

## Characterization of the temperature-humidity index and heat stress in dairy cattle in two dairy units in Mayabeque province, Cuba.

### Caracterización del índice de temperatura y humedad y el estrés calórico en el ganado bovino de leche en dos lecherías en la provincia Mayabeque, Cuba.

Ana Valeria Enríquez Regalado<sup>1</sup> and Adrián Álvarez Adán<sup>2</sup>

A. V. Enríquez Regalado: <https://orcid.org/0000-0002-4517-8916>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>2</sup>Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, Calle L, No. 353 e/ 21 y 23, Vedado, La Habana, Cuba.

Email: [avenriquez@ica.co.cu](mailto:avenriquez@ica.co.cu)

The influence of environmental factors in dairy cows was evaluated. A database that included twelve years (2005-2016) was used. The variables ambient temperature, relative humidity, rainfalls and temperature - humidity index in heat stress levels were studied. The INFOSAT program was used for the analysis. The results show a high level of the average annual maximum temperature (30.2 °C). The same performance showed the relative humidity (76.0 %), while rainfalls did not behave in the same way, and tended to decrease by 150 mm during the analyzed period. The average temperature - humidity index was 78 in the period 2005-2016, with marked contrast in its annual distribution. Between November and March, the animals were in slight stress, as opposed to the June-September period, in which the values reached levels of 83, so the animals were exposed to severe stress conditions. During the study period, the average annual relative humidity in the research area was 76 %. Seven months maintained their average monthly value above this value (78 %). In general, an area with high relative humidity can be considered, which has its direct effect on thermal sensation and the temperature-humidity index, which considerably affects the animal welfare. It was proved that during the studied period (2005-2016) the cows were with a level from slight to severe heat stress in all months of the year, which could affect homeostasis and animal welfare.

Key words: *stress, temperature, humidity, precipitations.*

Climate change is one of the most important environmental realities that human faces in this century. Not only because of the effects it has on the different human spheres, but because it represents a challenge for the development model that human has assumed since the industrialization period (Estenssoro 2010 and Lemaire *et al.* 2019).

High temperatures and variations in the relative humidity of the environment are common in tropical summers and are considered as the most influential factors in animal welfare. Often, animals exceed the capacity of their normal mechanisms for heat dissipation they generate. On this aspect, Correa-Calderón *et al.* (2004) argue that cattle are homeothermic animals and maintain their temperature at approximately 38 °C, by controlling internal heat production and external heat gain and loss.

The performance of the meteorological variables

Se evaluó la influencia de factores ambientales en vacas lecheras. Se utilizó para ello una base de datos que comprendió doce años (2005-2016). Se estudiaron las variables temperatura ambiente, humedad relativa, precipitaciones e índice de temperatura y humedad en los niveles de estrés calórico. Para el análisis se usó el programa INFOSAT. Los resultados muestran elevado valor de la temperatura máxima media anual (30.2 °C). Igual comportamiento presentó la humedad relativa (76.0 %), mientras que las precipitaciones no se comportaron de igual forma, y tendieron a disminuir en 150 mm durante el período analizado. El promedio del índice de temperatura y humedad fue de 78 en el período 2005-2016, con contraste marcado en su distribución anual. Entre noviembre y marzo, los animales se encontraron en estrés leve, en oposición con el período junio-septiembre, en el que se alcanzaron valores de 83, por lo que los animales estuvieron expuestos a condiciones graves de estrés. Durante el período de estudio, la humedad relativa media anual en el área de investigación fue 76 %. Siete meses mantuvieron su valor medio mensual por encima de este valor (78 %). En sentido general, se puede considerar una zona con elevada humedad relativa, que tiene su efecto directo en la sensación térmica y el índice de temperatura y humedad, lo que afecta considerablemente el bienestar animal. Se comprobó que durante el período estudiado (2005-2016) las vacas se encontraron en estrés térmico de leve a grave en todos los meses del año, lo que pudiera afectar la homeostasis y el bienestar animal.

Palabras clave: *estrés, temperatura, humedad, precipitaciones.*

El cambio climático es una de las realidades ambientales más importantes que la humanidad enfrenta en este siglo. No solo por los efectos que tiene en las diferentes esferas humanas, sino porque representa un reto para el modelo de desarrollo que la humanidad ha asumido desde la etapa de industrialización (Estenssoro 2010 y Lemaire *et al.* 2019).

Las altas temperaturas y las variaciones en la humedad relativa del ambiente son comunes en los veranos tropicales y se consideran como los factores más influyentes en el bienestar animal. Con frecuencia, los animales rebasan la capacidad de sus mecanismos normales para la disipación del calor que generan. Sobre este aspecto, Correa-Calderón *et al.* (2004) argumentan que los bovinos son animales homeotermos y mantienen su temperatura en 38 °C, aproximadamente, mediante el control de la producción interna de calor y la ganancia y pérdida de calor externo.

El comportamiento de las variables meteorológicas

(temperature and humidity) causes stress conditions, which affect the physiology and homeostasis of the animal (Neri and Briones 2011), and are reflected in the decrease in voluntary intake, milk production and reproductive efficiency of production cows (Hernández *et al.* 2007 and Ghiano, *et al.* 2014). Several authors consider that dairy cattle are particularly sensitive to heat stress, due to the high metabolism of the dairy cow during lactation (Swan and Broster 1982, Bernabucci *et al.* 2014, Carabaño *et al.* 2016 and Nguyen *et al.* 2016).

