

Effect of temperature and humidity index (THI) on the physiological responses of grazing dairy cows

Efecto del índice de temperatura y humedad (ITH) en las respuestas fisiológicas de vacas lecheras en pastoreo

J. C. Valdivia-Cruz¹, J. J. Reyes-González² and G.R. Valdés-Paneque³

¹Asociación Cubana de Producción Animal (ACPA), Provincial Sancti Spiritus

²Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

³Universidad de Sancti Spiritus José Martí Pérez, Sancti Espiritus, Cuba

J. J. Reyes-González <https://orcid.org/0000-0002-9681-1187>

G.R. Valdés-Paneque <https://orcid.org/0000-0002-4979-9082>

Email: jreyes@ica.co.cu

The evaluation was performed with 25 cows from dairy 17, belonging to Dos Ríos enterprise, in order to assess the relation between the temperature and humidity index, rectal temperature and respiratory rate. The information was taken at three times of the day: morning, midday and afternoon. The results showed that in the morning the cows are in a thermo neutral zone (temperature and humidity index 69.59), while at midday they are under medium heat stress (THI 79.61), and in the afternoon under severe stress (THI 91.69). Under severe heat stress, the rectal temperature of pregnant lactating cows increased ($P = 0.0136$) by $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ with respect to the rectal temperature of non-pregnant lactating cows. The respiratory rate was not affected by the light temperature and humidity index. But in the moderate stress, pregnant cows showed higher ($P = 0.0003$) respiratory rates of 1.9 and 2.0 % in relation to non-pregnant cows for moderate and severe stress, respectively. The physiological response to the temperature and humidity index, according to the milking group, showed that the high production group had higher rectal temperature values ($P = 0.0003$) in 0.16 and 0.21 $^{\circ}\text{C}$ and the respiratory rate increased ($P = 0.0024$) in 9.21 and 7.89 % in relation to the average group, for moderate and severe stress, respectively. Under the conditions of this study, at midday and afternoon, the animals are under moderate and severe stress, respectively, conditions that affect more the lactating pregnant animals and the open cows or the highest production group.

Key words: *rectal temperature, respiratory rate, milk production*

Cuban livestock faces the great problem of the low efficiency of dairy cattle, which is due to limitations in feeding and management, as well as to climatic conditions, mainly high temperatures and relative humidity (Álvarez 2006). If the environmental temperature reaches values above $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ for animals of tropical origin, there is a failure in the thermoregulation systems, and the rectal temperature and respiratory rate increase, join to the decrease of food intake and milk production (Corrales 2014 and Salvador 2015). In this way, the animal faces the environmental conditions of the place, using its physiological capacities to adapt to the environment (West 2003 and Polsky and von Keyserlingk 2017).

The stress term is currently used in a much broader sense for its application to animal welfare (Sejian *et al.*

La evaluación se realizó con 25 vacas de la lechería 17, perteneciente a la unidad empresarial de base Dos Ríos, con el objetivo de valorar la relación que existe entre el índice de temperatura y humedad, la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria. La información se tomó en tres momentos del día: mañana, mediodía y tarde. Los resultados indicaron que en la mañana las vacas se encuentran en zona termoneutral (índice de temperatura y humedad 69.59), mientras que al mediodía se hallan en estrés calórico medio (ITH 79.61), y en la tarde en estrés calórico severo (ITH 91.69). Bajo estrés calórico severo, la temperatura rectal de las vacas lactantes gestantes se incrementó ($P=0.0136$) en $0.28\text{ }^{\circ}\text{C}$ con respecto a la temperatura rectal de las vacas lactantes no gestantes. La frecuencia respiratoria no se afectó ante el índice de temperatura y humedad ligero. Pero ante el estrés moderado, las vacas gestantes presentaron mayores ($P=0.0003$) frecuencias respiratorias en 1.9 y 2.0 % en relación con las no gestantes para estrés moderado y severo, respectivamente. La respuesta fisiológica al índice de temperatura y humedad, según grupo de ordeño, indicó que el grupo de alta producción presentó valores de temperatura rectal más altos ($P=0.0003$) en 0.16 y 0.21 $^{\circ}\text{C}$ y la frecuencia respiratoria se incrementó ($P=0.0024$) en 9.21 y 7.89 % en relación con el grupo de media, para estrés moderado y severo, respectivamente. En las condiciones de este estudio, en los horarios del mediodía y tarde, los animales se encuentran en estrés moderado y severo, respectivamente, condiciones que afectan más a los animales gestantes lactantes y a las recentinas o grupo de mayor producción.

Palabras clave: *temperatura rectal, frecuencia respiratoria, producción láctea*

La ganadería cubana se enfrenta al gran problema de la baja eficiencia del ganado lechero, lo que obedece a las limitaciones en la alimentación y el manejo, así como a las condiciones climáticas, fundamentalmente las altas temperaturas y humedad relativa (Álvarez 2006). Si la temperatura ambiental alcanza valores por encima de los $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ para los animales de origen tropical, se produce una falla en los sistemas de termorregulación, y aumenta así la temperatura rectal y la frecuencia respiratoria, unido a la disminución del consumo de alimento y la producción de leche (Corrales 2014 y Salvador 2015). De este modo, el animal se enfrenta a las condiciones ambientales del lugar, utilizando sus capacidades fisiológicas de adaptación al medio ambiente (West 2003 y Polsky y von Keyserlingk 2017).

