEN

Con el objeto de estudiar las respuestas fisiológicas (RFIS), temperatura corporal (TC; °C), temperatura superficial (TS; °C), frecuencia respiratoria (FR; mov/ min), en conjunto con el índice de temperatura y humedad (ITH; unidades) y el coeficiente de tolerancia al calor (CTC; unidades) en ovejas manejadas a pastoreo (8:00-16:00 horas) pero confinadas en sombra artificial durante las horas de mayor radiación solar (RS; W/m<sup>2</sup>), se realizó un experimento, bajo un diseño completamente al azar. Los tratamientos (T) fueron: a) SOMBRA (n=10): trasladado diariamente los animales desde el potrero a un corral techado con malla sombra verde (30 m<sup>2</sup>) entre las 12:00 y 14:00 horas; b) SOL (n=10): similar al T anterior pero sin disponibilidad de sombra. Se caracterizó el ambiente microclimático (CLI) por hora en ambos T (analizado por ANAVAR). Diariamente se determinó la TC, TS (en puntos diferentes de la piel con pelo) y la FR de cada animal (mediante modelo mixto). Adicionalmente, se realizó análisis de componentes principales (InfoStat/E) para las variables fisiológicas y climáticas. RS y temperatura del globo negro fueron las variables CLI que más incidencia tuvieron sobre TC (39,3°C en SOMBRA vs. 39,4°C en SOL; P≤0,01). TS promedio fue mayor en SOL (38,9°C) que en SOMBRA (35,9°C) (P≤0,01). La mayor carga radiante en SOL fue compensada con una superior FR (112,3 en SOMBRA vs. 139,6 en SOL; P≤0,01). La temperatura del pelaje (°C) tomada a nivel del lomo (L), costado (CO) y cadera (CA), presentaron más relación con TC; cuando L ≥41,2; CO ≥38,2 y CA ≥39,0, la TC puede presentarse ≥39,6. CTC fue > en SOL (7,8) que en SOMBRA (5,8) (P≤0,01). El uso de sombra artificial entre las 12:00 y 14:00 horas del día reduce la ganancia de calor y por lo tanto, eleva las RFIS; las ovejas evidencian menores temperaturas superficiales, tienen menor FR y presentan un mejor CTC.

**Palabras claves:** Bienestar Animal, Estrés calórico, Índices Fisiológicos, Radiación Solar, Sombra Artificial.

## VEREDICTO

### Aprobación del Trabajo de Grado por el Jurado

Nosotros los abajo firmantes, miembros del jurado examinador del trabajo de grado titulado “RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y LA TEMPERATURA CORPORAL EN OVEJAS TROPICALES DURANTE EL PASTOREO” Cuyo autor es el bachiller Julio Reyes, titular de la cédula de identidad número: 20.244.688, certificamos que en nuestra opinión el trabajo reúne las condiciones requeridas para su presentación y cumple con las expectativas en alcance y calidad como requisito para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Jurado Principal

Jurado Principal

---

Héctor Zerpa  
CI: 7.122.704

---

Karin Drescher  
CI: 6.298.914

Tutora-Coordinadora

---

Livia Pinto-Santini  
CI:13.517.563

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por ser los primeros y mejores maestros en mi vida, mis guías, por estar ahí para mí, dándome siempre su apoyo incondicional tanto en las buenas como en las malas. Gracias por todos sus sacrificios, y gracias a ustedes también termino ésta etapa en mi vida y soy quien soy hoy en día. También gracias a William y a mi hermano, por siempre ayudarme, por estar ahí, apoyándome en cada una de las decisiones de mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios por todo, por la vida, por ésta oportunidad, por ayudarme siempre a encontrar lo que necesito, por cuidarme. Gracias... ¡Eres grande!

Agradezco además a mi madre, a mi padre, mi hermano y a William, por brindarme siempre su apoyo, por sus sacrificios, gracias por estar ahí, sin ellos no habría alcanzado ésta meta.

Gracias especiales a mi novia Rosa y a todos mis amigos, principalmente a “Los Chigüires”, ha sido un gran honor haber compartido ésta carrera con ustedes. Muchas gracias a todos. Y gracias a la universidad por haberme permitido conocerlos. ¡Son los mejores!

A mi tutora, la Profa. Livia Pinto, a quien siempre le estaré muy agradecido, ya que, por todo su apoyo, invaluable orientación y motivación fue que logré culminar éste trabajo de grado. ¡Es usted la mejor tutora de todas! ¡Muchas gracias!

Gracias a todo el equipo de LEFADOT, ya que, sin su ayuda el desarrollo de éste trabajo de grado no hubiese sido lo mismo. Son un gran equipo.

Finalmente, a todos mis profesores con los que tuve la dicha y el honor de aprender durante toda mi carrera. Gracias.

## TABLA DE CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| Portada.....  | 1  |
| Página de título.....   | 2  |
| Resumen.....  | 3  |
| Aprobación del Jurado.....  | 4  |
| Dedicatoria.....  | 5  |
| Agradecimientos.....  | 6  |
| Tabla de Contenido.....   | 7  |
| Índice de Figuras.....  | 9  |
| Índice de Cuadros.....  | 10 |
| <br>  |    |
| INTRODUCCIÓN.....   | 11 |
| MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 12 |
| 1. Ubicación y duración del experimento.....  | 12 |
| 2. Manejo animal.....   | 12 |
| 3. Tratamientos y diseño experimental.....  | 13 |
| 4. Variables evaluadas.....   | 13 |
| 4.1 Caracterización climática.....  | 13 |
| 4.2 Temperatura corporal (TC) y temperatura superficial (TS).....   | 14 |
| 4.3 Frecuencia respiratoria (FR).....   | 14 |
| 4.4 Coeficiente de Tolerancia al Calor (CTC).....   | 15 |
| 5. Análisis estadístico.....  | 15 |
| RESULTADOS.....   | 16 |
| 1. Caracterización climática e índice de temperatura y humedad (ITH) en las condiciones SOL y SOMBRA.....   | 16 |
| 2. Índices fisiológicos (temperatura corporal, temperatura superficial y frecuencia respiratoria) y Coeficiente de Tolerancia al Calor (CTC)..... | 18 |
| DISCUSIÓN.....  | 22 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| AGRADECIMIENTOS.....            | 27 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 27 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puntos de medición de la temperatura superficial sobre el pelaje del animal: 1) Lomo (región lumbar), 2) Cadera (región de la grupa), 3) Costado (triángulo del ijar), 4) Vena nasal dorsal, 5) Vena angular ocular, 6) Frente (lóbulo frontal), 7) Base del cráneo (región occipital), 8) Extremidad anterior (radio/cubito), 9) Extremidad posterior (tibia/peroné)..... 14

Figura 2. Valores de los elementos climáticos, a) humedad relativa (%); b) temperatura ambiente (°C); c) radiación solar ( $W/m^2$ ) y el d) índice de confort basado en los elementos climáticos (Índice de Temperatura y Humedad) por tratamiento durante los 32 días del experimento..... 17

Figura 3. Promedios de los índices fisiológicos, a) frecuencia respiratoria (mov./min); b) temperatura corporal (°C); c) temperatura superficial promedio (°C) y d) índice de confort basado en los índices fisiológicos (Coeficiente de tolerancia al calor) (Unidades) por tratamiento durante los 32 días de experimentación..... 19

Figura 4. Representación gráfica de la relación entre los rangos de temperatura corporal de ovejas West African con las variables climáticas (a), rangos de temperatura corporal y los puntos de medición de la temperatura superficial (b), rangos de temperatura superficial promedio y los puntos de medición de la temperatura superficial (c) y rangos de frecuencia respiratoria con las variables climáticas y fisiológicas (d)..... 21

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| Cuadro 1. Medias diarias y durante las horas de resguardo (12:00-14:00 h) (EE=Error Estándar) de las variables climáticas evaluadas y las medias (EE) de la temperatura de globo negro durante las horas de medición en las condiciones de SOL y SOMBRA..... | 16 |
| Cuadro 2. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables climáticas bajo condiciones de SOMBRA (gris) y SOL (naranja) durante las horas de resguardo (12:00 – 14:00 horas).....  | 17 |
| Cuadro 3. Medias estimadas (EE=Error Estándar) de la temperatura corporal y superficial, frecuencia respiratoria y CTC de las ovejas bajo condiciones de SOL y SOMBRA.....   | 18 |
| Cuadro 4. Medias estimadas (EE=Error Estándar) de las temperaturas superficiales en el pelaje de las ovejas bajo condiciones de SOL y SOMBRA.....  | 18 |
| Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables fisiológicas bajo condiciones de SOMBRA (gris) y SOL (naranja) durante las horas de resguardo (12:00 – 14:00 horas).....  | 19 |
| Cuadro 6. Gradientes entre la temperatura superficial - temperatura corporal (TS-TC), temperatura superficial- temperatura ambiente (TS-TA) y latemperatura ambiente - temperatura corporal (TA-TC).....   | 20 |
| Cuadro 7. Vectores medios para las variables que mejor explican las variaciones de la temperatura corporal (TC), temperatura superficial (TS) y frecuencia respiratoria (FR), según el análisis de componentes principales.....                              | 21 |

