

**Revista Científica Agropecuaria 20(1-2): 17-29(2016)**

© 2016 Facultad de Ciencias Agropecuarias - UNER

## **COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA PRONOSTICAR EL ÍNDICE DE TEMPERATURA Y HUMEDAD (ITH) DIARIO EN EL DEPARTAMENTO NOGOYÁ, ENTRE RÍOS**

Alejandra C. KEMERER<sup>1</sup>; Nicolás E. MALTESE<sup>1</sup>; César A. AGUIRRE<sup>1,4</sup>; Cecilia M. A. LISSASO<sup>2</sup>; Guillermo G. LÓPEZ<sup>3</sup>; Armando B. BRIZUELA<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Docentes-Investigadores cátedras de Climatología Agrícola, <sup>2</sup>Cereales y Oleaginosas y <sup>3</sup>Bovinos de Leche. Proyecto de Extensión Sistema de alerta por estrés calórico para vacas lecheras: “La vaca bacana”. Facultad de Ciencias Agropecuarias. UNER. (3101) Oro Verde, Ruta 11, Km 10,5. Entre Ríos. Argentina.

<sup>4</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Autor para correspondencia [alekemerer@gmail.com](mailto:alekemerer@gmail.com)

### **RESUMEN**

El ITH, un índice que combina las variables temperatura y humedad, se utiliza para determinar si los bovinos de leche se hallan en condiciones ambientales de confort. Cuando el ITH supera el valor 72 el bovino puede entrar en estrés calórico lo que podría repercutir de manera negativa en la producción láctea. Los tamberos pueden implementar estrategias de manejo para reducir los efectos negativos del estrés calórico, por eso resulta relevante contar con un pronóstico del ITH que permita anticipar la ejecución de prácticas adecuadas. En el presente trabajo se proponen y evalúan dos metodologías para la estimación del ITH y la duración de los intervalos con ITH superior a 72 a partir de datos de temperatura del aire, con la finalidad de desarrollar un sistema de pronóstico para la localidad de Nogoyá, Entre Ríos. Las metodologías propuestas consisten en a) estimación del ITH a partir de funciones lineales ajustadas entre ITH y temperatura; y b) estimación del ITH a partir de la evolución horaria de la temperatura y de la humedad relativa, estimadas con una función senoidal. Se utilizaron datos disponibles de la estación meteorológica automática de Nogoyá de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos correspondientes al período septiembre 2014 – marzo 2015. En el método a) se ajustaron dos funciones lineales para estimar el ITH máximo y mínimo diario a partir de la temperatura máxima y mínima diaria, respectivamente. A partir de los valores estimados de ITH máximo y mínimo se aplicó un esquema de proporcionalidad para determinar las horas diarias con valores de ITH superiores a 72. En el método b) se utilizó una función senoidal para estimar la evolución diaria de la temperatura y la HR a partir de la temperatura máxima y mínima diaria, que se emplearon para el cálculo del ITH. Se determinó el intervalo en horas con ITH superiores a 72, realizándose también a escala diaria. Los dos métodos propuestos fueron similares y adecuados para la estimación del ITH y la duración de los intervalos de tiempo con ITH superior a 72. El método a) resulta más sencillo de utilizar porque requiere menos cálculos que el método b) pero este último permite estimar además la duración de períodos de tiempo con ITH superior a 72 que exceden el intervalo diario.

\*Original recibido (02/06/15)

Original aceptado (30/03/16)

Ambos métodos podrían aplicarse para el pronóstico del ITH a partir de datos de temperatura mínima y máxima diaria

**Palabras clave:** Índice de temperatura y humedad, rodeo lechero, estrés calórico

## SUMMARY

### **Comparison of methods for daily prediction of the temperature and humidity index (ITH) in Nogoyá Department, Entre Ríos**