El término estrés se utiliza actualmente con un sentido

2015). That is why codes that regulate animal welfare have been published, such as the sanitary code for terrestrial animals (OIE 2017). In its chapter 7.11.4, this code defines the measurable criteria of animal welfare, where it includes as indicators of negative behavior the decrease in dry matter intake, the increase in respiratory rate and other abnormal behaviors, related to the effect of management the animals are submitted. The objective of this study was to evaluate the effect of temperature and humidity index (THI) on the physiological and productive indicators of Siboney de Cuba crossbred cows in dairy 17 from Dos Ríos Enterprise.

Materials and Methods

The study was carried out in dairy 17, from Dos Ríos Enterprise, belonging to Managuaco agricultural enterprise, located at 210 56 'N and 790 20' W, in Sancti Spíritus municipality, Sancti Spíritus province. The predominant soil in this region is soft brown carbonate (Hernández *et al.* 2015).

A total of 25 cows from Siboney de Cuba breed were used, in milking, in different lactation phases, distributed in three groups according to lactation days: a) lactation initiation (high group, 38.4 ± 11.3 d of average lactation), b) middle lactation (average group, 105.7 ± 22.5 d of average lactation) and c) lactation end (low group, 182.3 ± 31.6 d of average lactation). The animals were between the second and third lactation.

The physiological states of gestation of cows were obtained from the reproductive control cards, once the pregnancy was confirmed three months after insemination and when they did not present heat.

Environmental measurements (relative humidity and environmental temperature) and physiological responses (respiratory rate and rectal temperature) were taken at three times of the day: in the grazing, between 7:00 and 9:00 h; in the shade buildings between 11:30 and 12:30 h, and in the milking parlor between 15:00 and 16:30 h.

The measurements of environmental temperature (ET) in degrees centigrade (°C) and relative humidity (RH) in percentage value (%) were taken at 1.20 m altitude. Likewise, the meteorological data (ET and RH) were recorded at the Sancti Spíritus Meteorological Station, coinciding with the measurements date in the dairy, so that the respective comparisons could be made.

To determine the temperature and relative humidity index of the environment (THI), the formula proposed by García *et al.* (2007) was used:

$$THI = 0.81 * ET + (ET - 14.4) * RH / 100 + 46.4$$

In the animals, rectal temperature was determined by introducing a maximum clinical thermometer into the rectal vial, free of fecal matter, to eight centimeters depth. The reading was carried out after four minutes. To avoid possible negative effects on dairy production

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 5, Number 1, 2021. mucho más amplio para su aplicación al bienestar animal (Sejian *et al.* 2015). Es por ello que se han editado códigos que reglamentan el bienestar animal, como es el código sanitario para los animales terrestres (OIE 2017). En su capítulo 7.11.4, este código define los criterios medibles del bienestar animal, donde incluye como indicadores del comportamiento negativo la disminución del consumo de materia seca, el incremento de la frecuencia respiratoria y otras conductas anómalas, relacionadas con el efecto del manejo al que se someten los animales. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto del índice de temperatura y humedad (ITH) en los indicadores fisiológicos y productivos de vacas mestizas Siboney de Cuba en la lechería 17 de la unidad empresarial de base (UEB) Dos Ríos.

Materiales y Métodos

El trabajo se desarrolló en la lechería 17, de la UEB Dos Ríos, perteneciente a la empresa agropecuaria Managuaco, ubicada en los 210 56' N y 790 20' W, en el municipio Sancti Spíritus, de la provincia de igual nombre. El suelo que predomina en esta región es de tipo pardo mullido carbonatado (Hernández *et al.* 2015).

Se utilizaron 25 vacas de la raza Siboney de Cuba, en ordeño, en diferentes fases de lactancia, distribuidas en tres grupos según días de lactancias: a) inicio de lactancia (grupo alta, 38.4 ± 11.3 d de lactancia promedio), b) lactancia media (grupo media, 105.7 ± 22.5 d de lactancia promedio) y c) final de lactancia (grupo baja, 182.3 ± 31.6 d de lactancia promedio). Los animales se encontraban entre la segunda y tercera lactancia.

Los estados fisiológicos de gestación de las vacas se obtuvieron de las tarjetas del control reproductivo, una vez confirmada la gestación a los tres meses de la inseminación y al no presentar celos.

Las medidas ambientales (humedad relativa y temperatura ambiente) y las respuestas fisiológicas (frecuencia respiratoria y temperatura rectal) se tomaron en tres momentos del día: en el pastoreo, entre las 7:00 y 9:00 h; en las naves de sombra entre las 11:30 y 12:30 h, y en la sala de ordeño entre las 15:00 y 16:30 h.

Las medidas de temperatura ambiental (TA) en grados centígrados (°C) y humedad relativa (HR) en valor porcentual (%) se tomaron a 1.20 m de altura. De igual forma se registraron los datos meteorológicos (TA y HR) en la Estación Meteorológica de Sancti Spíritus, coincidiendo con la fecha de las mediciones en la vaquería, de modo que se pudieran realizar las respectivas comparaciones.

Para determinar el índice de temperatura y humedad relativa del ambiente (ITH) se utilizó la fórmula propuesta por García *et al.* (2007):

$$ITH = 0.81 * TA + (TA - 14.4) * HR / 100 + 46.4$$

En los animales se determinó la temperatura rectal por la introducción de un termómetro clínico de máxima en la ampolla rectal, libre de materias fecales, hasta la profundidad de ocho centímetros. La lectura se realizó al cabo de cuatro minutos. Para evitar posibles efectos negativos en la producción láctea con

with the management proposed for the measurement, the animals were adapted for a previous 15 d before starting the procedure. Respiratory rate was obtained by direct observation of the animal and by counting the movements of the flanks for one minute.