# **RELACIÓN ENTRE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL Y LA TEMPERATURA CORPORAL EN OVEJAS TROPICALES DURANTE EL PASTOREO**

## **Relationship between surface temperature and body temperature in tropical ewes during grazing**

Julio J. Reyes

Instituto de Producción Animal, Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay, Edo. Aragua, Venezuela  
[julioreyes90@hotmail.com](mailto:julioreyes90@hotmail.com)

### **INTRODUCCIÓN**

En Venezuela, los sistemas de producción con ovinos presentan bajos niveles productivos. Han sido manejados, tradicionalmente, en forma extensiva y/o semi-intensiva en las zonas áridas y semi-áridas y, desde hace una década, en algunos estados llaneros (Zambrano *et al.*, 2005). En estas zonas, se presentan elevadas temperaturas ambientales y alta radiación global, por lo que a pesar de su adaptabilidad, al ser animales endotérmicos, podrían sufrir de estrés calórico (Valle, 1984; Quesada *et al.*, 2001; Arias *et al.*, 2008). Se requiere acompañamiento técnico a nivel genético (razas y cruzamientos tolerantes al calor), nutricional (manejo de pastoreo, estrategias de suplementación) y de bienestar animal (instalaciones apropiadas, uso de sombra, establecimiento de índices de confort, etc.) para mejorar los niveles productivos.

Desde el punto de vista del bienestar térmico, Pinto-Santini *et al.* (2014), señalan que la disponibilidad de sombra artificial durante el pastoreo, aún se trate de animales adaptados como los ovinos de pelo tropical (West African), reduce el impacto de las condiciones climáticas, especialmente de alta radiación global. Corderas postdestete sin disponibilidad de sombra presentaron mayor temperatura corporal y mayor frecuencia respiratoria cuando son comparadas con aquellas que tenían disponibilidad de sombra (Pinto-Santini *et al.*, 2014). Similares resultados fueron presentados por Quesada *et al.* (2001) en ovejas expuestas al sol por tiempo prolongado. En cabras, Souza *et al.* (2005), encontraron diferencias significativas entre los gradientes térmicos (temperatura rectal-superficial y temperatura superficial-ambiental) y frecuencia respiratoria en las horas de la mañana y tarde. Lo anterior evidencia la relevancia de incluir parámetros fisiológicos como indicadores eficientes de la tolerancia de los animales en situaciones de estrés calórico (López *et al.*, 2015).

En la actualidad, no existe un índice de confort térmico en ovinos que sea fácilmente manejable a nivel de campo. Basados en la información climática, han sido probados los siguientes: a) ITH (Índice de Temperatura y Humedad), muy difundido y empleado en el establecimiento de riesgo de estrés calórico en la mayoría de los animales de interés zootécnico, sin embargo, se desconoce su punto de quiebre en ovinos tropicales (López *et al.*, 2015); b) Índice de temperatura de globo negro y humedad (ITHG: por sus siglas en inglés e ITGU por sus siglas en brasileño) y c) Índice de Tolerancia al Calor de Silva y Barbosa (Barbosa y Silva, 1995). Basado en la respuesta animal, el CTC (Coeficiente de Tolerancia al Calor o Índice de Benezra), que relaciona la temperatura corporal y la frecuencia respiratoria del animal y que ha sido utilizado en vacunos (Souza *et al.*, 2010), cabras (Rocha, 2006) y ovinos (López *et al.*, 2015), podría ser de interés.

En la búsqueda de nuevas y más sencillas metodologías de evaluación de estrés a nivel de finca, surge como objetivo estudiar las respuestas fisiológicas, relación entre la temperatura corporal, temperatura superficial y frecuencia respiratoria, en conjunto con el ITH y el CTC, en ovejas a pastoreo resguardadas en sombra artificial durante las horas de mayor radiación solar del día.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1. Ubicación y duración del experimento**

El estudio tuvo lugar en el Laboratorio Sección de Ovinos del Instituto de Producción Animal (IPA), de la Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela. El IPA está localizado a una altitud de 432 msnm, el clima predominante en la zona es seco tropical (Holdridge, 1979), con una precipitación 600-800 mm anuales, concentrada entre los meses de Mayo y Octubre. La temperatura ambiente (TA) promedio es de 26,5°C, con mínimas de 21,1 y máximas de 32°C, la humedad relativa (HR) es de alrededor de 60% en los meses secos y de 80% en los meses de lluvia (USICLIMA, 2012). El experimento se realizó entre los meses de Abril y Mayo (transición época seca – época de lluvia) de 2015 y tuvo una duración de 32 días.

### **2. Manejo Animal**

Se emplearon 20 ovejas hembras adultas vacías del tipo West African, manejadas en condiciones de semi-estabulación, con pastoreo de pasto estrella (*Cynodon nlemfluensis*) en las horas diurnas y confinamiento en las horas de la tarde y noche. Los animales pastoreaban libremente desde las 8:00 hasta las 12:00 horas, luego de lo cual

eran trasladados a un espacio ubicado en un extremo de cada potrero, entre las 12:00 y 14:00 horas, techado para el grupo con sombra y sin techo para el grupo de sol y, posteriormente, liberados nuevamente hasta las 15:00 o 16:00 cuando eran trasladados a corrales colectivos de confinamiento, uno para cada grupo. Durante el tiempo en los potreros, los animales de ambos tratamientos contaban con pacas de heno y agua a voluntad, y en las horas nocturnas, con pacas de heno, agua, alimento balanceado comercial y un bloque multinutricional.

### **3. Tratamientos y Diseño experimental**

Bajo un diseño completamente aleatorizado, los animales fueron separados en dos tratamientos, con 10 repeticiones cada uno: a) SOMBRA: los animales fueron trasladados diariamente a un corral techado de 30 m<sup>2</sup> (3 m<sup>2</sup>/animal) y mantenidos bajo sombra entre las 12:00 y 14:00 horas, siendo éstas las de mayor TA y radiación solar (RS) en la zona, según estudios anteriores (López *et al.*, 2015). El techo fue elaborado con malla para sombreadero (80% de sombra) color verde y fue dispuesto en sentido Este-Oeste; b) SOL: los animales fueron trasladados a un corral de la misma dimensión (30 m<sup>2</sup>) y por el mismo periodo de tiempo (12:00 a 14:00 horas) pero sin disponibilidad de sombra natural o artificial.

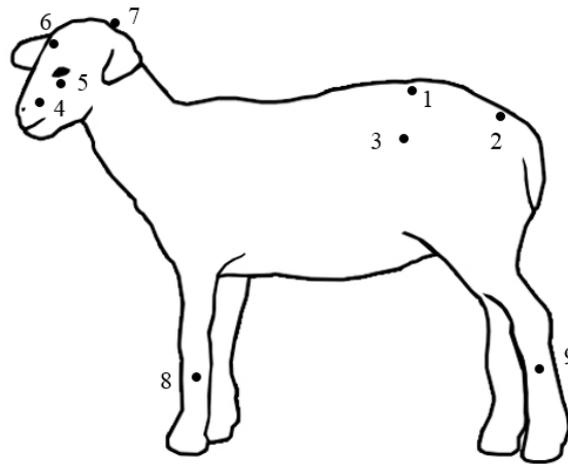
### **4. Variables evaluadas**

*4.1. Caracterización climática:* La caracterización del microclima en ambos tratamientos, se realizó a través del registro de la temperatura ambiente (TA; °C), humedad relativa (HR; %) y radiación global (RS; w/m<sup>2</sup>) medidas las 24 horas del día, obtenidas a través de sensores electrónicos conectados a estaciones meteorológicas automáticas ubicadas en el potrero con sombra y en el potrero sin sombra. Se midió también la temperatura de globo negro (TGN), mediante el empleo de un termómetro de bulbo negro construido según la metodología de Souza *et al.* (2002), la cual consiste en una esfera plástica de 15 cm de diámetro, pintada exteriormente de color negro con un termómetro adaptado a ella; las mediciones de TGN se realizaron a las 12:00, 13:00 y 14:00 horas.