In cattle livestock, animal welfare has become a determining factor to achieve their best productive expression (Sirven 2015). At present, the temperature-humidity index (THI) is the indicator of animal welfare most used to assess the comfort level of animals (Leva and Valtorta 1996, Olivares *et al.* 2013, Carabaño *et al.* 2016 and Nguyen *et al.* 2016). The objective of this study was to determine the temperature-humidity levels (THI) and heat stress in dairy units of the Instituto de Ciencia Animal (ICA), Mayabeque province, Cuba.

### Materials and Methods

The average monthly records of ambient temperature (maximum and minimum) and relative humidity, corresponding to the database of the agrometeorological station of ICA (22°02' north latitude and 82°02' west longitude), for 2005-2016 period were analyzed. These records were applied to both dairy units, which were at a distance less than 5 km, in a straight line with the station.

Both dairy units had Siboney cattle, Guinea grass (*Megathyrsus maximus*). They also had a biomass bank with *Cenchrus purpureus* cv. Cuba CT 115 (dairy 4) and with *Leucaena leucocephala* in silvopastoral system (dairy 3). The cows were supplemented with commercial concentrate or Norgold, depending on availability and production.

The proposed methodology for the analysis of both meteorological variables is inserted between the statistical procedures typical of the analysis of temporal series (Bruzual and Hernández-Szczurek 2005), which contemplates the seasonality and the tendency of each of variables.

The comfort temperature for this type of animal is equal to 25 °C, with a high ambient humidity, from which the cow experiences heat stress (Espinoza *et al.* 2011).

The THI (Thom 1959) was calculated from the Valtorta and Gallardo (1996) equation:

$THI = 0.8 * At + ((RH/100) * (At - 14.3)) + 46.4$ , where:

THI: temperature-humidity index

At: average temperature

RH: relative humidity

The stress in cattle, according to the THI, was classified as shown in table 1.

(temperatura y humedad) provoca condiciones de estrés, que afectan la fisiología y homeostasis del animal (Neri y Briones 2011), y se reflejan en la disminución del consumo voluntario de alimento, producción de leche y eficiencia reproductiva de las vacas en producción (Hernández *et al.* 2007 y Ghiano *et al.* 2014). Diversos autores consideran que el ganado lechero es particularmente sensible al estrés por calor, debido al elevado metabolismo de la vaca lechera durante la lactancia (Swan y Broster 1982, Bernabucci *et al.* 2014, Carabaño *et al.* 2016 y Nguyen *et al.* 2016).

En la ganadería vacuna, el bienestar de los animales se ha convertido en un factor determinante para lograr su mejor expresión productiva (Sirven 2015). En la actualidad, el índice de temperatura y humedad (ITH) es el indicador del bienestar animal más usado para evaluar el nivel de confort de los animales (Leva y Valtorta 1996, Olivares *et al.* 2013, Carabaño *et al.* 2016 y Nguyen *et al.* 2016). El objetivo de este trabajo fue determinar los niveles de temperatura-humedad (ITH) y el estrés calórico en unidades de producción de leche del Instituto de Ciencia Animal (ICA), provincia Mayabeque, Cuba.

### Materiales y Métodos

Se analizaron los registros medios mensuales de temperatura ambiental, (máxima y mínima) y humedad relativa, correspondientes a la base de datos de la estación agrometeorológica del ICA (22°02' latitud norte y 82°02' de longitud oeste), para el período 2005-2016. Estos registros se aplicaron a ambas vaquerías, que se encontraron a una distancia menor de 5 km, en línea recta con la estación.

Ambas lecherías dispusieron de ganado Siboney, pastos guinea (*Megathyrsus maximus*). Tenían además, un banco de biomasa con *Cenchrus purpureus* vc. Cuba CT 115 (lechería 4) y con *Leucaena leucocephala* en silvopastoreo (lechería 3). Las vacas se suplementaron con concentrado comercial o Norgold, según disponibilidad y producción.

La metodología propuesta para el análisis de ambas variables meteorológicas se inserta entre los procedimientos estadísticos propios del análisis de series temporales (Bruzual y Hernández-Szczurek 2005), que contempla la estacionalidad y la tendencia de cada una de las variables.

La temperatura de confort para este tipo de animal es igual a 25 °C, con una humedad ambiente alta, a partir de la cual la vaca experimenta estrés térmico (Espinoza *et al.* 2011).

El ITH (Thom 1959) se calculó a partir de la ecuación de Valtorta y Gallardo (1996):

$ITH = 0.8 * Tm + ((HR/100) * (Tm - 14, 3)) + 46,4$ , donde:

ITH: Índice de temperatura-humedad

Tm: temperatura media

HR: humedad relativa

El estrés en bovinos, según el ITH, se clasificó como muestra la tabla 1.

Table 1. Stress levels in cattle

THI	Clasificación
≤ 72	Slight
72-78	Moderate
≥ 78	Severe

**Results and Discussion**

The maximum, average and minimum monthly temperatures in the ICA have a similar performance to that described for Cuba (Fonseca and García 2012), with two statistically well-established heat periods, which correspond to the seasonal precipitation (figure 1).