Milk production was individually measured in both milkings (morning and afternoon) and was taken as daily yield, with biweekly frequencies.

The statistical analysis was carried out according to a general linear model with nested effect, where the gestation or not and the milking groups are nested at each moment of the day in which measurements were made. In the necessary cases, Duncan (1955) test was applied.

The main effect of the THI interactions and the milking groups and THI and pregnancy or not is shown when it is significant.

For milk production, analysis of variance was carried out, according to a multiplicative model for pregnancy or not and milking groups, respectively. In the necessary cases, Duncan (1955) test was applied for $P < 0.05$.

$$Y_{ijklm} = An^b \exp cn + T_i + S_j + (THI)_k + GO_l + e_{ijklm}$$

Where:

Y_{ijklm} = milk production, kg/v/d

An^b = effect of the lactation curve

T_i = effect of i-th treatment

S_j = effect of the j-th sample

$(THI)_k$ = effect of the k-th temperature-humidity index

GO_l = effect of the l-th gestation or milking group.

e_{ijklm} = normal random error distributed with mean 0 and variance σ^2

The statistical package used was the InfoStat, version 2012 (Di Rienzo *et al.* 2012)

Results and Discussion

Due to the high heat stress ratio in dairy cows, with THI values outside their thermoneutrality range, which can significantly reduce the ability to lose latent heat by evaporation, it is possible to use this index as an estimate of heat stress parameters. (Cerqueira *et al.* 2013, Callejo 2015 and Ruiz *et al.* 2019).

In a general sense, it is considered that, with THI values lower than 72.0 units, the animals are in thermoneutral conditions, or it is estimated that there are no stressful conditions. Faced with figures between 72.0 and 79.0, the presence of light stress is considered; from 80.0 to 89.0 is understood to be moderate, and values from 90.0 to 99.0 show severe stress. Higher figures are considered serious, and can limit the animals lives (Anzures *et al.* 2015 and Veissier *et al.* 2018).

The environmental conditions (figure 1), mainly the temperature registered in the sampling times, are typical in the province. They are characterized by being relatively low in the morning (25.8 ± 0.03 °C), they are highest at midday (30.1 ± 0.03 °C) and high

el manejo propuesto para la medición, los animales se adaptaron durante 15 d previos antes de comenzar el procedimiento. La frecuencia respiratoria se obtuvo mediante la observación directa al animal y el conteo de los movimientos de los flancos durante un minuto.

La producción de leche se midió individualmente en ambos ordeños (mañana y tarde) y se tomó como rendimiento diario, con frecuencias quincenales.

El análisis estadístico se realizó según modelo lineal general con efecto anidado, donde se anidan la gestación o no y los grupos de ordeño en cada momento del día en que se realizaron las mediciones. En los casos necesarios se aplicó la dócima de Duncan (1955).

Se muestra el efecto principal de las interacciones ITH y los grupos de ordeño e ITH y gestación o no, cuando resulta significativo.

Para la producción de leche se hizo análisis de varianza, según modelo multiplicativo para la gestación o no y grupos de ordeño, respectivamente. En los casos necesarios, se aplicó la dócima de Duncan (1955) para $P < 0.05$.

$$Y_{ijklm} = An^b \exp cn + T_i + S_j + (THI)_k + GO_l + e_{ijklm}$$

Donde:

Y_{ijklm} = producción de leche, kg/v/d

An^b = efecto de la curva de lactancia

T_i = efecto de i-ésimo tratamiento

S_j = efecto del j-ésimo muestreo

$(ITH)_k$ = efecto del k-ésimo índice temperatura-humedad

GO_l = efecto del l-ésima gestación o de grupo de ordeño.

e_{ijklm} = error aleatorio normal distribuido con media 0 y varianza σ^2 .

El paquete estadístico utilizado fue el InfoStat, versión 2012 (Di Rienzo *et al.* 2012)

Resultados y Discusión

Debido a la alta relación del estrés calórico en las vacas lecheras, con valores del ITH fuera de su rango de termoneutralidad, que pueden reducir significativamente la capacidad de perder calor latente por evaporación, es posible utilizar este índice como una estimación de indicadores de estrés calórico (Cerqueira *et al.* 2013, Callejo 2015 y Ruiz *et al.* 2019).

En sentido general, se considera que, ante valores del ITH menores que 72.0 unidades, los animales se encuentran en condiciones de termoneutralidad, o se estima que no existen condiciones estresantes. Ante cifras entre 72.0 y 79.0, se considera la presencia de estrés ligero; de 80.0 a 89.0 se entiende que es moderado, y valores de 90.0 a 99.0 indican estrés severo. Cifras superiores se consideran graves, y pueden limitar la vida de los animales (Anzures *et al.* 2015 y Veissier *et al.* 2018).

Las condiciones ambientales (figura 1), fundamentalmente la temperatura registrada en los horarios de muestreo, son típicas en la provincia. Se caracterizan por ser relativamente bajas en la mañana (25.8 ± 0.03 °C), son más elevadas al mediodía (30.1 ± 0.03 °C) y altas en la

in the afternoon (34.6 ± 0.04 °C). These temperatures, combined with high humidity (average of 91 to 93 %) throughout the study period, lead to THI values of 69.59 ± 1.59 units (light stress), 79.61 ± 1.26 units (moderate stress) and 91.69 ± 1.24 units (severe stress), for the morning, midday and afternoon, respectively.

tarde (34.6 ± 0.04 °C). Estas temperaturas, combinadas con la alta humedad (promedio de 91 a 93 %) durante todo el período de trabajo, conllevan a valores de ITH de 69.59 ± 1.59 unidades (estrés ligero), 79.61 ± 1.26 unidades (estrés moderado) y 91.69 ± 1.24 unidades (estrés severo), para la mañana, mediodía y tarde, respectivamente.

