

Relación de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de pelo obtenidas por termografía en ovejas gestantes estresadas por calor

R. Vicente-Pérez^{1,2}, U. Macías-Cruz^{1,*}, L. Avendaño-Reyes¹, A. Correa-Calderón¹, C. Luna-Palomera³ y A.J. Chay-Canul³

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Mexicali, Baja California, México

² Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, Departamento de Producción Agrícola, Autlán de Navarro, Jalisco, México

³ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencia Animal, Villahermosa, Tabasco, México

Resumen

El estudio tuvo como objetivo establecer la relación de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de superficie del pelo (cabeza, espalda, ijar, cadera y vientre) obtenidas a través de imágenes termográficas en ovejas de pelo gestantes y estresadas por calor. Las variables se obtuvieron de 24 ovejas gestantes multíparas Katahdin x Pelibuey cada 15 días, dos veces por día (07:00 y 16:00 h), entre el día 100 de gestación y el parto. El análisis estadístico consideró correlación de Pearson y regresión lineal simple. La temperatura rectal ($r = 0,66$ a $0,74$) y la frecuencia respiratoria ($r = 0,60$ a $0,66$) correlacionaron positivamente ($P < 0,0001$) con las diferentes temperaturas de capa de pelo. Las ecuaciones desarrolladas con cada temperatura del pelo explicaron ($P < 0,0001$) entre 36 y 55% de la variación observada en la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria. La temperatura de cabeza explicó la mayor variación ($R^2 = 0,48$ a $0,55$) en ambas variables fisiológicas. Se concluye que las temperaturas de superficie del pelo tienen una relación moderada con la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria en ovejas de pelo gestantes mantenidas en hipertermia, asimismo, la temperatura de cabeza puede ser usada en el desarrollo de ecuaciones de predicción para ambas variables fisiológicas.

Palabras clave: Hipertermia, ovinos de pelo, temperatura de cabeza, capa de pelo.

Relationship of rectal temperature and respiratory frequency with hair coat temperatures obtained by thermography in heat-stressed pregnant ewes

Abstract

The aim of the study was to determine the relationship of rectal temperature and respiratory frequency with hair surface temperature (head, shoulder, paralumbar fossa, hip and belly) obtained through thermographic images in hair ewes pregnant and heat-stressed. Variables were collected every 15 days twins daily (07:00 and 16:00 h) in 24 Katahdin x Pelibuey pregnant multiparous ewes, starting from day 100 of

* Autor para correspondencia: ulisesmacias1988@hotmail.com

Cita del artículo: Vicente-Pérez R, Macías-Cruz U, Avendaño-Reyes L, Correa-Calderón A, Luna-Palomera C, Chay-Canul AJ (2019). Relación de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de pelo obtenidas por termografía en ovejas gestantes estresadas por calor. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 115(3): 219-230. <https://doi.org/10.12706/itea.2018.035>

pregnancy to lambing. Statistical analyses were Pearson correlation and simple linear regression. Rectal temperature ($r = 0.66$ a 0.74) and respiratory frequency ($r = 0.60$ a 0.66) were positively correlated ($P < 0.0001$) with the different hair coat temperatures. The equations developed with each hair coat temperature explained ($P < 0.0001$) between 36 and 55% of the variation observed in the rectal temperature and respiratory frequency. Head temperature explained the highest variation ($R^2 = 0.48$ to 0.55) in both physiological variables. It was concluded that hair surface temperatures have a moderate relationship with rectal temperature and respiratory frequency in hair pregnant ewes maintained in hyperthermia; likewise, head temperature can be used in the development of prediction equation for both physiological variables.

Keywords: Hyperthermia, hair sheep, head temperature, hair coat.

Introducción

El estrés calórico en ovinos se detecta a través del monitoreo de los cambios en la temperatura rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR), principalmente (Marai et al., 2007). La TR es la constante fisiológica que mayor expresa los cambios en la temperatura corporal interna, considerándose que un ovino se encuentra en estrés por calor cuando los valores de esta variable son superiores a los $39,9$ °C (Marai et al., 2007; George et al., 2014). Sin embargo, la TR se determina introduciendo un termómetro por el recto, lo cual resulta en una metodología invasiva que puede comprometer el bienestar animal. Además, esta metodología puede sobrestimar el valor real de la TR porque involucra la sujeción del animal, produciendo un estrés extra que incrementa la producción de calor metabólico.

En cambio, el monitoreo de la FR es una forma no invasiva para detectar la presencia de estrés por calor en cualquier animal doméstico (Silanikove, 2000); no obstante, contabilizar la FR en ovinos estresados por calor se dificulta en comparación a los bovinos, ya que las respiraciones por minuto (rpm) puede ser superior a 200 (Silanikove, 2000; Marai et al., 2007). Así, lograr establecer un ritmo adecuado para el conteo visual de la FR es difícil, recomendándose repetir el proceso en 2 o 3 ocasiones para disminuir la variación en la medida de dicha variable (McManus et al.,

2015). En este sentido, ambas constantes fisiológicas presentan desventajas en su medición, por lo que se requiere la búsqueda de nuevas alternativas para estimar la TR y la FR.

Recientemente, se comenzó a utilizar la termografía como una herramienta tecnológica en la producción animal para captar en imágenes térmicas la radiación de tipo infrarroja que emiten y reflejan los animales (Stelletta et al., 2012). Estas imágenes permiten determinar la temperatura de la superficie de diferentes regiones corporales del animal, y relacionar dichas temperaturas con aspectos productivos, reproductivos y de salud animal (Luzi et al., 2013). Al ser la termografía infrarroja un método no invasivo, algunos estudios recomiendan el uso de imágenes térmicas como indicativo de estrés calórico en ovinos, considerando que hay una asociación positiva entre variables fisiológicas como TR y FR con temperaturas de la capa de pelo o lana obtenidas por termografía infrarroja (Castanheira et al., 2010; George et al., 2014; Paim et al., 2014; Vicente-Pérez et al., 2016).