The THI, an index that combines temperature and relative humidity, is used to determine if dairy cattle are at comfortable environmental conditions. When THI exceeds 72 value, cows may experience heat stress, which could have negative effects on milk production. Dairy farmers can apply management practices to reduce the negative effects of heat stress, so it is important to have a forecast THI to anticipate the implementation of proper practices. In this paper we propose and evaluate two methods for the estimation of THI and the length of the intervals with THI higher than 72 from air temperature, in order to develop a forecast for Nogoyá city, Entre Ríos. The proposed methods consist of a) THI estimation from linear functions fitted between THI and temperature; and b) THI estimation from hourly evolution of temperature and relative humidity, estimated with a sine function. Available data of the period September 2014 to March 2015 from the automatic weather station from Bolsa de Cereales de Entre Ríos located at Nogoyá were used. In a) method, two linear functions were fitted to estimate THI maximum and minimum from maximum and minimum daily temperature, respectively. The estimated THI maximum and minimum were used in a proportional scheme to determine the daily hours with THI higher than 72. In b) method, a sine function was used to estimate the daily evolution of temperature and relative humidity from maximum and minimum daily temperature, which were used to the calculus of THI. The duration of the intervals with THI higher than 72 were determined, and also calculated in a daily scale. The proposed methods were similar and adequate to THI estimation, and to determine the length of the hourly intervals with THI above 72. Method a) is more simple to use than method b) because required less calculus, but the last one also allow to determine time intervals of length higher than a day. The both methods could be used for THI forecast from daily maximum and minimum temperature.

**Key words:** Temperature and humidity index, dairy cattle, heat stress

## **Introducción**

Entre Ríos participa con el 3,1% de la producción de leche del país ocupando el cuarto lugar (MINAGRI, 2013). La ubicación geográfica de las plantas elaboradoras permite dividir la provincia en dos cuencas: 1) Cuenca A, formada por los

departamentos Paraná, Diamante, Nogoyá y algunos distritos de Victoria y 2) Cuenca B, integrada por algunos distritos de los departamentos Uruguay, Colón, Tala y Gualaguaychú (Gutman *et al*, 2003). Debido a la importancia de la actividad

lechera, como fuente generadora de trabajo y relevancia económica en la región, desde las cátedras de Climatología Agrícola, Cereales y Oleaginosas y Bovinos de Leche de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional de Entre Ríos, con el aval y acompañamiento de la Cámara de Productores de Leche de Entre Ríos (CAPROLER), se propuso desarrollar herramientas metodológicas para contribuir a mejorar la producción de leche en el sector.

Numerosos estudios dan cuenta de la importancia que tienen las condiciones ambientales, como temperatura y humedad, respecto al confort de los rodeos y, especialmente, del impacto en la producción cuando esas condiciones no son favorables,

en especial en el periodo estival (Valtorta *et al*, 1997; Valtorta *et al*, 2002; Leva *et al*, 2008). En el contexto global actual, donde se observa una mayor frecuencia de aparición de eventos extremos tales como las olas de calor (IPCC, 2014), este tema adquiere especial relevancia. En este sentido, se han observado mermas del 5 al 15% en los volúmenes de leche entregados a la industria a causa de olas de calor en rodeos lecheros de alta producción (Leva *et al*, 2008; García *et al*, 2015).

Una alternativa para determinar si los bovinos de leche se hallan en condiciones de confort ambiental es el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) desarrollado por Thom (1959) y modificado por Valtorta y Gallardo (1996) (Ecuación 1).

$$ITH = (1,8 \times T_a + 32) - \left[ \left( 0,55 - 0,55 \times \frac{HR}{100} \right) \times (1,8 \times T_a - 26) \right] \text{ (Ecuación 1)}$$

Dónde:

$T_a$ : Temperatura del aire (° C)

$HR$ : humedad relativa (%)