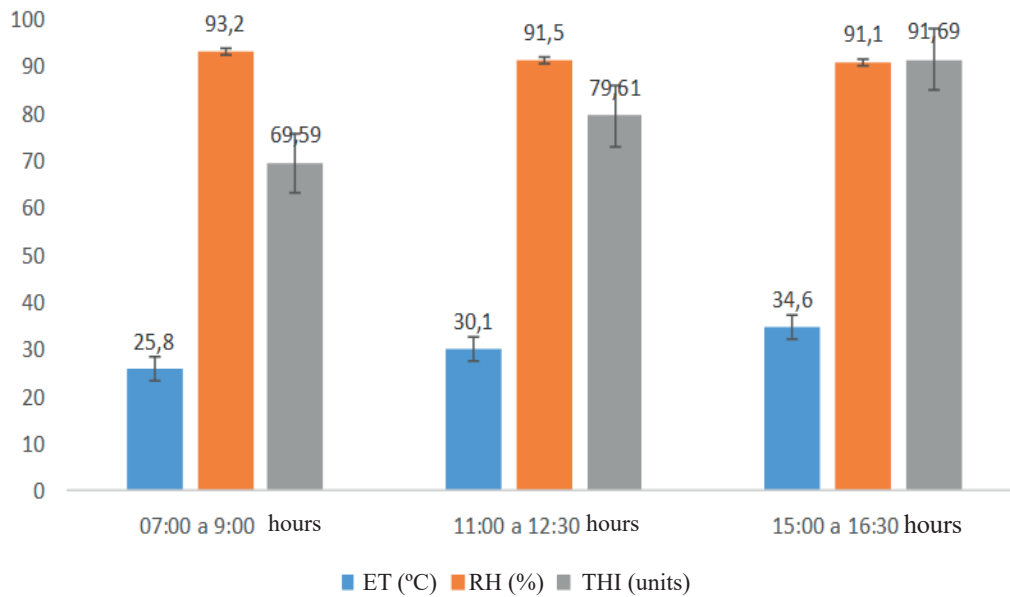


Figure 1. Climatic variables of environmental temperature (ET), relative humidity (RH) and temperature humidity index (THI), according to sampling hours

In general, the climatic information suggests that in the morning the cows were in a thermoneutral zone and under acceptable conditions to express their potential for milk production. At midday and in the afternoon, they were under moderate and severe heat stress respectively, since the dairy cow begins to experience the consequences of heat stress when the THI exceeds 72 units (Anzures *et al.* 2015 and Polsky and von Keyserlingk 2017).

En general, la información climática sugiere que en la mañana las vacas se encontraban en una zona termoneutral y en condiciones aceptables para expresar su potencial de producción de leche. Al mediodía y en la tarde, se encontraron en estrés calórico moderado y severo, respectivamente ya que la vaca lechera empieza a experimentar las consecuencias del estrés calórico cuando el ITH sobrepasa las 72 unidades (Anzures *et al.* 2015 y Polsky y von Keyserlingk 2017).

Table 1 shows the interactions between the different stress levels and the physiological responses of rectal temperature ($P = 0.0136$) and respiratory rate ($P = 0.0003$) of pregnant and non-pregnant lactating cows. With these results it is shown that, regardless of the reproductive status of the animals, as the value of the THI increases, these two physiological variables increase.

En la tabla 1 se muestran las interacciones entre los diferentes niveles de estrés y las respuestas fisiológicas de la temperatura rectal ($P=0.0136$) y la frecuencia respiratoria ($P=0.0003$) de vacas lactantes gestantes y no gestantes. Con estos resultados se demuestra que, independientemente del estado reproductivo de los animales, en la medida que se incrementa el valor del ITH, estas dos variables fisiológicas aumentan.

When assessing the reproductive status (pregnant or not) of lactating dairy cows, in the values of light and

Al valorar el estado reproductivo (gestantes o no) de las vacas lecheras que lactan, en los valores de

Table 1. Interaction between heat stress and pregnancy or not, in rectal temperature and respiratory rate of dairy cows in production

Indicator	Reproductive state	Strees			Sig.
		Light	Moderate	Severe	
Rectal temperature (°C)	Pregnant	38.96 ^a ±0.04	39.59 ^b ±0.04	40.67 ^d ±0.04	P=0.0136
	Non-pregnant	38.94 ^a ±0.04	39.66 ^b ±0.07	40.39 ^c ±0.04	
Respiratory rate (No min. ⁻¹)	Pregnant	53.27 ^a ±0.28	75.95 ^c ±0.45	91.70 ^e ±0.27	P=0.0003
	Non- pregnant	53.51 ^a ±0.27	74.49 ^b ±0.27	89.90 ^d ±0.28	

a, b, c, d, e Means with different letters differ at $P < 0.05$ (Duncan 1955)

moderate stress, it was found that there are no differences in the physiological response of rectal temperature. However, in pregnant animals with severe stress there was a higher ($P = 0.0136$) rectal temperature than in non-pregnant animals in 2.73 %.