Cabe mencionar que la relación entre variables fisiológicas y temperaturas obtenidas por imágenes térmicas se ha evaluado escasamente en ovejas de raza de pelo en el último tercio de gestación (Vicente-Pérez et al., 2016). En esta etapa, un manejo de las ovejas para determinar variables fisiológicas en combinación con el ambiente de estrés calórico podría ser perjudicial para el correcto

crecimiento y desarrollo fetal; pudiendo conducir a un problema de retardo en el crecimiento fetal, e incluso abortos (Vicente-Pérez et al., 2015). En este sentido, se requieren emplear técnicas no invasivas para determinar el grado de estrés calórico que experimentan las ovejas preñadas. El desarrollo de ecuaciones de predicción de TR y FR a partir de las temperaturas de capa de pelo es una alternativa, por lo cual establecer la relación que hay entre ellas es una necesidad. Por lo tanto, el objetivo del estudio fue establecer la relación de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de superficie del pelo (cabeza, espalda, ijar, cadera y vientre) obtenidas a través de imágenes térmicas en ovejas de pelo gestantes y estresadas por calor.

Material y métodos

El estudio se realizó durante el verano en la Unidad Experimental Ovina del Instituto de Ciencias Agrícolas (ICA-UABC), la cual se localiza en el Valle de Mexicali, Baja California, México (32° 24 latitud norte y 115° 16 longitud oeste). El clima de la región es árido y seco, muy similar al que presenta el desierto de Sonora (García, 1981). Se recogió la información climática (temperatura [T, °C] y humedad relativa [HR, %]) por hora durante todos los días que duró el experimento; esto a partir de una estación meteorológica localizada a 1,0 km del lugar de estudio. Se utilizó la siguiente fórmula para calcular el índice de temperatura-humedad (ITH): $ITH = 0,81 \times T + HR (T - 14,40) + 46,40$ (Hahn, 1999).

El experimento consistió en recoger datos de TR, FR y temperaturas de superficie de pelo durante el último tercio de gestación en un grupo de ovejas múltiparas del genotipo Katahdin x Pelibuey (n= 24, peso vivo= 51,1 ± 1,6 kg y condición corporal= 3,0 ± 0,3 unidades [escala 1-5]) (Russel et al., 1969). Las

mediciones se realizaron a las 07:00 y 16:00 h en los días 100, 115, 130 y 145 de gestación. Primero se midió la FR en todas las ovejas contando el número de movimientos del ijar derecho durante 30 s, y el dato obtenido se multiplicó por dos para obtener el total de respiraciones por minuto. Posteriormente, las ovejas fueron sujetadas individualmente para introducir rectalmente un termómetro digital (Delta Trak®, USA) durante un minuto y determinar la TR. Simultáneamente, se tomaron fotos de cuerpo completo a cada oveja desde una distancia de 2,5 m con una cámara de termografía infrarroja (Fluke TiR1, USA). Todas las fotos se descargaron en una computadora para visualizarlas con el programa Smart View® 3.9, a fin de determinar la temperatura de superficie de pelo en los siguientes sitios corporales: cabeza, espalda, ijar derecho, cadera y vientre (Figura 1).

En general, las ovejas experimentales permanecieron encerradas en dos corrales de 5 x 5 m (12 ovejas/corral), los cuales contaban con comederos, bebederos y sombra de lámina galvanizada (12,5 m²) ubicada en el centro. La alimentación se ofreció *ad libitum* con una dieta formulada para cubrir requerimientos nutricionales de ovejas gestante con dos fetos durante el periodo parto (2,4 Mcal de energía metabolizable/kg de materia seca y 12% de proteína cruda; NRC, 2007). Cabe mencionar que el estro de las ovejas se sincronizó con progestágenos y 300 UI de gonadotropina coriónica equina, así como cubiertas con monta natural controlada, esto con el objeto de garantizar que las mediciones se realizarán los mismo días en todas las ovejas.

En total se recogieron 192 datos de cada variable de estudio, no obstante, se eliminaron 10 para garantizar una distribución normal (media ± 2,5 desviaciones estándar), quedando para los análisis estadísticos 182 datos por variable. Los análisis estadísticos se realizaron aplicando diferentes procedimientos