**Resultados y Discusión**

Las temperaturas máximas, media y mínima mensual en el ICA presentan un comportamiento similar al descrito para Cuba (Fonseca and García. 2012), con dos períodos térmicos bien establecidos estadísticamente, que se corresponden con los estacionales de la precipitación (figura 1).

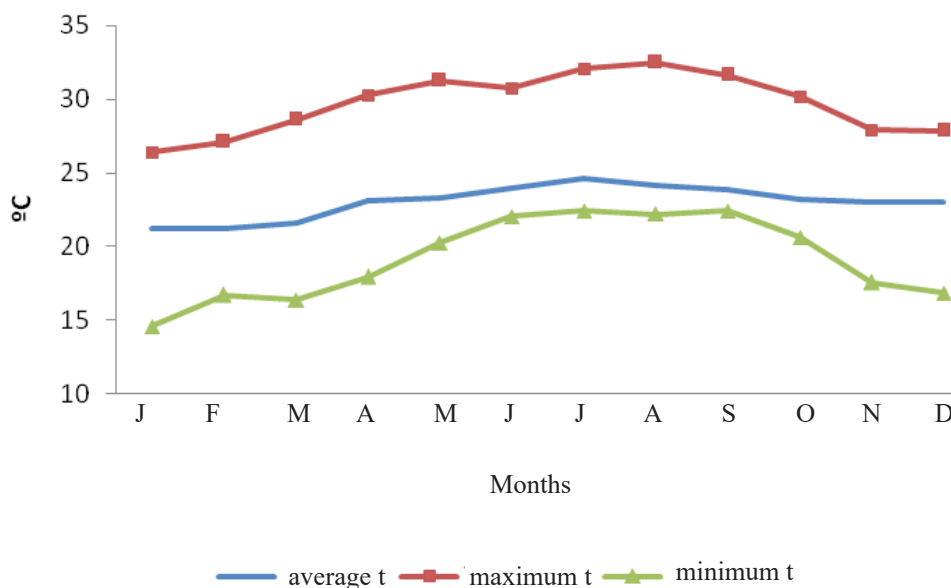


Figure 1. Monthly distribution of the average temperature in the ICA (2005-2016)

The average annual value of the average temperature during 2005 - 2016 was 23.0 °C with a heat oscillation of 3.4 °C, between the coldest month (February) and the warmest month (July). In the rainy season, it reached 23.9°C. The maximum temperature had an average of 29.7°C and the minimum 19.2 °C, with a tendency to increase in the analyzed period, higher in the latter. The heat oscillation was also higher 1.8 °C for the minimum temperature, with a value of 7.9 °C between the coldest month, January, and the warmest, July.

During 2005 - 2016, the number of days with maximum temperatures higher than 35 °C, and minimum temperatures lower than 15 °C were not significant. In all months of this period there were days with maximum temperatures higher than 27 °C. Therefore, during all months the animals were subjected to stress (moderate or high), due to high temperatures (Arias, *et al.* 2008). The temperature-humidity index (THI) in the ICA, during 2005 - 2016, had a monthly performance similar to that of temperature (figure 2). Throughout the year, it maintained values not recommended for animal comfort

El valor medio anual de la temperatura media durante 2005 – 2016 fue 23.0 °C con oscilación térmica de 3.4 °C, entre en el mes más frío (febrero) y el más cálido (julio). En el período lluvioso, llegó a alcanzar 23.9°C. La temperatura máxima tuvo una media de 29.7 °C y la mínima 19.2 °C, con tendencia al aumento en el período analizado, superior en esta última. La oscilación térmica también fue superior 1.8°C para la temperatura mínima, con valor de 7.9°C entre el mes más frío, enero, y el más cálido, julio.

Durante 2005 – 2016, el número de días con temperaturas máximas superiores a 35 °C, y mínimas inferiores a 15 °C resultaron poco significativos. En todos los meses de este período existieron días con temperaturas máximas superiores a 27 °C. Por tanto, durante todos los meses los animales estuvieron sometidos a estrés (moderado o alto), debido a las altas temperaturas (Arias et al 2008). El índice de temperatura y humedad (ITH) en el ICA, durante 2005 – 2016, tuvo un comportamiento mensual similar al de la temperatura (figura 2). Durante todo el año, mantuvo valores no recomendados para el confort animal (Valtorta

(Valtorta *et al.* 1997). That is, the herd was maintained, as average, with slight stress levels (dry season) and moderate (rainy season).

*et al.* 1997). Es decir, la masa animal se mantuvo, como promedio, con niveles de estrés leve (período poco lluvioso) y moderado (período lluvioso).