The analysis of the effect of increasing the value of stress on both reproductive states showed ($P = 0.0136$) that rectal temperature increased by 1.62 and 2.73, 1.84 and 1.85 %, when passing from light to moderate stress, and from the latter to severe, for pregnant and non-pregnant animals, respectively.

The interaction between stress and respiratory rate of lactating cows, being pregnant or not, does not differ under light stress conditions. In this case, the animals showed respiratory rate values in the normal range established for the species (Anzures *et al.* 2015 and Allen *et al.* 2015). However, from moderate stress, pregnant cows had higher ($P = 0.0003$) respiratory rates of 1.96 and 2.00 % than non-pregnant cows, for moderate and severe stress, respectively. Similarly, regardless of the physiological state of cows, when changing from light to moderate stress conditions, and from the latter to severe stress, the respiratory rate increased ($P = 0.003$) in 42.58, 20.74 and 39.21, 20.69 % for pregnant and non-pregnant, respectively.

Table 2 shows the interactions of heat stress with rectal temperature ($P = 0.0003$) and respiratory rate ($P = 0.0024$) of dairy cows, according to the production group. These show that regardless of the production group of animals, as the stress value increases, these two physiological variables increase.

estrés ligero y moderado, se comprobó que no existen diferencias en la respuesta fisiológica de la temperatura rectal. Sin embargo, en animales gestantes con estrés severo hubo mayor ($P=0.0136$) temperatura rectal que en los no gestantes en 2.73 %.

El análisis del efecto de incrementar el valor del estrés en ambos estados reproductivos dejó ver ($P=0.0136$) que la temperatura rectal aumentó en 1.62 y 2.73, 1.84 y 1.85 %, al pasar del estrés ligero a moderado, y de este último a severo, para los animales gestantes como para los no gestantes, respectivamente.

La interacción entre el estrés y la frecuencia respiratoria de las vacas que lactan al estar gestantes o no, no difiere en condiciones de estrés ligero. En este caso, los animales presentaron valores de la frecuencia respiratoria en el rango normal establecido para la especie (Anzures *et al.* 2015 y Allen *et al.* 2015). Sin embargo, a partir del estrés moderado, las vacas gestantes tuvieron mayores ($P= 0.0003$) frecuencias respiratorias en 1.96 y 2.00 % que las no gestantes, para el estrés moderado y severo, respectivamente. De igual forma, independientemente del estado fisiológico de las vacas, al pasar de las condiciones de estrés ligero a moderado, y de este último a severo, se incrementó ($P=0.003$) la frecuencia respiratoria en 42.58, 20.74 y 39.21, 20.69 % para gestantes y no gestantes, respetivamente.

La tabla 2 presenta las interacciones del estrés calórico con la temperatura rectal ($P=0.0003$) y la frecuencia respiratoria ($P=0.0024$) de vacas lecheras, según el grupo de producción. Estas demuestran que independientemente del grupo de producción de los

Table 2. Interaction between stress and milking group on rectal temperature and respiratory rate of dairy cows in production

Indicator	Milking group	Stress			Sig.
		Light	Moderate	Severe	
Rectal temperature (°C)	High	38.76 ^a ±0.05	39.89 ^c ±0.05	40.58 ^e ±0.05	P=0.0003
	Medium	38.86 ^a ±0.06	39.73 ^b ±0.06	40.37 ^d ±0.06	
	Low	38.83 ^a ±0.06	39.82 ^{bc} ±0.06	40.51 ^{de} ±0.06	
Respiratory rate (No min. ⁻¹)	High	53.65 ^a ±1.25	77.78 ^c ±1.25	93.98 ^e ±1.25	P=0.0024
	Medium	53.07 ^a ±1.28	71.22 ^b ±1.27	87.11 ^d ±1.28	
	Low	52.64 ^a ±1.32	74.92 ^{bc} ±1.32	91.08 ^{de} ±1.33	

^{a, b, c, d, e}Means with different letters differ at $P < 0.05$ (Duncan 1955)

In the analysis of rectal temperature, face to light stress values, there were not effects on the physiological response of cows, regardless of the milking group. However, face to higher stress values, the cows from the high production group showed higher rectal temperature figures ($P = 0.0003$) in 0.16 and 0.21°C with respect to those of the medium group, for moderate and severe stress, respectively.

Regardless of stress, the cows in the low production group do not differ from those in the other two production groups, which may be due to the higher proportion of pregnant animals found in said group, since they end

animales, en la medida que se incrementa el valor del estrés aumentan estas dos variables fisiológicas.

En el análisis de la temperatura rectal, ante valores de estrés ligero no se observaron afectaciones en la respuesta fisiológica de las vacas, independientemente del grupo de ordeño. Sin embargo, ante valores de estrés superiores, las vacas del grupo de alta producción presentaron cifras más altas de temperatura rectal ($P=0.0003$) en 0.16 y 0.21 °C con respecto a las del grupo de media, para estrés moderado y severo, respectivamente.

Independientemente del estrés, las vacas del grupo de baja producción no difieren de las de los otros dos grupos

lactation. As could be observed in table 1, by itself the reproductive gestation state affects the animals equally, be under moderate or severe stress.

The rectal temperature variable of the animals according to the milking group increases ($P = 0.0003$) when going from light to moderate stress conditions, and from the latter to severe stress in 2.92, 1.73; 2.24, 1.61 and 2.55, 1.73 % for the high, medium and low milking groups, respectively.