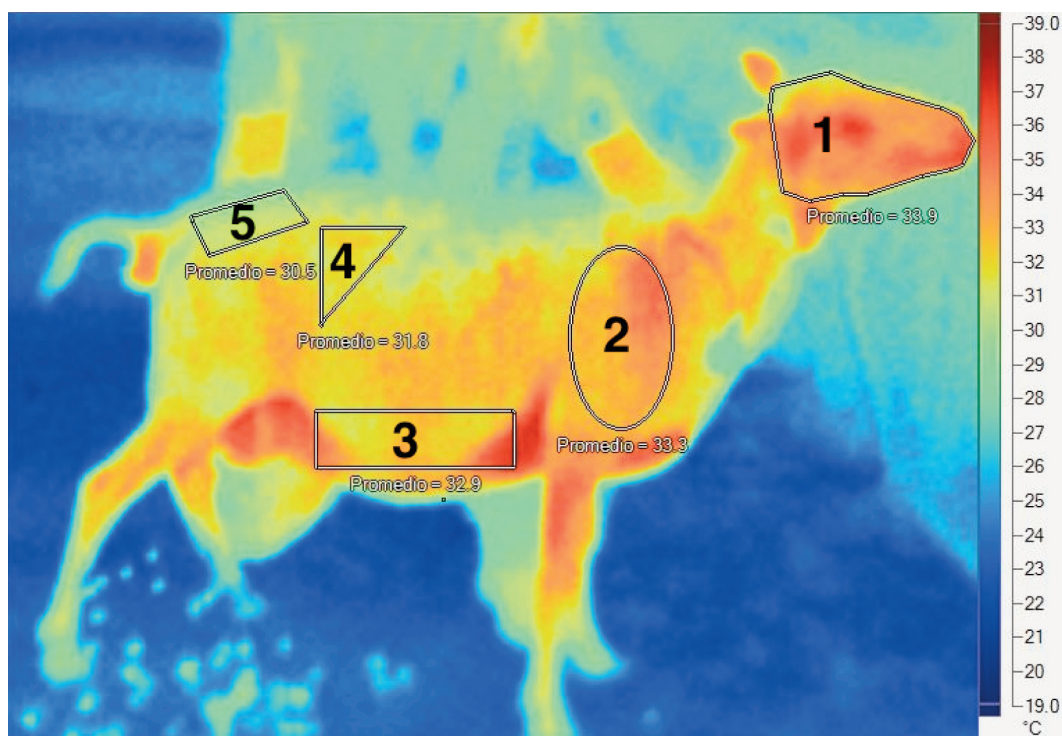


Figura 1. Temperaturas de superficie de pelo (cabeza [1], espalda [2], vientre [3], ijar [4] y cadera [5]) obtenidas a través de imágenes termográficas en ovejas gestantes estresadas por calor.

Figure 1. Hair surface temperatures (head [1], shoulder [2], belly [3], paralumbal fossa [4] and hip [5]) obtained through thermographic images in heat-stressed pregnant ewes.

del paquete estadístico SAS (SAS, 2004). Inicialmente, se calcularon medias, desviaciones estándar y coeficientes de variación para cada variable climática y de estudio usando la opción PROC MEANS. Posteriormente, a través del procedimiento PROC CORR se realizó un análisis de correlaciones de Pearson entre TR y FR con temperaturas de cabeza, espalda, ijar derecho, cadera y vientre. En forma individual, cada temperatura de superficie de pelo fue considerada una variable predictiva de la TR y la FR, de tal manera que se desarrolló un análisis de regresión lineal simple (RLS) con el PROC REG para determinar asociación entre ellas y evaluar la ecuación de la recta. Con estas ecuaciones se calcularon valores predichos de TR y FR, los

cuales se compararon con los valores observados a través de una RLS. Adicionalmente, en cada modelo RLS desarrollado, se aplicó la prueba Durbin-Watson (DW) para verificar el supuesto de independencia, así como la prueba de falta de ajuste para examinar la presencia de error puro y la existencia de relación de primer orden entre variables dependientes y regresoras (Kutner et al., 2005). Finalmente, se siguieron los siguientes criterios de evaluación para seleccionar el mejor modelo de predicción de cada variable de respuesta: 1) mayor coeficiente de determinación (R^2), 2) menor raíz cuadrada media del error (RMSE), 3) menor coeficiente de variación (CV) y 4) mayor coincidencia entre valores observados y predichos.

Resultados

Las condiciones climáticas durante el periodo experimental fueron $34,3 \pm 5,7$ °C de T, $44,2 \pm 18,5\%$ de HR y $82,6 \pm 3,5$ unidades de ITH. Se observó una variación de 142 rpm entre los valores mínimos y máximos de la FR, mientras que en la TR fue de solo 2,8 °C. En las temperaturas de capa de pelo se observó un promedio de variación de 13,2 °C entre valores mínimos y máximos (Tabla 1). Se observaron valores promedios para TR y FR de 39,6 °C y 116,5 rpm, respectivamente.

La TR y la FR mostraron correlacionarse ($P < 0,01$) positivamente y en forma moderada ($0,60 \leq r \leq 0,74$) con las diferentes temperaturas de la capa de pelo obtenidas por termografía (Tabla 2). Los resultados RLS mostraron que todas las temperaturas de capa de pelo explicaron ($P < 0,01$) las variaciones observadas en la TR ($R^2 = 0,43$ a $0,55$) y la FR ($R^2 = 0,36$ a $0,48$) (Tabla 3). Los análisis de comparación entre valores observados y predichos de TR y FR mostraron que, los valores predichos calculados con las diferentes ecuaciones coincidieron ($P < 0,01$) con los valores

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de temperatura rectal, frecuencia respiratoria y temperatura de superficie de pelo en ovejas gestantes bajo condiciones de estrés calórico.

Table 1. Descriptive statistics of rectal temperature, respiration frequency and temperatures from hair surface in pregnant ewes under heat stress condition.

	Media	DE	Mínimo	Máximo	CV
Frecuencia respiratoria, rpm	116,4	30,0	50,0	192,0	25,7
Temperatura rectal, °C	39,6	0,4	38,3	41,1	1,0
Temperatura de pelo, °C					
Cabeza	37,9	2,2	31,9	43,3	5,8
Espalda	37,9	3,4	31,0	43,4	8,9
Ijar derecho	37,7	3,2	28,3	44,1	8,4
Cadera	37,6	2,9	29,2	44,5	7,7
Ventre	37,4	2,4	30,4	41,7	6,4

DE = Desviación estándar, CV = Coeficiente de variación.

Tabla 2. Correlaciones de Pearson de temperatura rectal y frecuencia respiratoria con temperaturas de la superficie del pelo en ovejas gestantes estresadas por calor.

Table 2. Pearson correlation of rectal temperature and respiration frequency with temperatures from hair surface, in heat-stressed pregnant ewes.