Según estudios realizados por Johnson *et al* (1961), cuando el ITH supera el valor de 72 el bovino puede entrar en estrés calórico lo que podría repercutir de manera negativa en la producción láctea. Se han propuesto a partir de los valores de ITH las siguientes categorías: 1) menor a 70 considerada situación normal, 2) valores entre 70 a 78 situación de alerta, por encima de 72 se supera el límite crítico para la producción de leche, 3) de 78 a 82 se considera situación de peligro y 4) mayor a 82 se califica como situación de emergencia (Johnson, 1994). Durante el período estival los valores de ITH pueden superar los umbrales establecidos y provocar mermas de distinta intensidad en la productividad del rodeo lechero, dependiendo de la duración del período en el cual se encuentren expuestos a los mismos. Debido a esto, sería importante poder determinar el período de tiempo durante el cual los animales se encuentran bajo situación de

RCA. Rev. cient. agropecu. 20(1-2): 17-29 (2016)

estrés calórico que pueda afectar su actividad fisiológica.

Existen algunas estrategias de manejo que los productores pueden implementar para contrarrestar los efectos negativos del estrés calórico en sus rodeos, como la provisión de dietas frías y cambios en el ambiente (Valtorta y Gallardo, 2004; Gallardo *et al*, 2005; Renaudeau *et al*, 2012). Por lo tanto, sería importante contar con herramientas metodológicas que permitan realizar un pronóstico anticipado en 3 a 5 días de los valores estimados de ITH, mediante el cual los productores puedan tomar las medidas de manejo necesarias con anticipación y reducir los efectos negativos del estrés calórico en sus rodeos.

Para el cálculo del ITH es necesario contar con datos disponibles de las variables temperatura del aire y humedad relativa (Ecuación 1). El problema se presenta a la hora de obtener estos datos, ya que sólo se cuenta con pronósticos de temperatura del aire. Por esto, en el presente trabajo, se proponen y evalúan dos metodologías para

la estimación del ITH y la duración de los intervalos con ITH superior a 72 a partir de datos de temperatura del aire, con la finalidad de desarrollar un sistema de pronóstico para la localidad de Nogoyá, Entre Ríos.

### Metodología

Se obtuvieron datos de temperatura del aire y humedad relativa registrados cada 10 minutos de la Estación Meteorológica Automática (EMA) perteneciente a la Bolsa de Cereales de Entre Ríos, ubicada en la localidad de Nogoyá (32° 24' 48'' S, 59° 48' 48'' O, 58 msnm) para el período comprendido entre el 1 de septiembre de 2014 y el 31 de marzo de 2015. Los datos meteorológicos fueron promediados a valores horarios y utilizados para calcular el ITH según la Ecuación 1 y determinar la duración de los intervalos de tiempo en los cuales el ITH alcanzó valores superiores a 72. Dos intervalos de tiempo consecutivos de ITH superiores a 72 separados entre sí por menos de 5 horas en las cuales se observaron valores de ITH levemente inferiores a 72 se consideraron un intervalo único.

Con la finalidad de desarrollar un sistema de pronóstico para el ITH, a partir de datos de temperatura mínima y máxima diaria, se propusieron y evaluaron los siguientes métodos:

a) estimación del ITH a partir de una función lineal ajustada entre ITH y temperatura.

b) estimación del ITH a partir de la evolución horaria de la temperatura y de la humedad relativa, estimadas con una función senoidal.

a) *Estimación del ITH a partir de una función lineal ajustada entre ITH y temperatura*

Se aplicó una técnica que permite estimar el ITH sobre la base de los datos pronosticados de temperatura máxima (Tmax) y temperatura mínima (Tmin). En general los pronósticos no incluyen humedad relativa, necesaria para calcular el índice, por lo que se analizó la posibilidad de utilizar una Ecuación de ajuste entre el ITH máximo diario (ITHmax) con Tmax diaria y entre el ITH mínimo diario (ITHmin) con Tmin diaria. Una vez obtenidos los índices estimados se determinaron las horas diarias durante las cuales el ITH superó el valor 72. En este caso se utilizó un esquema simple de proporcionalidad considerando los tres casos posibles (hipotéticos), uno de los cuales se indica en la Figura 1.