Likewise, the lactating cows, faced to light stress effects, did not show affectations in the respiratory rate, regardless of the milking group (table 2). However, this physiological response increased ($P < 0.0024$) by 9.21 and 7.89 % for the high production group compared to the medium group, under moderate and severe stress, respectively. There was no difference between the low production group with respect to the other two.

These affectations in the physiological variables studied under moderate or severe stress in the animals from the high production group are in agreement with what is reported in the literature. Authors such as La Manna *et al.* (2014) and Leucen (2014) report that cows at the beginning of lactation are more affected by high THI values, since they showed higher metabolism due to high productive levels.

The variable of the respiratory rate of the animals increased ($P = 0.0024$) independently of the milking group, when going from the conditions of light to moderate stress, and from the latter to severe stress in 44.98, 20.83; 34.20, 22.31 and 42.32, 21.56 % for the high, medium and low milking groups, respectively.

The respiratory rate in thermoneutral conditions has been reported to fluctuate between 40 and 55 frequencies/min. for dairy cattle (Anzures *et al.* 2015 and Allen *et al.* 2015). The increase in body temperature and respiratory rate are normal mechanisms, by which cows dissipate heat to maintain their homeothermic condition in hot environments, being about 38.5 °C the body temperature considered normal in cattle (Ganaie *et al.* 2013).

Thus, the respiration rate is one of the most important mechanisms to consider when evaluating the heat stress level in cattle (Beauregard *et al.* 2018), since it is one of the main observable responses in the animal when it is exposed at temperatures that exceed your comfort threshold. This increase in the respiration rate is intended to increase respiratory heat loss, which is one of the most important for maintaining thermal balance.

Brown-Brandl *et al.* (2005) showed that measuring the respiration rate of animals, determining that they are in the panting process, as well as quantifying it, is the easiest and most affordable way to assess heat stress in cattle under commercial production conditions, since this does not require sophisticated equipment. Furthermore, unlike body temperature, the

de producción, lo que puede estar dado por la mayor proporción de animales gestantes que se encuentran en dicho grupo, ya que los mismos finalizan lactancia. Como se pudo observar en la tabla 1, por sí solo el estado reproductivo de la gestación afecta igualmente a los animales, sea ante estrés moderado o severo.

La variable temperatura rectal de los animales según el grupo de ordeño se incrementa ($P=0.0003$) al pasar de condiciones de estrés ligero a moderado, y de esta última al estrés severo en 2.92, 1.73; 2.24, 1.61 y 2.55, 1.73 % para los grupos de ordeño de alta, media y baja, respectivamente.

Igualmente, las vacas lactantes ante los efectos de estrés ligero no presentaron afectaciones en la frecuencia respiratoria, independientemente del grupo de ordeño (tabla 2). Sin embargo, esta respuesta fisiológica se incrementó ($P<0.0024$) en 9.21 y 7.89 % para el grupo de alta producción en comparación con el de media, en estrés moderado y severo, respectivamente. No hubo diferencia entre el grupo de baja producción con respecto a los otros dos.

Estas afectaciones en las variables fisiológicas estudiadas en estrés moderado o severo en los animales del grupo de alta producción están acordes con lo informado en la literatura. Autores como La Manna *et al.* (2014) y Leucen (2014) refieren que las vacas a inicio de lactancia se afectan más por altos valores del ITH, ya que presentaron mayor metabolismo debido a los altos niveles productivos.

La variable de la frecuencia respiratoria de los animales se incrementó ($P=0.0024$) independientemente del grupo de ordeño, al pasar de las condiciones de estrés ligero a moderado, y de esta última a estrés severo en 44.98, 20.83; 34.20, 22.31 y 42.32, 21.56 % para los grupos de ordeño de alta, media y baja, respectivamente.

Se ha señalado que la tasa respiratoria en condiciones termoneutrales fluctúa entre las 40 y 55 frecuencias/min. para el ganado lechero (Anzures *et al.* 2015 y Allen *et al.* 2015). El aumento de la temperatura corporal y tasa respiratoria son mecanismos normales, por los cuales las vacas disipan el calor para mantener su condición homeotérmica en ambientes cálidos, siendo de unos 38.5 °C la temperatura corporal considerada como normal en bovinos (Ganaie *et al.* 2013).

Así entonces, la tasa de respiración es uno de los mecanismos más importantes a considerar en el momento de evaluar el nivel de estrés calórico del ganado (Beauregard *et al.* 2018), ya que es de las principales respuestas observables en el animal cuando está expuesto a temperaturas que sobrepasan su umbral de confort. Este aumento en la tasa de respiración tiene por objeto incrementar la pérdida de calor por vía respiratoria, que es de las más importantes para mantener el balance térmico.

Brown-Brandl *et al.* (2005) indicaron que medir la tasa de respiración de los animales, determinar que se encuentran en proceso de jadeo, así como cuantificarlo, es la forma más fácil y asequible de evaluar el estrés por calor en el ganado en condiciones comerciales de producción, pues para ello no se requiere de equipos sofisticados.

response is practically immediate in the animal, and it follows almost the same pattern as environmental temperature.

These heat stress conditions lead directly to the activation of thermoregulatory, physiological and metabolic mechanisms, which cause a decrease in milk production, higher dissipation of body heat and a reduction in the metabolic heat production (Ganaie *et al.* 2013, Barragán *et al.* 2015, Beauregard *et al.* 2018 and Kamal *et al.* 2018).