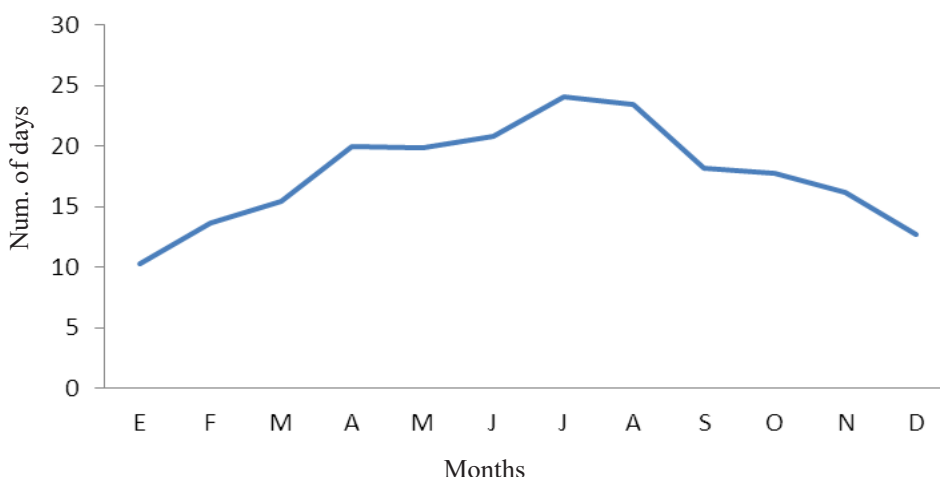


Figure 2. Performance of the number of days with maximum temperatures higher than 27°C in the ICA (2005-2016)

This performance of extreme temperatures not only influences the daily mean, but also has a marked effect on daytime and nighttime temperatures (figure 3).

Este comportamiento de las temperaturas extremas no solo influye en la media diaria, sino que tiene además efecto marcado en las temperaturas diurnas y nocturnas (figura 3).

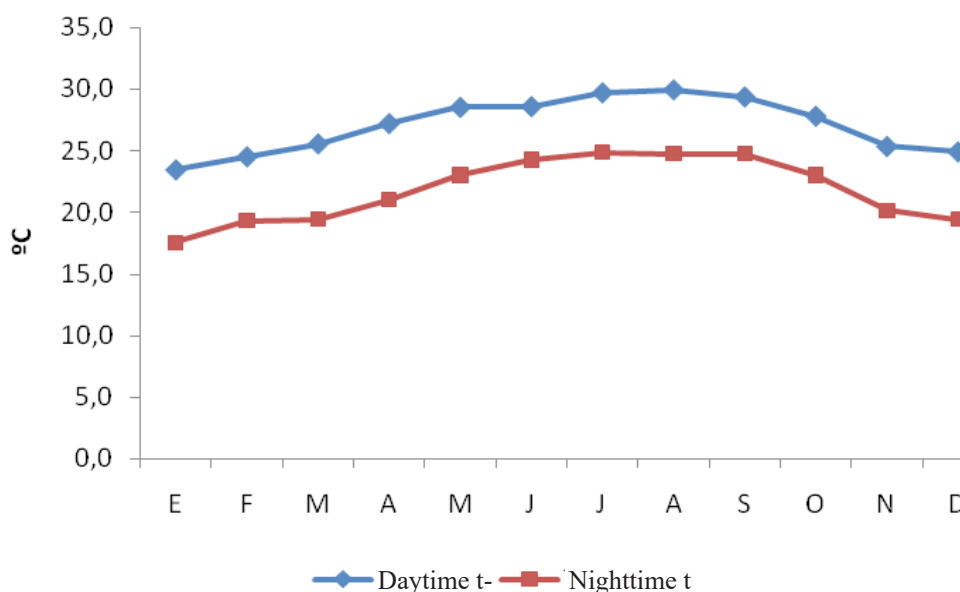


Figure 3. Average monthly performance of daytime and nighttime temperatures in the ICA (2005-2016).

In the ICA, during 2005 - 2016, an average annual daytime temperature of 27.1°C and nighttime temperatures of 21.8 °C were reported. This showed a daily heat differential of 5.3 °C, being higher in the winter season of the year. Their tendencies showed opposite performances. In the same way happened with the extreme temperatures. For the daytime, a significant decrease was observed.

En el ICA, durante 2005 – 2016, se informó temperatura media anual diurna de 27.1 °C, y nocturna de 21.8 °C. Esto representó un diferencial térmico diario de 5.3 °C, siendo superior en la etapa invernal del año. Sus tendencias mostraron comportamientos contrarios. De igual manera ocurrió con las temperaturas extremas. Para las diurnas, se observó una disminución significativa.

The average annual relative humidity during 2005 - 2016 was 77 %. Seven months maintained their average monthly value above this value, with very similar variability in all months (figure 4). In general, an area

La humedad relativa media anual durante 2005 – 2016 fue de 77 %. Siete meses mantuvieron su valor medio mensual por encima de este valor, con variabilidad muy similar en todos los meses (figura 4). En sentido general, se puede considerar una zona con elevada

with high relative humidity can be considered, which has a direct effect on heat sensation, since it accentuates the adverse conditions of high temperatures and the THI Domínguez *et al.* 2007, López *et al.* 2016 and Guerra 2019).

humedad relativa, que tiene efecto directo en la sensación térmica, ya que acentúa las condiciones adversas de las altas temperaturas y el índice ITH (Domínguez *et al.* 2007, López *et al.* 2016 y Guerra 2019).