Como indicador de confort térmico basado en los elementos climáticos, se calculó el Índice de Temperatura y Humedad (ITH), aplicando la fórmula planteada por Valtora y Gallardo (1996):

$$ITH = (1,8 TA + 32) - (0,55 - 0,55 HR/100) \times (1,8 TA - 26).$$

4.2. *Temperatura corporal (TC) y temperatura superficial (TS)*: La TC(°C) se determinó con el uso de un termómetro digital Testo 110 y una sonda de inmersión/penetración, introducida durante 20 segundos a nivel del recto de cada animal a una profundidad de 5 cm. La TS(°C) se determinó a través de un termómetro infrarrojo sobre el pelaje de los animales (piel con pelo). Ambas temperaturas se tomaron diariamente a las 14:00 horas en todos los animales, alternando diariamente el inicio de medición entre los tratamientos. La TS fue tomada en nueve puntos (Figura 1), de acuerdo con la metodología señalada por Monthanoli *et al.* (2008).



**Figura 1.** Puntos de medición de la temperatura superficial sobre el pelaje del animal: 1) Lomo (región lumbar), 2) Cadera (región de la grupa), 3) Costado (triángulo del ijar), 4) Vena nasal dorsal, 5) Vena angular ocular, 6) Frente (lóbulo frontal), 7) Base del cráneo (región occipital), 8) Extremidad anterior (radio/cubito), 9) Extremidad posterior (tibia/peroné).

Adicionalmente, se calcularon los siguientes de gradientes térmicos, usando los promedios por tratamiento en cada día de evaluación, a través del programa Microsoft Excel 2013, los cuales fueron: temperatura superficial - temperatura corporal (TS-TC), temperatura superficial - temperatura ambiental (TS-TA) y temperatura ambiental - temperatura corporal (TA-TC).

4.3. *Frecuencia respiratoria (FR)*: La FR (mov/min) individual en cada tratamiento fue determinada con ayuda de un cronómetro. Se cuantificó el número de movimientos del flanco del animal observados en 15 segundos y luego se multiplicó ese valor por cuatro para obtener un estimado de movimientos por minuto. Las mediciones fueron efectuadas todos los días previa captura de los animales para la toma de TC y TS.

4.4. *Coefficiente de Tolerancia al Calor (CTC)*: Como índice de confort térmico basado en las respuestas fisiológicas de los animales se calculó el CTC utilizando la modificación propuesta por López *et al.* (2015) para ovinos, utilizando la siguiente formula:  $CTC = (TC/39) + (FR/23)$ . Este coeficiente señala que cuando el CTC se encuentra cercano a 2, los índices fisiológicos de los animales estarían indicando que no hay estrés por calor o que el animal es tolerante al calor.

## 5. Análisis estadísticos

Los elementos climáticos fueron analizados usando la metodología de análisis de varianza (ANAVAR) a través del paquete estadístico StatView® de SAS, versión 1992-1998. Los modelos evaluados fueron los siguientes: a) tratamiento (SOL vs. SOMBRA); b) tratamiento y hora de medición (registro horario diario y/o horas toldos diarias); c) tratamiento y día de experimentación. En caso de diferencias entre medias, la prueba de comparación se realizó por Fisher's PLSD. El resto de las variables fueron analizadas por ANAVAR para medidas longitudinales usando el procedimiento MIXED de SAS. Mediante la técnica de Littell *et al.* (1998), se seleccionó una estructura apropiada de varianza-covarianza. Se presentan las medias por mínimos cuadrados y su comparación se realizó a través de la Prueba de Tukey. El modelo incluyó el efecto de tratamiento (SOL vs. SOMBRA), día de experimentación (1, 3, 6...32) y su respectiva interacción.

Se determinó el coeficiente de correlación lineal de Pearson entre los elementos climáticos y las variables fisiológicas (SAS). Se consideró que las correlaciones eran bajas, medias y/o altas si el coeficiente lineal de Pearson era  $\leq 0,40$ ; entre 0,41 y 0,69 y  $\geq 0,70$ , respectivamente. Los gradientes térmicos fueron calculados en base a los promedios por tratamiento en cada día de evaluación y fueron analizados por ANAVAR a través del paquete estadístico InfoStat/E, versión 2008 (Di Rienzo *et al.*, 2008). Adicionalmente, utilizando análisis multivariado, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para describir: a) la TC de las ovejas en función de las TS tomadas en los diferentes puntos de la superficie de los animales y, la TC en función de las variables climáticas evaluadas, considerando los siguientes rangos de TC (°C): A:  $\leq 39,0$ ; B: 39,1-39,5; C:  $\geq 39,6$ ; b) describir los puntos de la superficie de los animales que mejor describen su TS promedio, considerando los siguientes rangos de TS (°C): A: 30,0-35,0; B: 35,1-38,0; C: 38,1-40,0; D:  $\geq 40,1$  y c) la FR de los animales en función de las variables fisiológicas y elementos climáticos evaluados, considerando los siguientes

rangos de FR (mov/min): A: 40-60; B: 61-80; C: 81-120; D: 121-150 y E:  $\geq 151$ . Se consideró en todos los casos que el determinante de la matriz de correlación fuera  $\sim 0$  y, que la correlación cofenética fuera  $\sim 1$ , requisitos estos necesarios para garantizar la pertinencia del análisis multivariado y el adecuado uso del ACP, respectivamente.

## RESULTADOS

### *1. Caracterización climática e índice de temperatura y humedad (ITH) en las condiciones SOL y SOMBRA*

En el Cuadro 1, se observan las medias diarias y durante el periodo de resguardo de 12:00 a 14:00 horas de los elementos climáticas en SOL y SOMBRA. Para las variables HR, TA e ITH no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P > 0,05$ ) relativas a los promedios por día. La RS en SOMBRA fue 28,35% ( $P \leq 0,05$ ) en comparación con SOL. Durante las horas de confinamiento (12:00 a 14:00 horas) se observó que HR, RS e ITH fue 3,5%, 558,2 W/m<sup>2</sup> y 0,6 unidades, respectivamente, inferiores en SOMBRA que en SOL ( $P \leq 0,05$ ). La TA no fue diferente entre tratamientos en ese período ( $P > 0,05$ ), sin embargo, la TGN fue  $> 8^{\circ}\text{C}$  en SOL ( $P < 0,01$ ) (Cuadro 1). En la Figura 2 se aprecia el comportamiento de la interacción tratamiento\*día de los elementos climáticos. Las mayores HR ( $\geq 70\%$ ) se presentan el 3 d y los últimos días de experimentación (27 a 30 d) ( $P \leq 0,01$ ). No se presentó efecto del día ni de la interacción tratamiento\*día para TA y RS ( $P > 0,05$ ). El ITH está por encima de 72 unidades la mayor parte de los días, a excepción de los 9 y 13 d. Los mayores valores de ITH se presentaron los 3 a 5 d y a partir del 27 d ( $P \leq 0,05$ ).

En el Cuadro 2 se presentan las correlaciones entre los elementos climáticos evaluados durante las horas de resguardo. En SOMBRA, se observan correlaciones positivas altas entre TA-TGN ( $P \leq 0,01$ ) y negativas altas entre TA-HR y HR-TGN ( $P \leq 0,01$ ). En SOL, se observaron correlaciones altas y positivas entre la TA-RS ( $P \leq 0,01$ ) y, altas y negativas entre TA-HR ( $P \leq 0,01$ ).

**Cuadro 1.** Medias diarias y durante las horas de resguardo (12:00-14:00 h) de las variables climáticas evaluadas y las medias (EE=Error Estándar) de la temperatura de globo negro durante las horas de medición en las condiciones de SOL y SOMBRA.