	Temperatura rectal	Frecuencia respiratoria
Temperatura de cabeza	0,74***	0,69***
Temperatura de espalda	0,70***	0,60***
Temperatura de ijar derecho	0,74***	0,61***
Temperatura de cadera	0,71***	0,61***
Temperatura de vientre	0,66***	0,61***

*** Significación $P < 0,0001$.

Tabla 3. Ecuaciones desarrolladas para temperatura rectal (TR) y frecuencia respiratoria (FR) a partir de las temperaturas (T) de superficie del pelo en ovejas gestantes estresadas por calor.

Table 3. Equations developed for rectal temperature (TR) and respiratory frequency (FR) using temperatures (T) from hair surface in heat-stressed pregnant ewes.

Ecuaciones	R ²	EE β ₀	EE β ₁	RMSE	CV	Valor de P	DW	FA (P)
TR = 33,87 + 0,15 x Tcabeza	0,55	0,39	0,01	0,29	0,74	<0,001	1,76	0,84
TR = 35,86 + 0,10 x Tijar	0,54	0,26	0,01	0,29	0,75	<0,001	1,67	0,96
TR = 35,65 + 0,11 x Tcadera	0,51	0,29	0,01	0,30	0,78	<0,001	1,58	0,11
TR = 34,84 + 0,12 x Tespalda	0,49	0,37	0,01	0,31	0,78	<0,001	1,50	0,11
TR = 35,48 + 0,11 x Tvientre	0,43	0,35	0,01	0,31	0,79	<0,001	1,50	0,45
FR = -265,98 + 10,07 x Tcabeza	0,48	30,67	0,80	21,77	18,70	<0,001	1,90	0,20
FR = -130,16 + 6,55 x Tcadera	0,38	23,74	0,62	24,98	21,29	<0,001	1,91	0,02
FR = -113,38 + 6,09 x Tijar	0,38	22,33	0,58	24,89	21,19	<0,001	1,90	0,25
FR = -217,80 + 8,94 x Tvientre	0,38	32,80	0,87	25,18	21,32	<0,001	1,73	0,15
FR = -197,39 + 8,27 x Tespalda	0,36	31,64	0,82	25,41	21,57	<0,001	1,85	0,10

R² = Coeficiente de determinación, EE = Error estándar, β₀ = Intercepto, β₁ = Pendiente, RMSE = Error de la raíz cuadrada de la media, CV = Coeficiente de variación, DW = Durbin-Watson, FA = Falta de ajuste (P < 0,05).

observados (Figura 2 y 3); encontrándose una mejor coincidencia entre valores observados y predichos de ambas variables fisiológicas (TR y FR) cuando las ecuaciones incluyeron la temperatura de cabeza como variable predictora. Los valores del estadístico de Durbin-Watson para los modelos de TR (DW = 1,50-1,76) y FR (DW = 1,73-1,91) se aproximaron a 2,0, mientras la falta de ajuste (P = 0,02) solo se detectó en el modelo de FR donde se consideró la temperatura de cadera como predictora (Tabla 3).

Basado en los criterios de evaluación de las ecuaciones (Tabla 3), la TR y la FR pueden predecirse con las siguientes ecuaciones: TR = 33,87 + 0,15 x temperatura de cabeza (R² = 55%, RMSE = 0,29 y CV = 0,74) y FR = -265,98

+ 10,07 x temperatura de cabeza (R² = 48%, RMSE = 21,77 y CV = 18,70). En el caso de la TR también podría predecirse con la ecuación donde se usó temperatura del ijara derecho como predictora, ya que los parámetros de evaluación de esa ecuación (R² = 54%, RMSE = 0,29 y CV = 0,75) son similares a los observados para la ecuación donde se utilizó temperatura de cabeza como predictora. Cabe mencionar que la precisión con la cual se pueden predecir tanto TR (observada = 39,6 ± 0,6 °C vs. predicha = 39,5 ± 0,3 °C) y FR (observada = 116 ± 30 rpm vs. predichas = 116 ± 25 rpm) con esas ecuaciones es moderada, esto basado en los valores de R² (0,48 a 0,55) obtenidos en las regresiones entre valores observados y predichos.