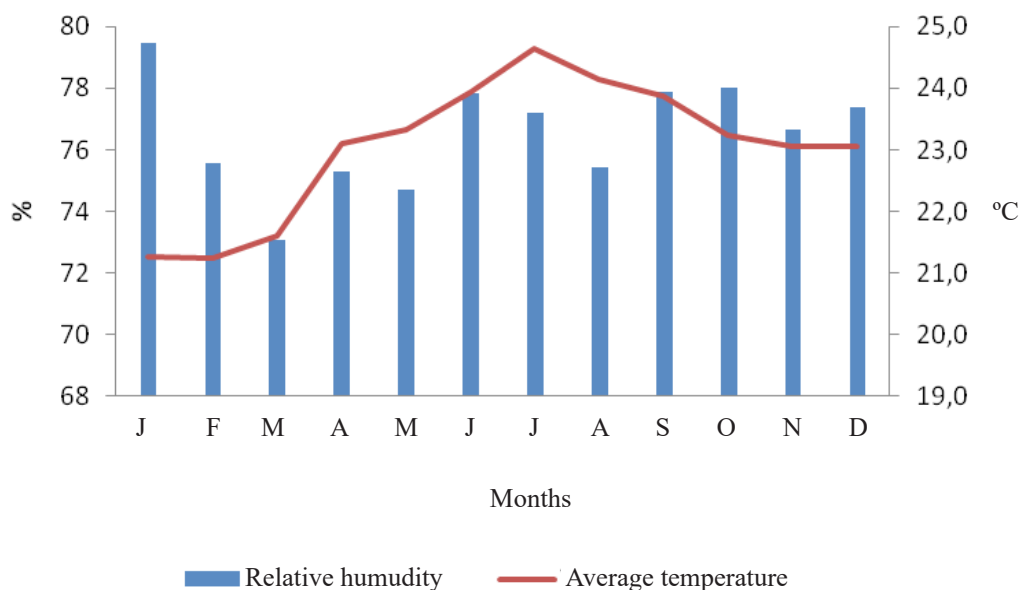


Figure 4. Performance of the monthly average relative humidity in the ICA. (2005 - 2016).

*THI and heat stress.* The average of the THI was 74 during 2005-2016, so it was classified as moderate with marked contrast in its annual distribution (figure 5).

*ITH y estrés calórico.* El promedio del ITH fue de 74 durante 2005-2016, por lo que se clasificó de moderado con contraste marcado en su distribución anual (figura 5).

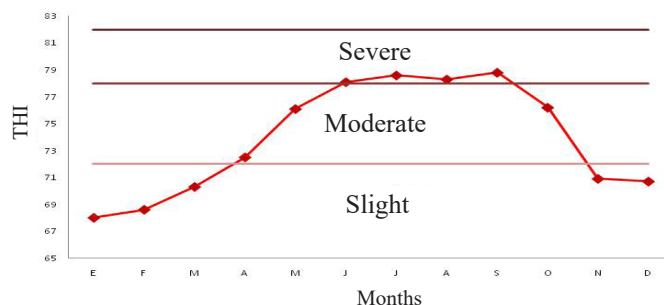


Figure 5. Average monthly performance of stress levels in animals during the year at the ICA (2005 - 2016)

The marked effect of the rainy and dry season is corroborated, which determines that during the dry months conditions of slight stress for cows were established. In this period, the average temperature is significantly reduced and variations in relative humidity occur in a significant way ( $P < 0.001$ ) with respect to the marked heat stress (moderate and severe) of the rainy season.

Se corrobora el marcado efecto de la época lluviosa y poco lluviosa, que determina que durante los meses secos se establezcan condiciones de estrés leve para las vacas. En este período, se reduce notablemente la temperatura media y se producen variaciones en la humedad relativa de manera significativa ( $P < 0.001$ ) con respecto al marcado estrés calórico (moderado y grave) de la época de lluvias.

Several authors have described and discussed the vulnerability of dairy cattle, specifically of cows, to heat stress, and objectify it through THI (Bernabucci *et al.* 2014, Carabaño *et al.* 2016 and Nguyen *et al.* 2016).

Varios autores han descrito y discutido la vulnerabilidad del ganado lechero, específicamente de las vacas, al stress calórico, y lo objetivizan mediante el ITH (Bernabucci *et al.* 2014, Carabaño *et al.* 2016 y Nguyen *et al.* 2016).

This situation is more complicated, if it is taking into

Esta situación es más complicada, si se tiene en

account that there are also marked differences between the day and night performance of the THI (figure 6). According to López *et al.* (2016), during the study period, the animals were maintained with an annual average of 80, which places them under severe daytime stress for ten months of the year, except in January and February, which was moderate. Hence the importance of taking into account not only the average THI, but the daytime.

cuenta que también existen marcadas diferencias entre el comportamiento diurno y nocturno del ITH (figura 6). Según López *et al.* (2016), durante el período de estudio, los animales se mantuvieron con promedio anual de 80, lo que los sitúa en estrés diurno grave durante diez meses del año, excepto en enero y febrero, que fue moderado. De ahí la importancia de tener en cuenta no sólo el ITH promedio, sino el diurno.