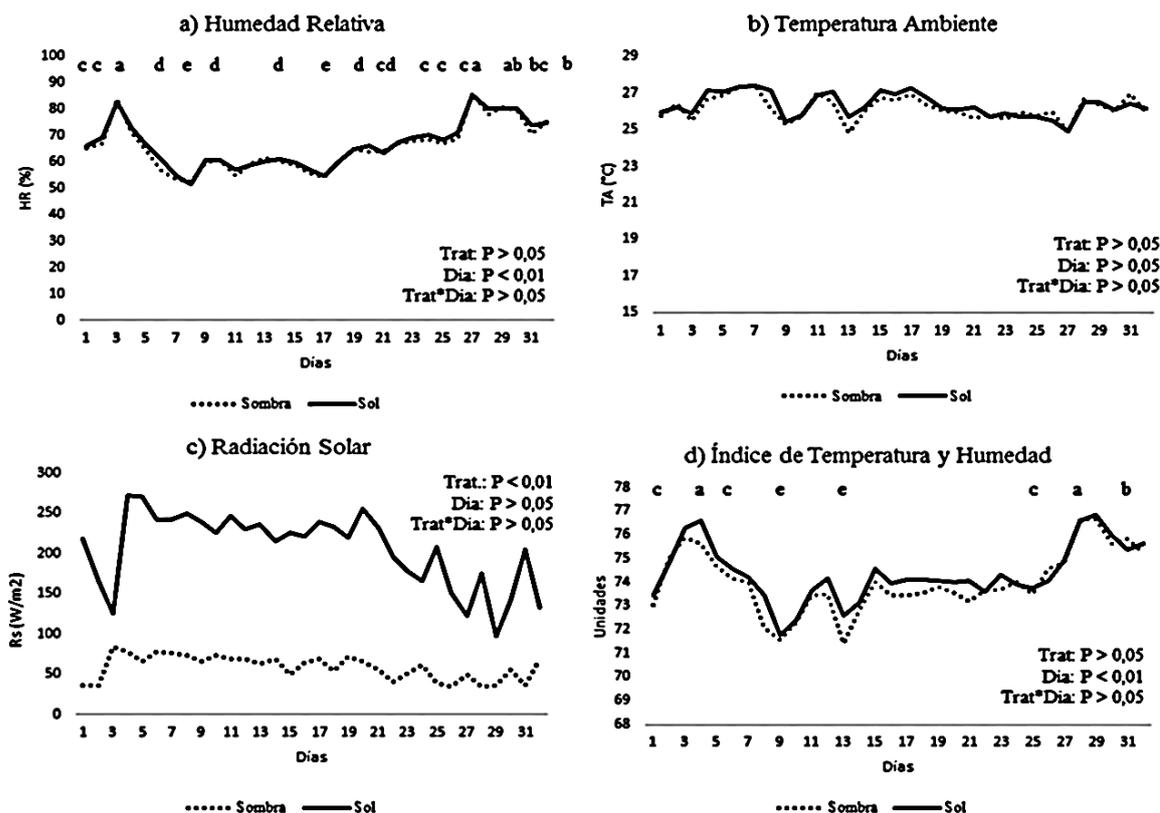
| Variables                                   | Diarias    |            | Horas de resguardo (12:00-14:00 h) |              |
|---|------------|------------|------------------------------------|--------------|
|   | SOMBRA     | SOL        | SOMBRA                             | SOL          |
| Humedad relativa (%)                        | 65,6 (0,8) | 66,5 (0,8) | 39,7 (1,9) b                       | 43,4 (2,1) a |
| Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 26,1 (0,1) | 26,3 (0,1) | 32,9 (0,3)                         | 33,0 (0,3)   |

|                                     |              |                |               |                |
|-------------------------------------|--------------|----------------|---------------|----------------|
| Radiación solar (W/m <sup>2</sup> ) | 58,2 (3,3) b | 205,4 (10,3) a | 101,7 (4,9) b | 659,9 (42,0) a |
| ITH (Unidades)                      | 74,0 (0,1)   | 74,3 (0,2)     | 80,1 (0,2) b  | 80,7 (0,1) a   |

### Temperatura del globo negro

| Horas de medición | SOMBRA     | SOL          |
|-------------------|------------|--------------|
| 12:00 h           | 36,8 (0,6) | 45,1 (0,7) * |
| 13:00 h           | 37,5 (0,4) | 45,7 (0,6) * |
| 14:00 h           | 36,9 (0,4) | 44,9 (0,6) * |

ab Diferente entre columnas indican diferencia significativa ( $P \leq 0,05$ ); \* Diferente entre columnas indican diferencia significativa ( $P \leq 0,01$ )



**Figura 2.** Valores de los elementos climáticos, a) humedad relativa (%); b) temperatura ambiente (°C); c) radiación solar (W/m<sup>2</sup>) y el d) índice de confort basado en los elementos climáticos (Índice de Temperatura y Humedad) por tratamiento durante los 32 días del experimento. Diferentes letras indican que los días difieren entre sí ( $P \leq 0,01$ ).

**Cuadro 2.** Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables climáticas bajo condiciones de SOMBRA (gris) y SOL (naranja) durante las horas de resguardo (12:00 – 14:00 horas).

|     | TGN                    | HR                     | TA                     | RS                     | ITH                    |
|-----|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| TGN | 1                      | -0,5 ( $P \leq 0,01$ ) | 0,5 ( $P \leq 0,01$ )  | 0,5 ( $P \leq 0,01$ )  | 0,3 ( $P \leq 0,01$ )  |
| HR  | -0,7 ( $P \leq 0,01$ ) | 1                      | -0,9 ( $P \leq 0,01$ ) | -0,6 ( $P \leq 0,01$ ) | -0,2 ( $P \leq 0,01$ ) |
| TA  | 0,7 ( $P \leq 0,01$ )  | -0,9 ( $P \leq 0,01$ ) | 1                      | 0,7 ( $P \leq 0,01$ )  | 0,4 ( $P \leq 0,01$ )  |
| RS  | 0,1 ( $P \leq 0,01$ )  | -0,2 ( $P \leq 0,01$ ) | 0,2 ( $P \leq 0,01$ )  | 1                      | 0,4 ( $P \leq 0,01$ )  |
| ITH | -0,1 ( $P \leq 0,01$ ) | 0,3 ( $P \leq 0,01$ )  | 0,1 ( $P > 0,05$ )     | -0,1 ( $P \leq 0,05$ ) | 1                      |

## 2. Índices fisiológicos (temperatura corporal, temperatura superficial y frecuencia respiratoria) y Coeficiente de Tolerancia al Calor (CTC)

Se observó un incremento en la FR de 27,3 mov/min, de la TC de 0,1°C, de la TS promedio de 3°C superior y el CTC de 2 unidades en SOL ( $P \leq 0,01$ ) (Cuadro 3). La temperatura tomada en diferentes puntos de la superficie del animal se presentó, en todos los puntos, fue también superior en SOL ( $P \leq 0,01$ ) (Cuadro 4); las mayores diferencias se presentan a nivel del lomo y las menores a nivel rostral.

**Cuadro 3.** Medias estimadas (EE=Error Estándar) de la temperatura corporal y superficial, frecuencia respiratoria y el Coeficiente de Tolerancia al Calor de las ovejas bajo condiciones de SOL y SOMBRA.

| Variables                          | SOMBRA       | SOL          |
|------------------------------------|--------------|--------------|
| Frecuencia Respiratoria            | 112,3 (3,0)b | 139,6 (4,6)a |
| Temperatura Corporal               | 39,3 (0,0)b  | 39,4 (0,0)a  |
| Temperatura Superficial            | 35,9 (0,1)b  | 38,9 (0,1)a  |
| Coeficiente de Tolerancia al Calor | 5,8 (0,1)b   | 7,8 (0,2)a   |