Cuando el ITHmax supera a 72 y el ITHmin es inferior a 72 se puede estimar X (el número de horas diarias por encima de 72) de la siguiente manera:

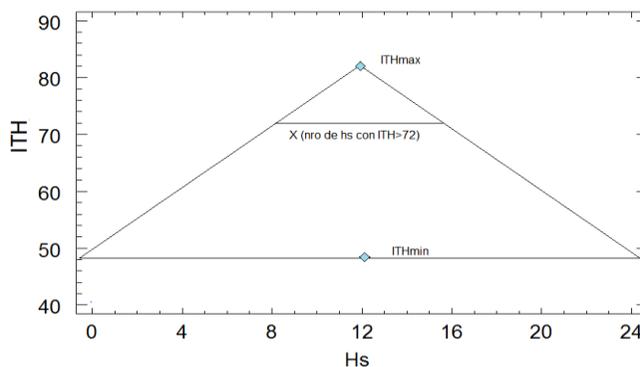
$$x = \frac{(ITH_{max}-72)}{(ITH_{max}-ITH_{min})} \times 24 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Los dos casos restantes son directos:

Si  $ITH_{min} \geq 72$  implica  $x = 24h$

Si  $ITH_{max} < 72$  implica  $x = 0h$

Los valores diarios estimados en horas fueron contrastados con los valores observados a partir de los datos originales de la EMA medidos cada 10 minutos.



**Figura 1.** Relación de proporcionalidad para estimar horas diarias con ITH superior a 72

b) Estimación del ITH a partir de la evolución horaria de la temperatura y de la humedad relativa, estimadas con una función senoidal.

Se estimó la evolución horaria de la temperatura para todos los días del período considerado ajustando una función senoidal (Ecuación 3) a partir de la temperatura máxima y mínima diaria.

$$T_{at} = (T_{max} - T_{min}) \times \text{sen}(\omega \times (t - \alpha)) + \bar{T} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

$T_a$ : temperatura del aire (°C)

$T_{max}$ : temperatura máxima diaria (°C)

$T_{min}$ : temperatura mínima diaria (°C)

$$\omega = \frac{2 \times \pi}{24} h$$

$\alpha$ : hora en la que se alcanza la temperatura media. A partir del análisis de los datos se determinó que la hora más frecuente en la que se alcanza el valor correspondiente a la temperatura media es a las 9,5 h.

$\bar{T}$ : Temperatura media diaria, obtenida como  $\frac{(T_{max}+T_{min})}{2}$  (°C)

Los datos estimados de la evolución horaria de la temperatura se utilizaron para calcular la tensión de vapor de saturación (Ecuación 4) de acuerdo a Allen *et al.*, 2006.

$$e_s = 0,6108 \times e^{\left(\frac{17,27 \times T_a}{T_a + 237,3}\right)} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

$e_s$ : Tensión de vapor de saturación (kPa)

$T_a$ : Temperatura del aire (°C)

La tensión de vapor real se estimó como un valor diario único asumiendo que la temperatura del punto

rocío puede aproximarse a la temperatura mínima diaria (Allen *et al.*, 2006) utilizando la Ecuación 5

$$e_a = 0,6108 \times e^{\left(\frac{17,27 \times T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

$e_a$ : Tensión de vapor real (kPa)

$T_{min}$ : Temperatura mínima diaria (°C)

La evolución de la HR diaria se calculó con los datos estimados de tensión de vapor real y de saturación mediante la Ecuación 6.

$$HR = \frac{e_a}{e_s} \times 100 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Con los datos horarios estimados de temperatura del aire y HR se calculó el ITH utilizando la Ecuación 1 y el intervalo de tiempo en horas en que el ITH fue superior a 72. Estos datos fueron contrastados con datos promedio horarios obtenidos a partir de la EMA.