When analyzing the effect of milk production according to the production group (table 3), it was found that the animals with high production produced more ($P = 0.0001$) milk 1.47 and 2.18 times than those with medium and low, respectively. Likewise, the average cows produced more milk ($P = 0.00001$) in 48.01 % than the low animals.

Además, a diferencia de la temperatura corporal, la respuesta es prácticamente inmediata en el animal, y sigue casi el mismo patrón de la temperatura ambiental.

Estas condiciones de estrés calórico conllevan directamente a la activación de mecanismos termorregulatorios, fisiológicos y metabólicos, que provocan baja en la producción de leche, mayor disipación de calor corporal y reducción en la producción de calor metabólico (Ganaie *et al.* 2013, Barragán *et al.* 2015, Beauregard *et al.* 2018 y Kamal *et al.* 2018).

Al analizar el efecto de la producción láctea según el grupo de producción (tabla 3), se pudo constatar que los animales con alta producción produjeron más ($P=0,0001$) leche 1.47 y 2.18 veces que los de media y baja, respectivamente. Asimismo, las vacas de media produjeron más leche ($P=0.00001$) en 48.01 % que los animales de baja.

Table 3. Effect of the milking group on the milk production of lactating dairy cows

Indicator	Milking group			Sig.
	High	Medium	Low	
Milk prod kg cow ⁻¹ day ⁻¹	2.62 ^c ⁽¹⁾ (14.24)	2.25 ^b ⁽¹⁾ (9.68)	1.80 ^a ⁽¹⁾ (6.54)	P=0.0001
SE ±	±0.05	±0.03	±0.04	

⁽¹⁾Means transformed according to ln () Original means

a, b, cMeans with different letters differ at $P<0.05$

These milk production values according to the production group are logical, since the animals are mainly grouped by their lactation days. Cows in early lactation are in the high production group, which is why they have higher potential for milk production and therefore, a higher metabolism to achieve these productions (NRC 2001 and Corrales 2014). However, as table 2 shows, this group is more susceptible to stressful environments. The adoption of measures to try to reduce this negative effect, improving management and feeding, will make possible to increase milk production (Mendoza *et al.* 2016).

This research allowed assessing that under the described conditions, the midday and afternoon hours cause stress in the animals, regardless they were in the shade buildings. The effects on rectal temperature and respiratory rate under conditions of moderate or severe stress are more marked in lactating animals in gestation and in the group of high or highest production.

Acknowledgments

Thanks to the support provided by the technicians and specialists of Dos Ríos Enterprise, from “Managuaco” enterprise, as well as the technical staff of the Biomathematics group of the Institute of Animal Science.

Estos valores de producción láctea según el grupo de producción son lógicos, ya que los animales se agrupan fundamentalmente por sus días de lactancia. Se ubican en el grupo de alta producción las vacas en inicio de lactancia, por lo que presentan mayor potencial de producción de leche y por ende, un metabolismo más alto para lograr estas producciones (NRC 2001 y Corrales 2014). Sin embargo, como muestra la tabla 2, este grupo es más susceptible al medio estresante. La adopción de medidas para tratar de disminuir este efecto negativo, mejorando el manejo y la alimentación, posibilitará el incremento de la producción láctea (Mendoza *et al.* 2016).

Esta investigación permitió valorar que en las condiciones descritas aquí, los horarios del mediodía y tarde provocan estrés en los animales, independientemente de que estén en las naves de sombra. Las afectaciones en la temperatura rectal y frecuencia respiratoria ante condiciones de estrés moderado o severo son más marcadas en los animales lactantes en gestación y en el grupo de alta o mayor producción.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo brindado por los técnicos y especialistas de la UEB Dos Ríos, de la empresa “Managuaco”, así como al personal técnico del grupo de Biomatemática del Instituto de Ciencia Animal.

Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interests among them

Author's contribution

J. C. Valdivia-Cruz : Design and conducting the experiment, data analysis, manuscript writing

J. J. Reyes-González: Design and conducting the experiment, data analysis, manuscript writing

G.R. Valdés-Paneque: Design and conducting the experiment, data analysis, manuscript writing

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

Contribucion de los autores

J. C. Valdivia-Cruz : Idea original, diseño de la investigación, análisis, escritura del artículo

J. J. Reyes-González: Idea original, diseño de la investigación, análisis, escritura del artículo

G.R. Valdés-Paneque: Idea original, diseño de la investigación, análisis, escritura del artículo