*ab Diferente entre columnas indican diferencia significativa ( $P \leq 0,01$ )*

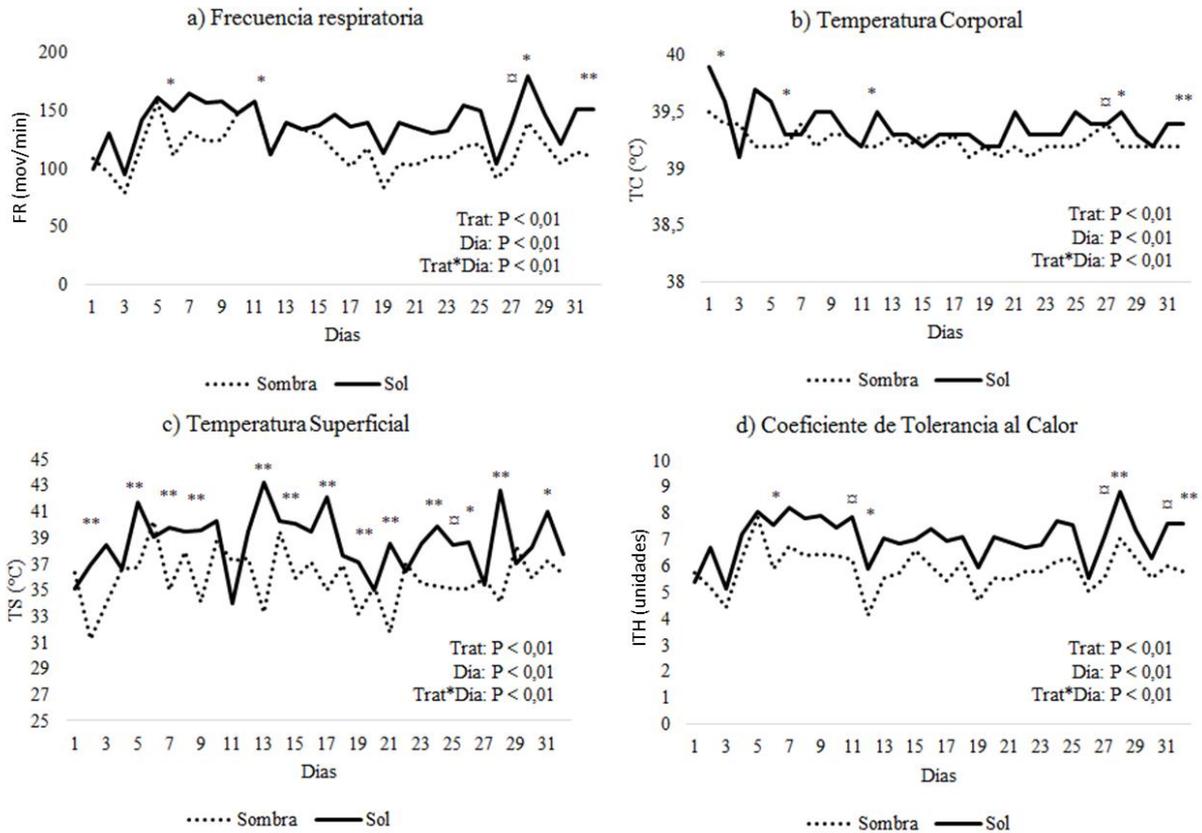
**Cuadro 4.** Medias estimadas (EE=Error Estándar) de las temperaturas superficiales en el pelaje de las ovejas bajo condiciones de SOL y SOMBRA.

| Variables   | SOMBRA      | SOL         | DIFERENCIA SOL – SOMBRA |
|-------------|-------------|-------------|-------------------------|
| Lomo        | 37,0 (0,2)b | 42,6 (0,3)a | 5,6                     |
| Cadera      | 36,4 (0,2)b | 40,0 (0,2)a | 3,6                     |
| Costado     | 36,1 (0,1)b | 39,2 (0,1)a | 3,1                     |
| Vena nasal  | 35,6 (0,1)b | 37,0 (0,1)a | 1,4                     |
| Vena ocular | 35,9 (0,1)b | 37,1 (0,1)a | 1,5                     |
| Frente      | 36,0 (0,1)b | 39,3 (0,2)a | 3,3                     |
| Cráneo      | 36,0 (0,1)b | 39,0 (0,1)a | 3,0                     |
| Anterior    | 35,2 (0,1)b | 36,8 (0,1)a | 1,6                     |
| Posterior   | 35,2 (0,1)b | 37,1 (0,1)a | 1,9                     |

*ab Diferente entre columnas indican diferencia significativa ( $P \leq 0,01$ )*

En la Figura 3 se observa la interacción tratamiento\*día de los índices fisiológicos y el CTC. Se observaron mayores FR y TC en SOL el 32 d ( $P \leq 0,01$ ) y los 2, 6, 11, 12 y 28 d ( $P \leq 0,05$ ). La TS mostró una mayor cantidad de días donde SOL fue superior que SOMBRA ( $P \leq 0,01$ ). Para CTC se presentaron valores superiores en SOL los 28 y 32 d ( $P \leq 0,01$ ) y los 6 y 12 d ( $P \leq 0,05$ ). Se observa una alta y positiva correlación entre FR-CTC ( $P < 0,01$ ), tanto en SOMBRA como en SOL (Cuadro 5). Las correlaciones entre las variables fisiológicas y los elementos climáticos en SOMBRA y SOL fueron bajas (datos no mostrados). Los gradientes TS-TC y TS-TA fueron significativamente

superiores en SOL ( $P < 0,01$ ) y para TA-TC no se presentaron diferencias entre tratamientos ( $P > 0,05$ ) (Cuadro 6).



**Figura 3.** Interacción entre tratamiento\*día de: a) frecuencia respiratoria (mov/min); b) temperatura corporal (°C); c) temperatura superficial promedio (°C) y d) índice de confort basado en los índices fisiológicos (Coeficiente de tolerancia al calor) (Unidades) por tratamiento durante los 32 días de experimentación. \* Diferencias significativas entre los tratamientos para ese día ( $P \leq 0,05$ ); \*\* Diferencias altamente significativas entre los tratamientos para ese día ( $P \leq 0,01$ ); □ Tendencia ( $P \leq 0,08$ ).

**Cuadro 5.** Coeficientes de correlación de Pearson entre variables fisiológicas bajo condiciones de SOMBRA (gris) y SOL (naranja) durante las horas de resguardo (12:00 – 14:00 horas).

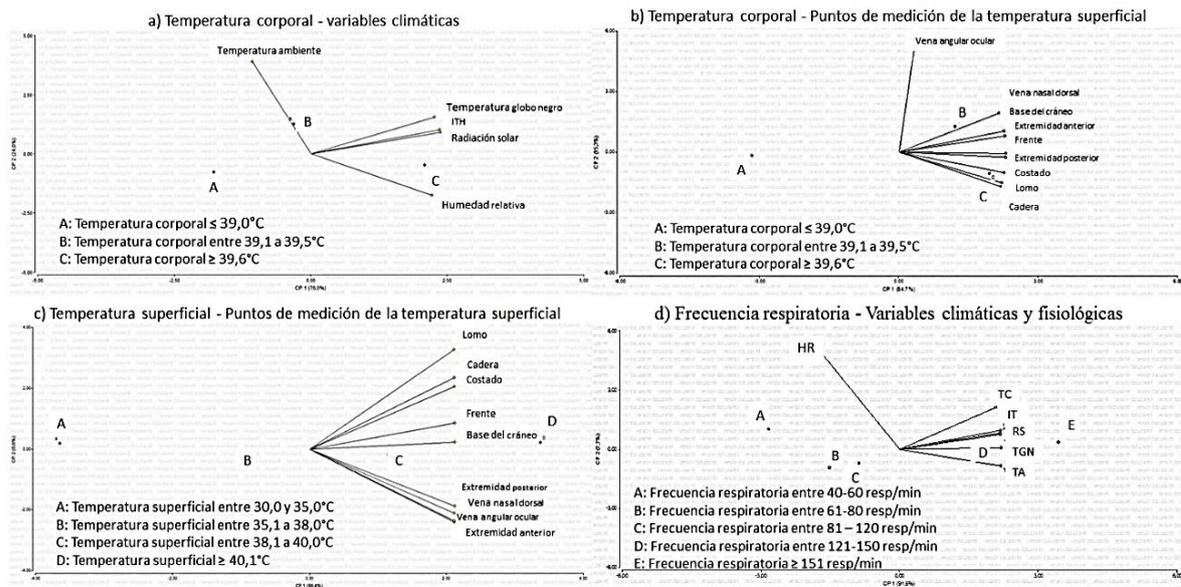
|     | FR                    | TC                    | TS                     | CTC                   |
|-----|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| FR  | 1                     | 0 ( $P > 0,05$ )      | 0,2 ( $P \leq 0,01$ )  | 0,9 ( $P \leq 0,01$ ) |
| TC  | 0,1 ( $P \leq 0,05$ ) | 1                     | -0,1 ( $P \leq 0,05$ ) | 0 ( $P > 0,05$ )      |
| TS  | 0,1 ( $P \leq 0,05$ ) | 0 ( $P > 0,05$ )      | 1                      | 0,2 ( $P \leq 0,01$ ) |
| CTC | 0,9 ( $P \leq 0,01$ ) | 0,1 ( $P \leq 0,05$ ) | 0,1 ( $P \leq 0,05$ )  | 1                     |

**Cuadro 6.** Gradientes entre la temperatura superficial - temperatura corporal (TS-TC), temperatura superficial- temperatura ambiente (TS-TA) y latemperatura ambiente - temperatura corporal (TA-TC).

| <b>Gradientes</b> | <b>SOMBRA</b> | <b>SOL</b>    | <b>Diferencia SOL y SOMBRA</b> |
|-------------------|---------------|---------------|--------------------------------|
| TS-TC (°C)        | 1,80 (0,29) b | 3,42 (0,29) a | +1,62                          |
| TS-TA (°C)        | 3,10 (0,40) b | 5,81 (0,40) a | +2,75                          |
| TA-TC (°C)        | 6,44 (0,15)   | 6,29 (0,15)   | -0,15                          |