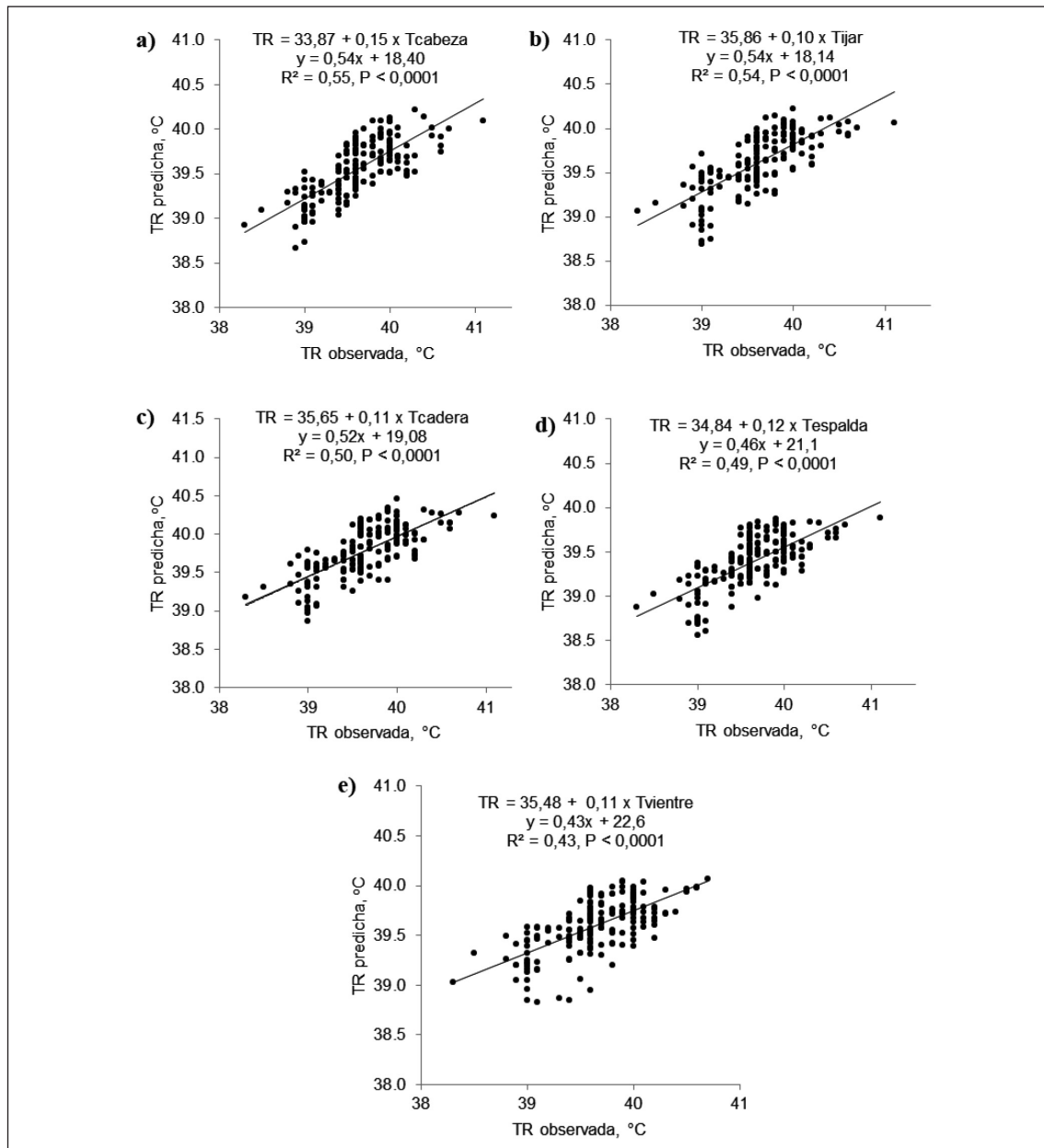


Figura 2. Relación entre temperatura rectal (TR) observada y predicha a partir de cada una de las ecuaciones de regresión desarrolladas. Las temperaturas de superficie de pelo empleadas en las ecuaciones fueron las siguientes: cabeza (Tcabeza, a), ijara derecha (Tijar, b), cadera (Tcadera, c), espalda (Tespalda, d) y vientre (Tvientre, e).

Figure 2. Relationship between observed and predicted rectal temperature (TR) using each equation of regression developed. The hair surface temperatures used in equations were: head (Tcabeza, a), right paralumbar fossa (Tijar, b), hip (Tcadera, c), shoulder (Tespalda, d) and belly (Tvientre, e).