En este estudio, los animales sufrieron, en realidad,

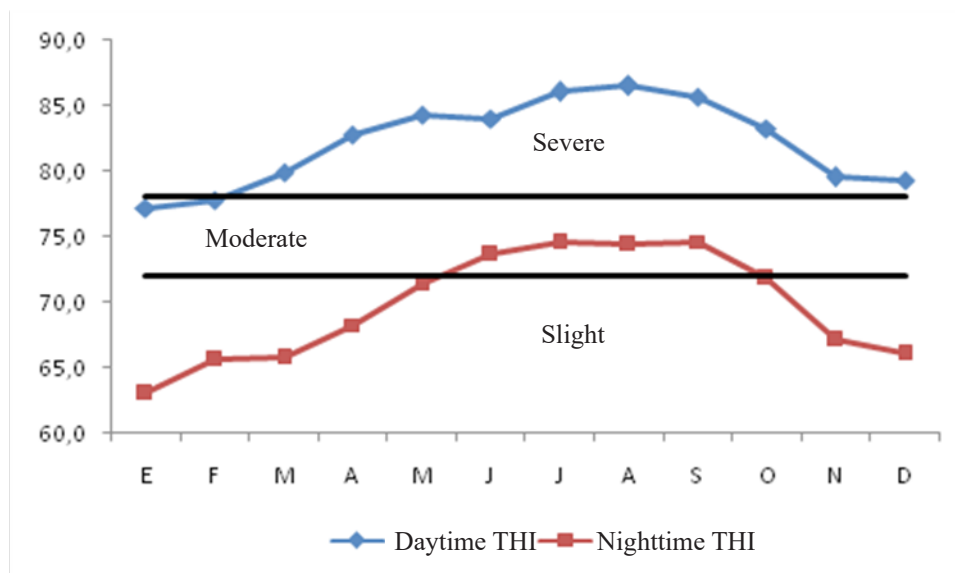


Figure 6. Average monthly performance of stress levels in animals during the days and nights in the ICA (2005 - 2016)

In this study, the animals actually suffered ten months of severe stress, and not four, as it would have seemed if only the average THI had been taken into account. During the nights, according to the increase in night temperatures, the stress was slight in the dry season, and moderate in the rainy season, with an annual average of 70.

According to Alvarez (2014), in the ICA units there are structural and non-structural vulnerabilities, which can condition the comfort status of the animals, and accentuate the effect of high THI values. Among them it can be mentioned that, although the location of the buildings is correct (east - west), they have concrete and fiber concrete roofs, which causes an increase in the internal temperature of the building and, consequently, in the animal's body temperature. Another aspect that should be considered inside the buildings is that they are cleaned with water. This causes an increase in relative humidity, which, combined with the mentioned conditions, can cause higher levels of THI than those recorded outside. Although the units do not cover their accommodation capacities, overcrowding is sometimes observed, due to the poor management of the animals, which remain grouped in small spaces.

In grazing there are also problems that accentuate the lack of comfort of cows, such as the lack of shade trees and the lack of water in the paddocks (Murgueitio

diez meses de stress severo, y no cuatro, como hubiera parecido si solo se hubiera tomado el ITH promedio. Durante las noches, según el aumento de las temperaturas nocturnas, el estrés fue leve en el período poco lluvioso y moderado en el lluvioso, con media anual de 70.

Según Alvarez (2014), en las unidades del ICA existen vulnerabilidades estructurales y no estructurales, que pueden condicionar el estado de confort de los animales, y que acentúan el efecto de los altos valores del ITH. Entre ellas se puede mencionar que, aunque la ubicación de las naves es correcta (este - oeste), tienen techos de placa y fibrocemento, lo que provoca aumento de la temperatura interna de la nave y por consiguiente, de la temperatura corporal del animal. Otro aspecto que se debe considerar dentro de las naves es que se limpian con agua. Esto provoca aumento de la humedad relativa, lo que combinado con las condiciones antes citadas, puede provocar niveles más altos de ITH que los registrados en el exterior. Aunque las unidades no cubren sus capacidades de alojamiento, en ocasiones se observa hacinamiento, debido al mal manejo de los animales, que permanecen agrupados en espacios reducidos.

En el pastoreo también se encuentran problemas que acentúan la falta de confort de las vacas, como el déficit de árboles para sombra y la falta de agua en los potreros (Murgueitio *et al.* 2016 y Lemaire *et al.* 2019). En todos los casos, los animales pastorean de 6:00 a.m. a 10:00

*et al.* 2016 and Lemaire *et al.* 2019). In all cases, the animals graze from 6:00 a.m. at 10:00 a.m. and from 4:00 p.m. at 5:00 a.m. Water intake is carried out only in the resting buildings.

Different measures, such as tree sowing and the establishment of silvopastoral systems with multipurpose plants, can be applied to mitigate the effect of heat stress and contribute to improving the comfort of cows. In the case of Genético 3, not all the dairy unit has silvopastoral system. In addition, the THI was calculated from the ICA meteorology station, and not from the temperature and relative humidity that exists under the trees. If so, surely the THI values would have been more benign in the silvopastoral area of that dairy unit.

To build artificial shadows with different alternatives (constructed of metal, shade mesh, nylon, among other materials, fixed or mobile), as well as having good access to fresh and clean water in paddocks and buildings, are measures of great importance for production, and that they can contribute to improve the physiological parameters in dairy cows, which are highly sensitive to stress, thus increasing productive, reproductive indicators and animal welfare (FAO 2012, Gerber *et al.* 2013 and Palma and González-Rebeles 2018).