*ab Diferente entre columnas indican diferencia significativa ( $P \leq 0,01$ )*

La representación gráfica de los análisis de componentes principales (ACP) se presenta en la Figura 4. La TGN, el ITH y la RS se encuentran correlacionadas positivamente. La TA se relaciona negativamente con el resto de las variables y en especial, con la HR. El componente principal (CP) 1, conformado por las variables TGN, ITH, RS y HR, explica el 76% de las variaciones de la TC presentadas por las ovejas en el ensayo.  $TC \geq 39,6^{\circ}C$  (rango C), se presentan cuando la HR, la RS y el ITH son elevados (Figura 4a). Todos los puntos de medición de la TS se encuentran correlacionados positivamente. La TS tomada a nivel de la vena angular ocular explica el 15,5% de las variaciones en TC (CP2); el resto de las variables presentan mayor comunalidad con el CP1 (84,5% de la variabilidad). TC intermedias (rango B) se asocian con mayores temperaturas de la vena nasal dorsal y base del cráneo. Las mayores TC (rango C) se encuentran relacionadas con mayores temperaturas del lomo, cadera y costado (Figura 4b). La TS tomada a nivel de la base del cráneo y frente explican el 99,4% de la variabilidad presentada en la TS promedio (Figura 4c). Las mayores FR se presentan cuando la RS, TGN, TAY TS promedio son elevadas (rangos D y E). La TA, TGN, RS e ITH explican el 91,5% de la variabilidad presentada en la FR (CP1; Figura 4d). El Cuadro 7 muestra los resultados de los vectores medios para las variables que mejor explican los rangos de TC, TS y FR evaluados a través de ACP.



**Figura 4.** Representación gráfica de la relación entre los rangos de temperatura corporal de ovejas West African con las variables climáticas (a), rangos de temperatura corporal y los puntos de medición de la temperatura superficial (b), rangos de temperatura superficial promedio y los puntos de medición de la temperatura superficial (c) y rangos de frecuencia respiratoria con las variables climáticas y fisiológicas (d).

**Cuadro 7.** Vectores medios para las variables que mejor explican las variaciones de la temperatura corporal (TC), temperatura superficial (TS) y frecuencia respiratoria (FR), según el análisis de componentes principales.

| Nivel                | Variable                  |                           |                                |            |           |
|----------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------|-----------|
| <b>TC (°C)</b>       | <b>TGN</b>                | <b>HR</b>                 | <b>RS</b>                      | <b>ITH</b> |           |
| ≤ 39,0               | 37,5                      | 40,9                      | 145,7                          | 80,0       |           |
| 39,1 – 39,5          | 41,2                      | 40,9                      | 371,4                          | 80,4       |           |
| ≥ 39,6               | 42,8                      | 46,5                      | 547,6                          | 80,7       |           |
| <b>TC (°C)</b>       | <b>Temperatura lomo</b>   | <b>Temperatura cadera</b> | <b>Temperatura del Costado</b> |            |           |
| ≤ 39,0               | 37,7                      | 37,2                      | 36,7                           |            |           |
| 39,1 – 39,5          | 39,8                      | 38,2                      | 37,7                           |            |           |
| ≥ 39,6               | 41,2                      | 39,0                      | 38,2                           |            |           |
| <b>TS (°C)</b>       | <b>Temperatura cráneo</b> |                           | <b>Temperatura frente</b>      |            |           |
| 30,0 – 35,0          | 33,6                      |                           | 33,3                           |            |           |
| 35,1 – 38,0          | 36,6                      |                           | 36,6                           |            |           |
| 38,1 – 40,0          | 39,3                      |                           | 39,7                           |            |           |
| ≥ 40,1               | 41,9                      |                           | 42,8                           |            |           |
| <b>FR (mov/ min)</b> | <b>TA</b>                 | <b>TGN</b>                | <b>RS</b>                      | <b>ITH</b> | <b>TS</b> |
| 40 – 60              | 32,3                      | 35,8                      | 118,5                          | 79,9       | 35,5      |
| 61 – 80              | 32,6                      | 38,0                      | 180,3                          | 80,0       | 35,8      |
| 81 – 120             | 32,7                      | 39,2                      | 247,2                          | 80,2       | 36,6      |
| 121 – 150            | 33,2                      | 43,5                      | 529,1                          | 80,6       | 38,2      |
| ≥ 151                | 33,5                      | 46,6                      | 656,0                          | 80,9       | 39,6      |

TGN: Temperatura del globo negro (°C); HR: Humedad relativa (%); RS: Radiación solar (W/m<sup>2</sup>); ITH: Índice de temperatura y humedad (unidades); TA: Temperatura ambiente (°C).

## DISCUSIÓN

El uso de sombra para resguardo de los rumiantes a pastoreo, ya sea natural o artificial, es una estrategia que permite reducir la transmisión de calor del ambiente al animal debido a que limita la radiación solar directa (Nienaber y Hahn, 2007; Pinto-Santini *et al.*, 2014). Sin embargo, su uso como estrategia de manejo habitual en condiciones tropicales y en especial en Venezuela, donde la radiación solar es elevada la mayor parte del año, no es común. En el caso particular de los pequeños rumiantes en pastoreo, debido a que en los sistemas de producción se utilizan razas rústicas y adaptadas a las condiciones del ambiente tropical originario y de manejo, su uso cotidiano es aún menos frecuente.

En el caso de la sombra artificial existen un conjunto de interrogantes sobre la optimización de su uso, debido a que tanto el tipo de material del techo (tela, malla, acerolit, etc.), como la necesidad de sombra ( $m^2/\text{animal}$ ), el momento de uso por el animal (a voluntad y/o resguardo obligatorio en horas de mayor RS) y la época del año (época seca o lluviosa), pueden afectar los resultados obtenidos (López *et al.*, 2015; Pinto-Santini *et al.*, 2014; Sanmiguel y Díaz, 2011). Estudios anteriores donde se evaluó el efecto de la disponibilidad de sombra durante el pastoreo en corderas West African durante la época de lluvia demostraron que la misma reduce los efectos negativos de los elementos climáticos, principalmente la RS, alterando los índices fisiológicos de los animales (Pinto-Santini *et al.*, 2014; López *et al.*, 2015). Sin embargo, estos mismos autores reportan niveles superiores, según los valores promedios diarios, de HR e ITH bajo el techo, atribuidos a la acumulación de humedad por el material utilizado (lona) y a la época del año (López *et al.*, 2015). En el caso de estos experimentos, los animales tenían disponibilidad de sombra a voluntad y probablemente los mismos lo usaban en horas en las que la HR bajo techo era baja, sin embargo, lo anterior no fue evaluado.

En el presente experimento no se presentaron diferencias entre tratamiento para los promedios diarios de las variables TA, HR e ITH ( $P>0,05$ ). Tal y como se esperaba, la utilización del techo redujo la RS en SOMBRA en un 85% y se observó una menor HR e ITH ( $P\leq 0,05$ ) durante el período de 12:00 a 14:00 horas. Lo anterior permite pensar que este material, en comparación con la tela, es mucho mejor para el suministro de sombra en animales a pastoreo o en su defecto, que las respuestas diferenciales son debidas a la época de aplicación, en este caso, finales de la época seca (mes de Mayo).

Hasta el presente no existe un consenso en la literatura sobre la definición o punto de quiebre de los valores de ITH que garanticen el confort térmico de los ovinos en

condiciones tropicales, sin embargo, valores  $\geq 72$  unidades de ITH, pudieran, similar a otros animales, indicar una situación de alerta por estrés, aun en animales West African (López *et al.*, 2015). Tomando en cuenta lo anterior, los valores de ITH durante el experimento (Figura 2), sobrepasan este umbral la mayor parte de los días evaluados, ya que, se acercan a 77 unidades tanto al inicio (3 a 5 d) como al final del mismo (27 a 32 d) y, durante las horas de resguardo son  $\geq 80$  unidades. De acuerdo a lo señalado por la World Meteorological Organization (1989), la condición de alerta por estrés en animales de finca se encuentra entre 71 y 79 unidades y cuando estos son  $\geq 80$  unidades se encuentran en estrés, por lo cual, las condiciones ambientales en la zona pudieran estar comprometiendo el bienestar térmico de éstos animales. Durante el ensayo, se observó una correlación alta y negativa entre la TA y la HR, situación que se ajusta a la relación ambiental tropical descrita por Oliveros *et al.* (2008) en la zona. Los incrementos en los valores de ITH fueron debidos a elevaciones en los valores promedios diarios de la HR, ya que, la TA se mantuvo relativamente estable durante la experiencia (Figura 2).