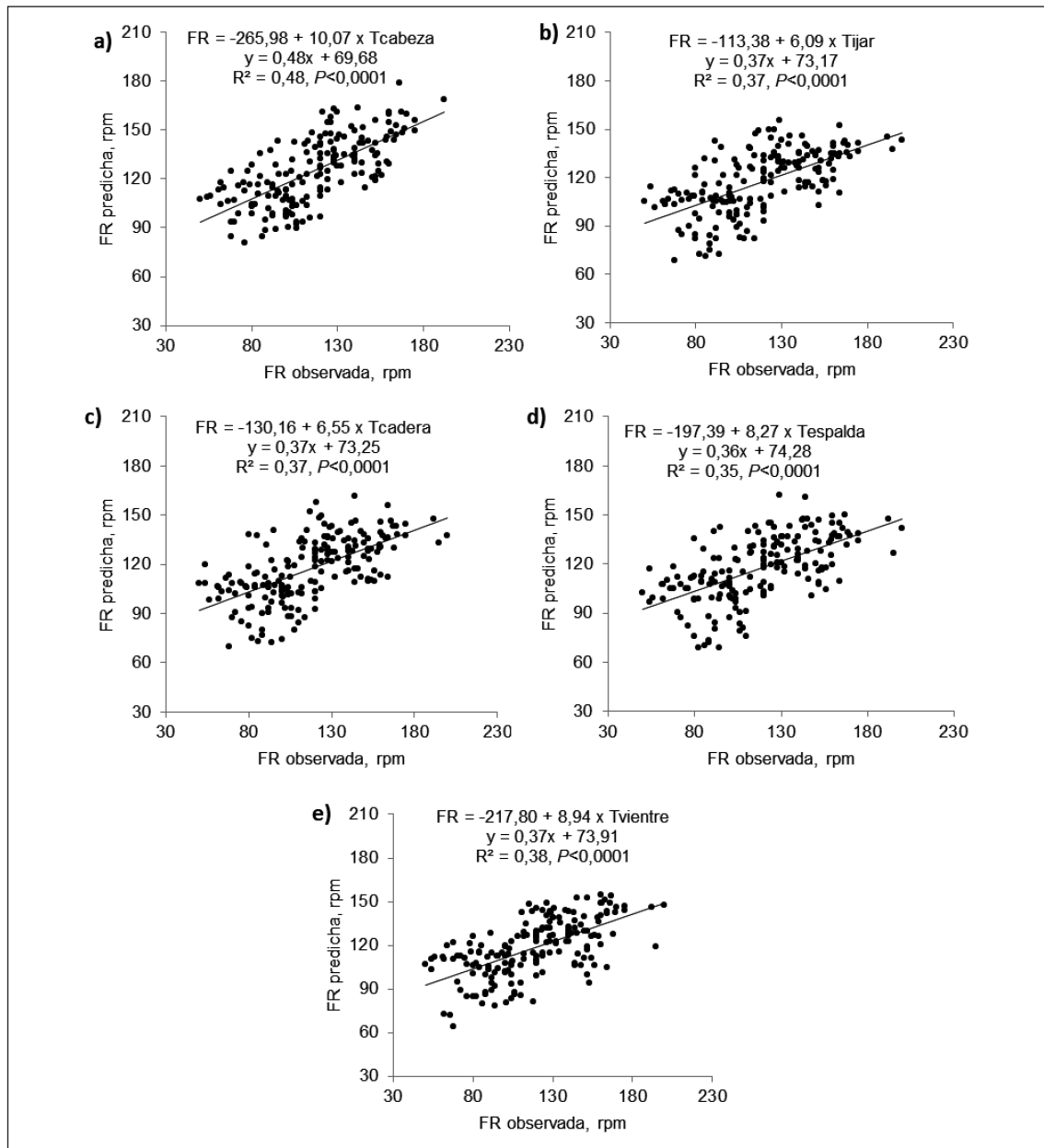


Figura 3. Relación entre frecuencia respiratoria (FR) observada y predicha a partir de cada una de las ecuaciones de regresión desarrolladas. Las temperaturas de superficie de pelo empleadas en las ecuaciones fueron las siguientes: cabeza (Tcabeza, a), ijlar derecho (Tijar, b), cadera (Tcadera, c), espalda (Tespalda, d) y vientre (Tvientre, e).

Figure 3. Relationship between observed and predicted respiratory frequency (FR) using each equation of regression developed. The hair surface temperatures used in equations were: head (Tcabeza, a), right paralumbar fossa (Tijar, b), hip (Tcadera, c), shoulder (Tespalda, d) and belly (Tvientre, e).

Discusión

Las condiciones ambientales prevalecientes durante el periodo de estudio fueron consideradas de estrés calórico para las ovejas, ya que las razas de pelo comienzan a experimentar signos de hipertermia con $T \geq 30$ °C e $ITH \geq 78$ unidades (Menezes Wanderley Neves et al., 2009). Además, el estrés calórico se clasificó como de tipo moderado basado en el ITH promedio que quedó en el rango de las 82-84 unidades (Marai et al., 2007).

Las grandes variaciones entre los valores mínimos y máximos de las variables fisiológicas (2,8 °C para TR y 142 rpm para FR) se deben a que se incluyeron datos de los horarios de la mañana y tarde. De manera natural, las T e ITH son superiores en las tardes y, consecuentemente, también los valores de las diferentes variables fisiológicas (Marai et al., 2007; Macías-Cruz et al., 2016). Por otra parte, los promedios de TR (39,6 °C) y FR (116,5 rpm) observados en el presente estudio coinciden con resultados (TR = 39,2 °C y FR = 115 rpm) de un estudio previo realizado en la misma región durante la época de verano (Macías-Cruz et al., 2013). En general, la TR de las ovejas estuvo dentro del rango normal (38,5-39,9 °C) (McManus et al., 2009), mientras que la FR estuvo 187% por encima de la indicada para condiciones termoneutrales en ovinos (Silanikove, 2000; Marai et al., 2007). Esto sugiere que la FR es un importante mecanismo de termorregulación evaporativo que permite a las ovejas de pelo gestantes mantener condiciones de normotermia en regiones áridas durante la época caliente.

La TR y la FR se correlacionaron en forma positiva y moderada con las diferentes temperaturas de capa de pelo. Algunos estudios realizados en ambientes cálidos explican que esta relación positiva de TR y FR con temperaturas de superficie corporal se presenta porque los ovinos de raza de pelo termoregulan en condiciones de estrés calórico dis-

pando gran cantidad de calor corporal a través de la piel (McManus et al., 2009; Mendes et al., 2013; Macías-Cruz et al., 2018). En congruencia con estos resultados, TR y FR mostraron una correlación positiva con temperatura de pelo de cabeza, cadera, ijar y espalda bajo condiciones de estrés calórico en ovejas preñadas del genotipo Katahdin x Pelibuey ($0,49 \leq r \leq 0,67$) (Vicente-Pérez et al., 2016), así como en corderos de la raza Santa Ines ($0,54 \leq r \leq 0,75$) (McManus et al., 2015). Otro estudio también publicó la presencia de una correlación positiva ($r = 0,76$) entre TR y temperatura de ojo obtenida con cámara termográfica en ovejas lactando St. Croix puras y cruzadas con Dorper. Otro estudio también publicó la presencia de una correlación positiva ($r = 0,76$) entre TR y temperatura de ojo obtenida con cámara termográfica en ovejas lactando St. Croix puras y cruzadas con Dorper (George et al., 2014). En general, nuestros resultados confirman que la TR y la FR están asociadas positivamente con la temperatura de capa de pelo en ovinos, lo cual sugiere que las imágenes térmicas capturadas con una cámara termográfica de infrarrojo pueden usarse como un método no invasivo para diagnosticar la presencia de estrés calórico en ovejas de pelo preñadas. Además, las temperaturas de superficie de pelo pueden ser empleadas como variables independientes para desarrollar ecuaciones de predicción para TR y FR.

Con base a los resultados de la RLS, se determinó que todas las temperaturas de capa de pelo pueden explicar las variaciones de TR y FR, de tal manera que a mayor temperatura en el pelo de las diferentes regiones corporales evaluadas también serán mayores las TR y FR que se obtengan en las ovejas de pelo preñadas. La termografía de la cabeza resultó ser la variable independiente que mayor explicó las variaciones de TR ($R^2 = 0,55$) y FR ($R^2 = 0,48$), lo cual resulta lógico si se considera que también es la variable que más se correlacionó positivamente con ambas variables dependientes. En general, el análisis

de RLS evidenció que las temperaturas termográficas pueden ser utilizadas en forma individual para predecir la TR y la FR en ovejas de pelo preñadas estresadas por calor. No obstante, una mejor precisión (moderada) en la predicción de estas variables fisiológicas se puede obtener si la temperatura de cabeza es empleada como variable predictora, ya que las ecuaciones desarrolladas con esta temperatura tuvieron valores predichos que coincidieron más con los observados tanto en TR como FR. En la cabeza se localiza el hipotálamo que controla la temperatura corporal (Weschenfelder et al., 2013), lo cual podría explicar el resultado encontrado con la RLS.