### Conclusions

The ICA can be considered an area with high relative humidity, which has a direct effect on heat sensation and the THI. In the rainy period, the highest values of THI are produced and, consequently, the animals are exposed to conditions of moderate to severe heat stress. While, the rest of the year remains in slight conditions. The daytime THI showed heat stress every month of the year. The use of the temperature-humidity index, as an element to determine the heat stress in the animal, is a factor that can contribute to modifying the living conditions of animals in the enterprises.

Similar studies in other regions are recommended, where livestock activity constitutes the fundamental line of production.

### Acknowledgments

Thanks to Dr. Pedro Carlos Martín for his help in rectifying this article and to the ICA Farm for the contribution of the analyzed information.

a.m. y de 4:00 p.m. a 5:00 a.m. El consumo de agua se realiza solo en las naves de descanso.

Diferentes medidas, como la siembra de árboles y el establecimiento de sistemas silvopastoriles con plantas multipropósito, se pueden aplicar para mitigar el efecto del estrés calórico y contribuir a mejorar el confort de las vacas. En el caso del Genético 3, no toda la vaquería tiene silvopastoreo. Además, el ITH se calculó a partir de la estación meteorológica del ICA, y no a partir de la temperatura y la humedad relativa que existe debajo de los árboles. De haber sido así, seguramente los valores de ITH hubieran sido más benignos en el área de silvopastoreo de esa vaquería.

Construir sombras artificiales con diferentes alternativas (construidas de metal, malla sombra, nailon, entre otros materiales, fijas o móviles), así como disponer de buen acceso a agua fresca y limpia en cuarterones y en las naves, son medidas de gran importancia para la producción, y que pueden contribuir a mejorar los indicadores fisiológicos en las vacas lecheras, que son altamente sensibles al estrés, incrementando así los indicadores productivos, reproductivos y el bienestar animal (FAO 2012, Gerber *et al.* 2013 y Palma y González-Rebeles 2018).

### Conclusiones

Se puede considerar al ICA una zona con elevada humedad relativa, lo que tiene efecto directo en la sensación térmica y el índice ITH. En el período lluvioso, se producen los valores más altos del ITH y, por consiguiente, los animales están expuestos a condiciones de estrés calórico entre moderado y grave. Mientras, el resto del año se mantiene en condiciones leves. El ITH diurno evidenció stress térmico todos los meses del año. El empleo del índice de temperatura-humedad, como un elemento para determinar el estrés calórico presente en el animal, es un factor que puede contribuir a modificar en las empresas las condiciones de vida de los animales.

Se recomienda realizar estudios similares en otras regiones, donde la actividad ganadera constituya el renglón fundamental de la producción.

### Agradecimientos

Se agradece al Dr. Pedro Carlos Martín por su ayuda en la rectificación de este artículo y a la Granja ICA por el aporte de la información analizada.

### References

- Álvarez, A. 2014. "El cambio climático y la producción animal". Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 48(1): 7–10, ISSN: 0034-7485
- Arias, R.A., Mader, T.L. & Escobar, P.C. 2008. "Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche". Archivos de Medicina Veterinaria, 40(1): 7–22, ISSN: 0301-732X
- Bernabucci, U., Biffani, S., Buggiotti, L., Vitali, A., Lacetera, N. & Nardone, A. 2014. "The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle". Journal of Dairy Science, 97(1): 471–486, ISSN: 0022-0302, DOI: 10.3168/jds.2013-6611
- Bruzual, V.T. & Hernández, D. 2005. "Estudio de la variabilidad temporal y espacial de las lluvias anuales de la Depresión de Carora, estado Lara, Venezuela". In: Evaluación de Parámetros y Procesos Hidrológicos en el Suelo. Compendio de los trabajos presentados en la VII Escuela Latinoamericana de Física de Suelos. Eds: Deyanira Lobo Luján, Donald Gabriels & Guido Soto. París, Francia, p. 53, ISBN 92-9220-031-3