References

- Allen, J.D., Hall, L.W., Collier, R.J. & Smith, J.F. 2015. "Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress". *Journal of Dairy Science*, 98(1): 118-127, ISSN: 0022-0302, DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2013-7704>.
- Álvarez, A. 2006. Análisis regional de la cadena de lácteos en Querétaro. Memorias VII Congreso Latinoamericano de Sociología Rural. Quito, Ecuador.
- Anzures, F., Macías, U., Álvarez, F.D., Correa, A., Díaz, R., Hernández, J.A. & Avendaño, L. 2015. "Effect of season (summer vs. winter) on physiological variables, milk production and antioxidant capacity of Holstein cows in an arid zone of northwestern Mexico". *Archivos de Medicina Veterinaria*, 47(1):15-20, ISSN: 0301-732X.
- Arias, R.A., Mader, T.L. & Escobar, P.C. 2008. "Climatic factors affecting cattle performance in dairy and beef farms". *Archivos de Medicina Veterinaria*, 40(1): 7-22, ISSN: 0301-732X.
- Barragán, W.A., Mahecha, L. & Cajas, Y.S. 2015. "Variables fisiológicas metabólicas de estrés calórico en vacas bajo silvopastoreo y pradera sin árboles". *Agronomía Mesoamericana*, 26(2): 211-223, ISSN: 2215-3608, DOI: <http://dx.doi.org/10.15517/am.v26i2.19277>.
- Beauregard, J., Prado, O., García, L., García, A., Macedo, R. & Hernández, J. 2018. "Productivity of Holstein dairy cows without shade at two seasons of the year". *Abanico Veterinario*, 8(3): 51-67, ISSN: 2448-6132, DOI: <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2018.83.3>.
- Brown-Brandl, T.M., Eigenberg, R.A., Nienaber, J.A. & Hahn, G.L. 2005. "Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators". *Biosystems Engineering*, 90(4): 451-462, ISSN: 1537-5110, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006>.
- Callejo, A. 2015. El estrés calórico en vacas lecheras. Available: http://oa.upm.es/37755/1/INVE_MEM_2015_201963.pdf. [Consulted: January 27th, 2017].
- Cerqueira, J.O.L., Araújo, J.P., Blanco-Penedo, I., Cantalapiedra, J., Silvestre, M., Silva, S.R., 2013. Estudio de indicadores fisiológicos como predictores de estrés térmico de vacas lecheras en Norte de Portugal. XV Jornadas sobre Producción Animal, Tomo I, pp.40-42, Zaragoza, España, ISBN: 978-84-695-7684-7.
- Corrales, I.E. 2014. El efecto del estrés calórico en bovinos de leche. Diploma Thesis. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", Torreón, Coahuila, México.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. 2012. InfoStat, Version 2012 (Windows). Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available: <http://www.infostat.com.ar>.
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple Range and Multiple F Tests". *Biometrics*, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X, DOI: <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Ganaie, A.H., Shanker, G., Bumla, N.A., Ghasura, R.S., Mir, N.A., Wani, S.A. & Dudhatra, G.B. 2013. "Biochemical and physiological changes during thermal stress in bovines: A Review". *Iranian Journal of Applied Animal Science*, 3(3): 423-430, ISSN: 2251-628X.
- García-Ispierto, F., López-Gatiús, G., Bech-Sabat, P., Santolaria, J.L., Yàñez, C., Nogareda, F., De Rensis, M., López-Béjar. 2007. "Climate factors affecting conception rate of high producing dairy cows in northeastern Spain". *Theriogenology*, 67(8): 1379-1385, ISSN: 0093-691X, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2007.02.009>.
- Hernández, A., Pérez, J.M., Bosh, D. & Castro, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. 1st Ed. Ed. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, González, O. (ed.). San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, p. 93, ISBN: 978-959-7023-77-7.
- Kamal, R., Dutt, T., Patel, M., Dey, A., Bharti, P.K. & Chandran, P.C. 2018. "Heat stress and effect of shade materials on hormonal and behavior response of dairy cattle: a review". *Tropical Animal Health and Production*, 50: 701-706, ISSN: 0049-4747, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1542-6>.
- La Manna, A., Román, L., Bravo, R. & Aguilar, I. 2014. "Estrés térmico en vacas lecheras: con sombra y bienestar las vacas producen más". *Revista INIA*, 39(12): 34-39, ISSN: 1510-9011.
- Lucena, C. 2014. "Heat stress effect parameters of lactation curves from dairy herd in the tropics". *Gaceta de Ciencias Veterinarias*, 19(1): 11-16, ISSN: 1690-8414.
- Mendoza, A., Cajarville, C. & Repetto, J.L. 2016. "Short communication: Intake, milk production, and milk fatty acid profile of dairy cows fed diets combining fresh forage with a total mixed ration". *Journal of Dairy Science*, 99(3): 1938-1944, ISSN: 0022-0302, DOI: <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-10257>.
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Rev. Ed. Ed. National Academy Press,

- Washington D.C., U.S.A., ISBN: 978-0-309-06997-7, DOI: <https://doi.org/10.17226/9825>.
- Polsky, L. & Von Keyserlingk, M.A.G. 2017. "Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare". *Journal of Dairy Science*, 100(11): 8645-8657, ISSN: 0022-0302, DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>.
- Ruiz, J.I., Vargas, B., Abarca, S. & Hidalgo, H.G. 2019. "Heat stress effect on dairy cattle production in Costa Rica". *Agronomía Mesoamericana*, 30(3): 733-750, ISSN: 2215-3608, DOI: <https://doi.org/10.15517/am.v30i3.35984>.
- Salvador, A. 2015. Efectos del estrés calórico en vacas lecheras. Available: <http://www.agritotal.com/seccion/informacion-tecnica/>. [Consulted: December 28th, 2016].
- Sejian, V., Gaughan, J., Baumgard, L. & Prasad, C. 2015. *Climate Change Impact on Livestock: Adaptation and Mitigation*. Ed. Springer, New Delhi, India, p. 532, ISBN: 978-81-322-2265-1, DOI: <https://doi.org/10.1007/978-81-322-2265-1>.
- Veissier, I., Van Laer, E., Palme, R., Moons, C.P.H., Ampe, B., Sonck, B., Andanson, S. & Tuytens, F.A.M. 2018. "Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region". *International Journal of Biometeorology*, 62(4): 585-595, ISSN: 1432-1254, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1468-0>.
- West, JW, 2003. "Effects of heat-stress on production in dairy cattle". *Journal of Dairy Science*, 86(6): 2131-2144, ISSN: 0022-0302, DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X).

Received: April 17, 2020

Accepted: October 6, 2020