Cabe mencionar que los valores observados del estadístico DW en los modelos de regresión tanto de TR y FR indican que no existió autocorrelación positiva ($DW \approx 0,0$) o negativa ($DW \approx 4,0$) en los residuales (Kutner et al., 2005). Consecuentemente, se deduce que los errores son variables aleatorias independientes y los estimadores de los modelos de regresión son eficientes. Adicionalmente, se confirmó linealidad en la mayoría de los modelos, excepto en el modelo desarrollado para FR a partir de la temperatura de cadera, en el cual se detectó falta de ajuste; por lo que un modelo más complejo no lineal podría ser requerido si se desea incluir temperatura de cadera como variable predictora (Kutner et al., 2005). Las condiciones anteriores permiten establecer que las variables dependientes y predictoras en el presente estudio son independientes y se encuentran normalmente distribuidas.

Al igual que en este estudio, otras investigaciones plantean el uso de las cámaras termográficas como un método alternativo no invasivo para evaluar el estrés calórico en ovinos (Paim et al., 2014; McManus et al., 2015; Vicente-Pérez et al., 2016; Macías-Cruz et al., 2016) y otras especies (Martello et al., 2010). Las imágenes térmicas captadas por estas cámaras permiten determinar la tempe-

ratura de diferentes superficies de pelo, las cuales pueden ser usadas para desarrollar modelos de predicción al estar correlacionadas con TR y FR (McManus et al., 2016), tal como en el presente estudio fue demostrado. En congruencia con los resultados de RLS, Vicente-Pérez et al. (2016) también desarrollaron una ecuación de predicción para TR de ovejas preñadas estresadas por calor usando la temperatura de cabeza como variable independiente, la cual predecía con una precisión moderada esta variable fisiológica ($R^2 = 0,44$). En ese mismo estudio también desarrollaron otra ecuación para predecir la TR pero usando regresión lineal múltiple (RLM), donde el modelo incluyó como predictoras a FR y temperaturas de cabeza y vientre. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0,56$) fue mejorado por incluir las tres variables independientes, sin embargo, la precisión de predicción de la TR siguió siendo moderada. Interesantemente, la ecuación desarrollada con temperatura de cabeza para TR en este estudio presentó similar R^2 (0,55 vs. 0,56) que la ecuación desarrollada con RLM en ese estudio previo (Vicente-Pérez et al., 2016). En consecuencia, es mejor opción usar la ecuación encontrada en este estudio para predecir la TR en ovejas preñadas bajo condiciones de hipertermia, ya que podría aplicarse con mayor facilidad por considerar el modelo solo una variable predictora. Otros estudios en cerdos (Chung et al., 2010) y bovinos lecheros (Martello et al., 2010) han desarrollado ecuaciones de predicción para TR a partir de temperaturas de piel o de superficie de pelo obtenidas por termografía, pero observaron baja precisión en los modelos para predecir ($R^2 \leq 0,44$).

Por otra parte, no se encontraron estudios previos sobre el desarrollo de ecuaciones de predicción para FR en ovejas preñadas usando imágenes térmicas. Por lo anterior, este podría ser el primer estudio al respecto, el cual evidenció que termografía de superficie de cabeza podría ser usado para prede-

cir la FR con una precisión moderada en ovejas gestantes bajo condiciones naturales de estrés calórico. No obstante, en ganado Holstein existe un antecedente en relación al desarrollo de un modelo predictivos para FR, donde observaron que esta constante fisiológica se podía predecir con una precisión moderada ($R^2 = 0,51$) usando temperatura de superficie corporal en general como variable predictora (Martello et al., 2010).

Conclusiones

Las temperaturas de superficie de pelo obtenidas por imágenes termográficas están asociadas positivamente con la TR y la FR en ovejas de pelo gestantes estresadas por calor. En particular, la temperatura de cabeza de las ovejas mostró ser de utilidad en el desarrollo de ecuaciones para predecir la TR ($R^2 \leq 0,55$) y la FR ($R^2 \leq 0,48$) con una precisión moderada. Por lo tanto, las imágenes térmicas en combinación de las ecuaciones de predicción de la TR y la FR podrían ser usadas como técnicas no invasivas para evaluar el estrés calórico en ovejas de pelo gestantes.

Agradecimientos

Se agradece al Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California, por las facilidades otorgadas en el uso de los animales para realizar esta investigación. El primer autor también agradece al CONACYT México por la beca otorgada para realizar sus estudios de Doctorado en Ciencias Agropecuarias.