- Carabaño, M.J., Logar, B., Bormann, J., Minet, J., Vanrobays, M.L., Diaz, C., Tychon, B., Gengler, N. & Hammami, H. 2016. "Modeling heat stress under different environmental conditions". *Journal of Dairy Science*, 99(5): 3798–3814, ISSN: 0022-0302, DOI: 10.3168/jds.2015-10212
- Correa, A., Yáñez, V., Verdugo, F., Pérez, A., Avendaño, L., González, V.M., Ponce, F. & Tarazón, M. 2004. "Efecto de un sistema de enfriamiento a espacio abierto en la eficiencia productiva de novillos holstein durante el verano". *Interciencia*, 29(2): 86–88, ISSN: 0378-1844
- Domínguez, R.R.L., Peláez, C.G.V. & Padilla, E.G. 2005. "Efecto del estrés calórico y su interacción con otras variables de manejo y productivas sobre la tasa de gestación de vacas lecheras en Aguascalientes, México". *Veterinaria México*, 36(3): 245–260, ISSN: 0301-5092
- Espinoza, J., Ortega, R., Palacios, A. & Guillén, A. 2011. "Tolerancia al calor y humedad atmosférica de diferentes grupos raciales de ganado bovino". *Revista MVZ Córdoba*, 16(1): 2302–2309, ISSN: 1909-0544
- FAO. 2012. *Impact of animal nutrition on animal welfare – Expert Consultation 26–30 September 2011*. In: *Animal Production and Health Report*. No. 1. Rome, Italy, ISBN: 978-92-5-107437-4
- Fonseca, Y.B. & García, G. 2012. "Análisis de indicadores de extremos climáticos en la isla de Cuba". *Revista de Climatología*, 12: 81–91, ISSN: 1578-8768
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013. *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación*. Ed: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Rome, Italy, p. 153, ISBN 978-92-5-307921-6
- Ghiano, J., Taverna, M., Gastaldi, L., Walter, E. 2014. *Manejo del estrés calórico*. In: *5ta Jornada Nacional de Forrajes Conservados*. 1st Ed. Ed. INTA, CABA. Córdoba, Argentina, p. 211.
- Guerra, R. 2019. *Variación genética y ambiental de la producción de leche de vacas Holstein en la cuenca lechera en Ciriquí, Panamá*. PhD Thesis. Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba.
- Hernández, A., Cervantes, P., Salinas, V.M., García, R., Tejeda, A., Gallardo, F. & Álvarez, J.L. 2007. "Respuesta al estrés por calor en la vaca criollo lechero tropical bajo un sistema de doble propósito en México". *Revista de Salud Animal*, 29(2): 85–90, ISSN: 0253-570X.
- Lemaire, G., Giroud, B., Bathily, B., Lecomte, P., & Corniaux, C. 2019. *Toward integrated crop-livestock systems in West Africa: a project for dairy production along Senegal river*. In: *Agroecosystem Diversity*. 1st Ed. Ed. Academic Press, Elsevier, London, England. p. 275-285, ISBN: 978-0-12-811050-8, DOI: 10.1016/B978-0-12-811050-8.00017-0
- Leva, P.E., Valtorta, S. & Fornasero, L.V. 1996. "Disminución de la producción lechera estival: situación actual y efecto del cambio global. Resúmenes del 20o Congreso de Producción Animal, AAPA. Argentina". *Revista Argentina de Producción Animal*, 16(1): 26, ISSN: 2314-324X.
- López, G., Brizuela, A., Rondán, G., Lissaso, C., Kemerer, A. & de los Santos, M. 2016. "Determinación del índice de temperatura y humedad (ITH) para vacas lecheras, en el Departamento Nogoyá, entre ríos". *Revista Científica Agropecuaria*, 20(1–2): 57–65, ISSN: 0329-3602.
- Murgueitio, E., Uribe, F., Molina, C., Molina, E., Galindo, W., Chará, J., & Solarte, L. 2016. *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles intensivos con leucaena*. Ed. CIPAV, Cali, Colombia, p. 220, ISBN 978-958-9386-75-0
- Neri, C. & Briones, F. 2011. *Cada quien su sequía. Caracterización de la vulnerabilidad en Sonora, México*. In: *Perspectivas de investigación y acción frente al cambio climático en Latinoamérica*. 1st Ed. Ed. Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina, Ciudad de Panamá, República de Panamá, p.119-150, ISBN: 978-980-7519-00-7
- Nguyen, T.T.T., Bowman, P.J., Haile-Mariam, M., Pryce, J.E. & Hayes, B.J. 2016. "Genomic selection for tolerance to heat stress in Australian dairy cattle". *Journal of Dairy Science*, 99(4): 2849–2862, ISSN: 0022-0302, DOI: 10.3168/jds.2015-9685.
- Olivares, B.O. 2014. "Aplicación del índice de confort térmico como estimador del estrés calórico en la producción pecuaria de la Mesa de Guanipa, estado Anzoátegui". *Zootecnia Tropical*, 31(3): 221–235, ISSN: 0798-7269.
- Palma, J.M., & González-Rebeles, C. 2018. *Recursos arbóreos y arbustivos tropicales para una ganadería bovina sustentable*. 1st Ed. Ed. Universidad de Colima, Colima, Mexico, p. 133, ISBN: 978-607-8549-32-0.
- Sirvén, M. 2015. *Manejo y bienestar animal en vacas lecheras*. 1st Ed. Ed. Dunken, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, p. 120, ISBN: 978-987-02-8059-0
- Swan, H. & Broster, T. 1982. *Principios para la producción ganadera* (No. 636.08). Ed. Hemisferio Sur, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina, p. 429.
- Thom, E. C. 1959. "The discomfort index". *Weatherwise*, 12: 57–61, ISSN: 1940-1310, DOI: 10.1080/00431672.1959.9926960.
- Valtorta, S. & Gallardo, M. 1996. "El estrés por calor en producción lechera". *Miscelánea*, (81): 173–185, ISSN: 2314-3126.
- Valtorta, S.E., Leva, P.E., Gallardo, M., Fornasero, L.V, Veles, M.A. & García, M.S. 1997. "Producción de leche: respuestas a la alta temperatura". *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 5(1): 399–401, ISSN: 2314-3126.

**Received: February 2, 2019**

**Accepted: November 26, 2019**