La TGN demostró el efecto positivo de la intercepción de los rayos solares por la malla sombreadora. En tal sentido, los valores de TGN en SOMBRA son significativamente inferiores a SOL ( $P \leq 0,01$ ). A pesar de que el ITH en ambos grupos es  $> 80$  unidades, los animales resguardados bajo techo durante las horas de mayor RS del día pudieran presentar una sensación térmica diferente al grupo de SOL. Las respuestas fisiológicas presentadas son prueba de ello; en SOL se presentaron niveles superiores de TC, TS, FR y CTC ( $P \leq 0,05$ ) (Cuadro 3). Destaca, sin embargo, que las diferencias de TC son de apenas  $0,1^\circ\text{C}$  entre SOL y SOMBRA, lo que evidencia la alta capacidad homeostática del West African y que puede constatarse al evaluar los distintos gradientes de temperaturas (Cuadro 6) en los que a pesar de las mayores TS de los animales del grupo no resguardado bajo sombra ( $P \leq 0,05$ ), no se presentaron diferencias en el gradiente TA-TC ( $P > 0,05$ ).

Considerando  $39^\circ\text{C}$  como la TC promedio de los ovinos de pelo, se observa que tanto en el grupo de SOL como en SOMBRA los valores promedios lo superan en  $0,4$  y  $0,3^\circ\text{C}$  respectivamente, es decir, que los animales están almacenando calor (Pereira *et al.* 2008) y que probablemente, en SOL, la capacidad de termólisis puede tener un mayor compromiso en comparación con SOMBRA. Sin embargo, el desempeño productivo de los animales no necesariamente puede verse alterado debido que, tal como fue señalado por Santos *et al.* (2006), se requiere de un incremento de  $1^\circ\text{C}$  en la TC para reducir el desempeño en la mayoría de los animales domésticos. El ACP (Figura 4) demuestra que

el incremento inicial de la TC de los animales se debe al aumento de la TA (rango B); sin embargo, cuando la TC  $\geq 39,6^{\circ}\text{C}$  las causas son atribuidas a la acción de la RS y HR. Para este ensayo, cuando la HR  $> 46,5\%$  y la RS  $> 547,6 \text{ W/m}^2$ , se presentan las mayores TC (Cuadro 7).

Cuando la TA supera los  $23^{\circ}\text{C}$ , límite superior de la zona de termotolerancia, las pérdidas de calor evaporativas son las más eficientes en comparación con las sensibles (Santos *et al.* 2006; Pereira, 1987). En el caso específico de los pequeños rumiantes y de acuerdo con los autores mencionados, las pérdidas por sudoración cutánea son reducidas ( $\leq 30\%$ ) siendo la FR el principal mecanismo de termólisis. En tal sentido, destacan los elevados niveles promedio de FR presentados por los animales durante el ensayo, los cuales son superiores casi en un 20% en el grupo de SOL ( $P \leq 0,01$ ; Cuadro 4), los cuales son similares a los presentados por Santos *et al.* (2006). Pinto-Santini *et al.* (2014) reportaron mayores FR (mov/min) en las corderas sin acceso a sombra, tanto en horas de la mañana (44 sombra vs. 47 sol;  $P \leq 0,01$ ) como en la tarde (52 sombra vs. 59 sol;  $P \leq 0,01$ ), valores estos muy por debajo de los resultados del presente trabajo y cuyas diferencias pudieran estar asociadas a efectos de la HR y/o la edad de los animales.

Usando como referencia el trabajo de Silanikove (2000), donde se caracterizó el estrés calórico en bovinos con base a la FR (mov/min), pudiéramos decir que las ovejas de éste ensayo presentaron un nivel alto (121-150mov/min) y en algunos casos severos ( $> 151$ ) de estrés en algunos días de evaluación (Figura 3). Es conocido que cuando la HR se eleva, la capacidad de perder calor por ésta vía, independientemente del nivel de TA, se ve disminuida (Pereira *et al.* 2008). A pesar de que las correlaciones entre la FR y las variables climáticas fueron bajas (Cuadro 6), las Figuras 2 y 3 reflejan que los días en que se presentan las mayores HR, disminuyen los valores de FR y se incrementa la TC. Lo anterior fue corroborado a través de los resultados del ACP pues, tal como se evidencia en la Figura 4d, las menores FR se presentan cuando las HR son elevadas. Las variables ambientales con mayor influencia sobre la FR en el presente ensayo fueron RS, TA y TGN, en cambio, desde el punto de vista fisiológico, la TS tiene mayor influencia que la TC en la variabilidad observada. En el Cuadro 7 se evidencia que las mayores FR se presentan cuando la RS  $> 656,0 \text{ W/m}^2$ , la TGN  $> 46,6^{\circ}\text{C}$  y la TS  $> 39,6^{\circ}\text{C}$ .

Respecto al CTC, se observó que presentó una alta correlación con la FR en ambos grupos, evidencia de que la FR es la variable fisiológica que mejor explica los cambios presentados sobre el CTC (Cuadro 5). Destaca que en ambos grupos los valores de CTC

superan el valor referencial  $\sim 2$  unidades, siendo que en SOMBRA es 2,5 veces el valor mientras que en SOL es 3,5 veces, por lo que puede decirse, que el grupo de SOL presentó un menor confort térmico que SOMBRA, según este índice. Santos *et al.* (2006) refiere que los incrementos en la FR no necesariamente reflejan que el animal se encuentra bajo estrés calórico sino que por el contrario, que está disipando calor para evitar entrar en una condición de estrés, sin embargo, el jadeo de los animales podría proporcionar un indicio de una situación estresante. Independientemente de esta consideración, el gasto energético asociado al jadeo, muchas veces poco considerado, pudieran explicar parte de los bajos índices productivos presentados en los animales de finca en clima tropical.

La concentración de cortisol, hormona clave bajo situaciones de estrés, podría explicar con mayor precisión si los animales están o no bajo situaciones estresantes. Pigliacampo (2014) reporta mayores niveles de cortisol y menores niveles de insulina en corderas West African sin disponibilidad de sombra durante el pastoreo. Similarmente, Herrera (2015) señala una tendencia de menor concentración de cortisol en ovejas adultas resguardadas obligatoriamente bajo sombra durante las horas de mayor RS.

En el Cuadro 4 se observa la temperatura superficial de la piel con pelo, tomada en diferentes puntos de la superficie del animal. Los resultados demuestran que las mayores diferencias entre SOL y SOMBRA se presentan a nivel de lomo, cadera, costado, frente y base del cráneo ( $P \leq 0,01$ ). Las menores diferencias se observan en las extremidades y a nivel rostral ( $P \leq 0,01$ ). Tales diferencias de temperatura se deben, principalmente a la forma del animal y las zonas de la superficie corporal que más están expuesta a la RS. Para el caso de la región rostral, el mecanismo de enfriamiento selectivo del cerebro reportado por Mitchell *et al.* (1998) para ovinos y otros cérvidos, los cuales se asocian con la mayor actividad de las venas superficiales del rostro, podrían explicar las menores diferencias encontradas en estas áreas entre SOL y SOMBRA. No se descartan cambios posturales en las ovejas que permitan evitar la incidencia del sol en el rostro, cosa que no fue estudiada en éste trabajo.

La base del cráneo y la frente demostraron ser los puntos de la superficie corporal de las ovejas que mejor explican la TS promedio (Figura 4c). En tal sentido, las mayores TS se presentan cuando la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) de la base del cráneo y la frente son  $> 41,9$  y  $42,8$ , respectivamente. Souza *et al.* (2008) en caprinos y en condiciones semi-áridas, también evaluaron la TS en distintos puntos del animal, entre ellos, la zona del lomo, costado y

frente, tanto en horas de la mañana como de la tarde, éstos reportan que las mayores TS se presentaban en la frente y costado ( $31,6^{\circ}\text{C}$ ) seguido del lomo ( $31,3^{\circ}\text{C}$ ).

En la búsqueda de herramientas más sencillas de determinación del confort térmico de los animales a pastoreo, la relación entre la TC y TS, con la mayor facilidad de medición de la última, pudiera ayudar a identificar animales de mayor o menor tolerancia. En tal sentido destaca que, los puntos de medición en la superficie corporal de las ovejas que mejor explican la variación observada en la TC fueron la temperatura del lomo, cadera y costado. Cuando la temperatura del lomo  $> 41,2^{\circ}\text{C}$ , la de la cadera  $> 39,0^{\circ}\text{C}$  y la del costado  $> 38,2^{\circ}\text{C}$ , la TC podría presentarse  $\geq 39,6^{\circ}\text{C}$ .