Referencias bibliográficas

- Castanheira M, Paiva SR, Louvandini H, Landim A, Fiorvanti MCS, Dallago BS, Correa PS, McManus C (2010). Use of heat tolerance traits in discriminating between groups of sheep in central Brazil. *Tropical Animal Health and Production* 42: 1821-1828.
- Chung T, Jung W, Nam E, Kim J, Park S, Hwang CY (2010). Comparison of rectal and infrared thermometry for obtaining body temperature of gnotobiotic piglets in conventional portable germ free facility. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 23: 1364-1368.
- García E (1981). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3ª Ed. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México, México, DF. 90 pp.
- George WD, Godfrey RW, Ketring RC, Vinson MC, Willard ST (2014). Relationship among eye and muzzle temperatures measured using digital infrared thermal imaging and vaginal and rectal temperatures in hair sheep and cattle. *Journal of Animal Science* 92: 4949-4955.
- Hahn GL (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *Journal of Animal Science* 77: 10-20.
- Kutner MH, Nachtsheim CJ, Nester J, Li W (2005). *Applied linear statistical models*, 5ª Ed. McGraw Hill, New York, NY, USA. 1396 pp.
- Luzi F, Mitchell M, Nanni Costa L, Redaelli V (2013). Thermography: current status and advances in livestock animals and in veterinary medicine. Ed. Fondazione Iniziative Zooprofilattiche, Brescia, Italia. 216 pp.
- Macías-Cruz U, Álvarez-Valenzuela FD, Correa-Calderón A, Díaz-Molina R, Mellado M, Meza-Herrera CA, Avendaño-Reyes L (2013). Thermoregulation of nutrient-restricted hair ewes subjected to heat stress during late pregnancy. *Journal of Thermal Biology* 38: 1-9.
- Macías-Cruz U, López-Baca MA, Vicente R, Mejía A, Álvarez FD, Correa-Calderón A, Meza-Herrera CA, Mellado M, Guerra-Liera JE, Avendaño-Reyes L (2016). Effects of seasonal ambient heat stress (spring vs. summer) on physiological and metabolic variables in hair sheep located in an arid region. *International Journal of Biometeorology* 60: 1279-1286.
- Macías-Cruz U, Gastélum MA, Avendaño-Reyes L, Correa-Calderón A, Mellado M, Chay-Canul A, Arechiga CF (2018) Variaciones en las respuestas

- termoregulatorias de ovejas de pelo durante los meses de verano en un clima desértico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9: 738-753.
- Marai IFM, El-Darawany AA, Fadiel A, Abdel-Hafez MAM (2007). Physiological traits as affected by heat stress in sheep-A review. *Small Ruminant Research* 71: 1-12.
- Martello LS, Savastano Junior H, Silva SL, Balieiro JCC (2010). Alternative body sites for heat stress measurement in milking cows under tropical conditions and their relationship to the thermal discomfort of the animals. *International Journal of Biometeorology* 54: 647-652.
- McManus C, Paluda G, Louvandini H, Gugel R, Sasaki LCB, Paiva SR (2009). Heat tolerance in Brazilian sheep: Physiological and blood parameters. *Tropical Animal Health and Production* 41: 95-101.
- McManus C, Bianchini E, Paim TP, Lima FG, Neto JB, Castanheira M, Esteves GI, Cardoso CC, Dalcin VC (2015). Infrared thermography to evaluate tolerance in different genetic groups of lambs. *Sensors* 15: 17258-17273.
- McManus C, Tanure CB, Peripolli V, Seixas L, Fischer V, Gabbi AM, Menegassi SRO, Stumpf MT, Kolling GJ, Dias E, Costa Jr JBG (2016). Infrared thermography in animal production: An overview. *Computers Electronics in Agriculture* 123: 10-16.
- Mendes LCN, Matsukuma BH, Oliveira G, Peres LCT, Gerardi B, Feitosa FLF, Venturoli Perri SH, Peiró JR (2013). Efeito da tosquia na temperatura corpórea e outros parâmetros clínicos em ovinos. *Pesquisa Veterinária Brasileira* 33: 817-825.
- Menezes Wanderley Neves ML, De Azevedo M, Barros Da Costa LA, Guim A, Menino Leite A, Cariri Chagas J (2009). Níveis críticos do índice de conforto térmico para ovinos de raça Santa Inês criados a pasto no agreste do Estado de Pernambuco. *Acta Scientiarum Animal Science* 31: 169-175.
- NRC (2007). *Nutrient Requirements of Small Ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids*. Ed. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC. 362 pp.
- Paim TP, Martins RFS, Cardoso C, Dallago B, Louvandini H, McManus C (2014). Thermal comfort index and infrared temperatures for lambs subjected to different environmental conditions. *Scientia Agricola* 71: 345-355.
- Russel AJF, Doney JM, Gunn RJ (1969). Subjective assessment of body fat in live sheep. *The Journal of Agriculture Science* 72: 451-454.
- SAS (2004). *User's guide statistics released 9.1, 2nd Ed.* SAS Institute, Inc. Cary, NC, USA.
- Silanikove N (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livestock Production Science* 67: 1-18.
- Stelletta C, Giancesella M, Vencato J, Fiore E, Morgante M (2012). Thermographic applications in veterinary medicine. En: *Infrared Thermography* (Ed. Prakash RV), pp. 117-140. InTechOpen. DOI: 10.5772/29135.
- Vicente-Pérez R, Avendaño-Reyes L, Álvarez FD, Correa-Calderón A, Meza-Herrera CA, Mellado M, Quintero JA, Macías-Cruz U (2015). Comportamiento productivo, consumo de nutrientes y productividad al parto de ovejas de pelo suplementadas con energía en el parto durante verano e invierno. *Archivos de Medicina Veterinaria* 47: 301-309.
- Vicente-Pérez R, Avendaño-Reyes L, Mejía-Vázquez A, Álvarez FD, Correa-Calderón A, Mellado M, Meza-Herrera CA, Guerra-Liera JE, Robinson PH, Macías-Cruz U (2016). Prediction of rectal temperature using non-invasive physiologic variables measurements in hair pregnant ewes subjected to natural condition of heat stress. *Journal of Thermal Biology* 55: 1-6.
- Weschenfelder AV, Saucie L, Maldague X, Rocha LM, Schaefer AL, Faucitano L (2013). Use of infrared ocular thermography to assess physiological conditions of pigs prior to slaughter and predict pork quality variation. *Meat Science* 95: 616-620.

(Aceptado para publicación el 27 de diciembre de 2018)