En general, el resguardo de las ovejas durante las horas de mayor RS pudiera ser una estrategia de manejo que permitiría mejorar el bienestar de los animales en los sistemas de producción ovinos. La RS, TA y TGN fueron las variables climáticas que más incidencia tuvieron sobre la TC. El principal mecanismo de liberación de calor de las ovejas fue el incremento de la FR, sin embargo, en ambientes de calor húmedo la misma puede verse afectada. A pesar de que la zona de la superficie corporal de las ovejas que mejor representa la TS promedio es la base del cráneo y frente, es la zona del tren posterior, específicamente la región del lomo, costado y cadera, las que más se relacionan con la TC; cuando la temperatura de la piel con pelo del lomo  $\geq 40^{\circ}\text{C}$ , la TC pudiera ser  $\geq 39,6^{\circ}\text{C}$ . A pesar de la masificación en el uso del ITH como indicador de bienestar térmico, los índices de confort basados en la fisiología animal pudieran ser más representativos de la condición de estrés; sin embargo, dado que la RS es un elemento climático modulador de la sensación térmica importante en condiciones tropicales, este o la TGN deben definitivamente incluirse en la toma de decisiones ambientales con fines de evaluación de estrés calórico, sobre todo en animales en pastoreo. A pesar de lo anterior, los resultados evidencian que el punto de quiebre del ITH en ovinos tropicales pudiera ser  $\geq 80$  unidades.

En conclusión, el estudio de la relación entre la temperatura superficial y la temperatura corporal, permite mostrar en cierta forma el nivel o estado de bienestar térmico en los ovinos tropicales, cosa que queda evidenciada con el uso de sombra artificial con malla sombreadora entre las 12:00 y 14:00 horas del día, la cual reduce la ganancia de calor de las ovejas, disminuyendo la carga radiante y mejorando los índices de confort térmico de los animales, los cuales se presentan menos calientes en su superficie corporal y deben respirar menos para mantener su temperatura corporal dentro de sus límites fisiológicos y por lo tanto, presentan un mejor nivel de confort térmico en base al

Coefficiente de Tolerancia al Calor. La temperatura superficial de la piel sin pelo de la zona posterior o caudal del animal pudiera utilizarse como una forma rápida y sencilla de predicción de la temperatura corporal en animales a pastoreo en condiciones tropicales durante la época seca. Se recomienda repetir el ensayo en época de lluvia para una mejor interpretación y recomendación práctica sobre la necesidad de resguardo bajo sombra de los animales en horas específicas del día.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este trabajo es parte del proyecto PG-01-8308-2011/2, financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad Central de Venezuela (CDCH-UCV).

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Arias, R.; T. Mader; P. Escobar. 2008. Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de Medicina Veterinaria* 40(1): 7-22.
- Barbosa, O.; R. Silva. 1995. Índice de conforto térmico para ovinos. *R. Soc. Bras. Zootec.* 24(6).
- Di Rienzo J.; F. Casanoves; M. Balzarini; L. González; M. Tablada; C. Robledo. 2008. *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Herrera, M. 2015. Efecto de la sombra sobre la concentración de progesterona durante el ciclo estral en ovejas a pastoreo. Tesis de Pregrado. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía. 28 p.
- Holdrige, L. 1979. *Ecología basada en zonas de vida*. IICA, San José, Costa Rica, 12p.
- Littell, R.; R. Henry; C. Ammerman. 1998. Statistical analysis of repeated measures data using SAS procedures. *Journal of Animal Science* 76: 1216-1231.
- López, R.; L. Pinto-Santini; D. Perozo; J. Pineda; I. Oliveros; T. Chacón; M. Rossini; L. Ríos de Álvarez. 2015. Confort térmico y crecimiento de corderas West African pastoreando con y sin acceso a sombra artificial. *Arch. Zootec.* 64 (246): 139-146.

- Mitchell, J.; L. Thomalla,; G. Mitchell. 1998. Histological Studies of the Dorsal Nasal, Angularis Oculi, and Facial Veins of Sheep (*Ovisaries*). *Journal of Morphology* 237:275–281.
- Monthanoli, Y.; N. Odongo; K. Swanson; F. Schenke; B. McBride; S. Miller. 2008. Application of infrared thermography as an indicator of heat and methane production and its use in the study of skin temperature in response to physiological events in dairy cattle (*Bos taurus*). *Journal of Thermal Biology* 33 (2008) 468–475.
- Nienaber J.; G. Hahn. 2007. Livestock production system management responses to thermal challenges. *Int J Biometeorol* 52:149–157.
- Oliveros, Y.; F. Requena; A. León; M. Ostos; R. Parra; J. Marquina; D. Bastianelli. 2008. Aplicación del índice del confort térmico como estimador de periodos críticos en cría de pollos de engorde. *ZootecnTrop*,26: 531-537.
- Pereira, G. 2008. Avaliação do Comportamento Fisiológico de Caprinos da Raça Saanen no Semi -árido paraibano. Universidade Federal de Campina Grande.
- Pereira, J. 1987. Fisioclimatología de los animales domésticos aplicada a la producción animal en el trópico americano. Editorial América. p. 136.
- Pigliacampo, A. 2014. Efecto del sol y la sombra en los potreros sobre la pubertad en borregas mestizas West African. Tesis Ing. Agr. Maracay, Venezuela. Universidad Central de Venezuela. 31 p.
- Pinto-Santini, L.; L. Ríos; O. Oliveros; A. Pigliacampo; T. Chacón. 2014. Índices fisiológicos en corderas tipo West African con acceso voluntario a sombra artificial bajo condiciones de emergencia de calor leve. *Livestock Research for Rural Development* 26 (11).
- Rocha, R. 2006. Termorregulação e adaptabilidade climática de caprinos saanen e azul no meio-norte do Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí.
- Sanmiguel, R.; V. Díaz. 2011. Mecanismos fisiológicos de la termorregulación en animales de producción. *Revista Colombiana de Ciencia Animal* 4(1).
- Santos, J.; B. Souza; W. Souza; M. Cezar; G. Tavares. 2006. Raças santa inês, morada nova e de seus cruzamentos com a raça dorper às condições do semi-árido nordestino. *Ciênc. agrotec., Lavras* 30(5): 995-1001
- Silanikove, N. 2000. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest ProdSci*, 67: 1-18.

- Souza, B.; E. Souza; M. Cezar; W. Souza; J. Dos Santos; T. Benicio. 2008. Temperatura superficial e índice de tolerancia ao calor de caprinos de diferentes grupos raciais no semi-árido nordestino. *Ciênc. agrotec.*, Lavras 32 (1): 275-280
- Souza, B.; I. Oliveira; E. Mellace; R. Siqueira; C. Zotti; P. Garcia. 2010. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o proceso termorregulatório em novilhas leiteiras. *Agrop Cientif No Semi-Árido*,6: 59-65.
- Souza, C.; I. Tinoco; F. Baeta; W. Ferreira; R. Da Silva. 2002. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. *Ciênc. Agrotec.*, Lavras, 26(1):157-164.
- Souza, E.; B. Souza; W. Souza; M. Cezar; J. Santos; G. Tavares. 2005. Determinação dos parâmetros fisiológicos e gradiente térmico de diferentes grupos genéticos de caprinos no semi-árido. *Ciênc. Agrotec.* 29(1): 177-184.
- UISI-CLIMA. 2012. Unidad de Servicios Integrados Climatológicos para la Investigación en Agricultura y Ambiente. FAGRO-UCV. Cátedra de Climatología Agrícola.
- Quesada, M.; C. McManus; F. Augusto; D. Couto. 2001. Tolerância ao calor de duas raças de ovinos deslanados no Distrito Federal. *Rev. bras. zootec.* 30(3):1021-1026.
- Valle, A. 1984. Importancia del porcentaje de área negra en animales Holstein sobre el proceso adaptativo. III. Respuestas fisiológicas a la exposición solar directa. *Zootecnia Tropical* 2(1 y 2):3-20.
- Váltora, S.; M. Gallardo. 1996. El estrés por calor en la producción lechera. El estrés por calor en producción lechera. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed). *Miscelánea*. 81:173-185.
- World Meteorological Organization. 1989. Animal Health and Production at Extremes of Weather. Technical Note N° 191. Ginebra. Suiza.
- Zambrano, C.; A. Escalona; A. Maldonado. 2005. Evaluación biológica y económica de un rebaño ovino en Barinas. IX Seminario de Pastos y Forrajes. Programa de Producción animal, UNELLEZ, Barinas, Venezuela.