## Resultados

Los valores de ITH horarios calculados a partir de los datos de temperatura del aire y HR, obtenidos de la EMA Nogoyá para el período evaluado, presentaron un rango que varió entre un mínimo de 43,6, valor determinado en el mes de septiembre y un máximo de 88,1, determinado en el mes de enero. El valor promedio para toda la serie fue de 70 con un coeficiente de variación del 11%. Los valores medios para los meses evaluados fueron más altos en el período de diciembre a febrero (Tabla 1). Sin embargo, valores máximos elevados se observaron ya en el mes de octubre, siendo más altos que los máximos determinados para diciembre y febrero.

**Tabla 1.** Valores promedios, mínimo y máximo mensuales para el ITH calculado a partir de datos horarios de temperatura del aire y HR obtenidos en la EMA Nogoyá (32° 24' 48" S, 59° 48' 48" O, 58 msnm)

	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Promedio	61,9	68,5	68,6	72,2	74,6	73,9	71,0
Mínimo	43,6	48,2	52,2	53,5	56,9	56,8	50,8
Máximo	77,9	87,1	85,1	85,9	88,1	85,4	84,3

La duración promedio de los intervalos horarios con ITH calculado superiores a 72 fue de 15 h en el período analizado, con un

mínimo de duración de 2 h y un máximo de 94 h, intervalo que se registró en el mes de febrero (Tabla 2). Si bien la duración

máxima de los intervalos con ITH superior a 72 fue variable entre los meses analizados, la duración más frecuente fue similar en el último trimestre y del doble respecto al primer trimestre evaluado. El mes de marzo

presentó el mayor número de intervalos de 2 h o más con ITH superior a 72, los meses de octubre a febrero presentaron valores similares, mientras que septiembre fue el que menos intervalos presentó.

**Tabla 2.** Número de intervalos horarios y duración más frecuente, promedio y máxima de los intervalos de ITH superiores a 72 calculados a partir de los datos de temperatura del aire y HR de la EMA Nogoyá (32° 24' 48" S, 59° 48' 48" O, 58 msnm)

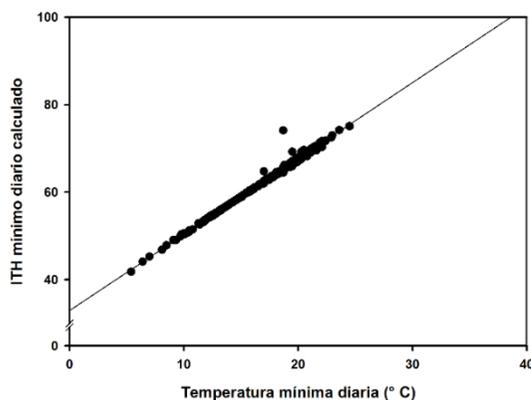
	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar
Número de intervalos de ITH superior a 72 con duración entre 2 y 94 horas	6	20	23	22	22	19	26
Duración más frecuente (horas)	5	5	7	11	15	14	14
Duración promedio (horas)	7	11	10	17	21	19	13
Duración máxima (horas)	23	39	20	64	77	94	19

Métodos de pronóstico de ITH:

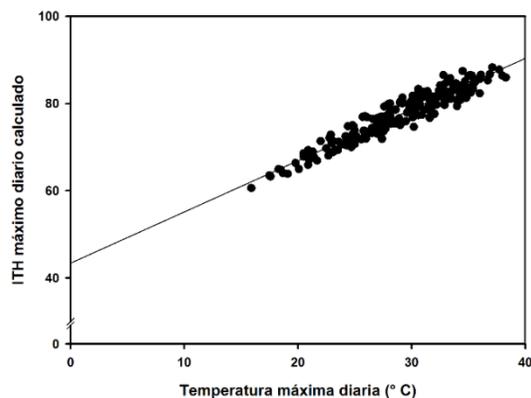
a) *Estimación del ITH a partir de una función lineal ajustada entre ITH y temperatura.*

Se obtuvieron asociaciones fuertes con ajuste elevado en las relaciones entre el ITH

máximo diario calculado y la temperatura máxima diaria, y entre el ITH mínimo diario calculado y la temperatura mínima diaria (Figuras 2 a y b).



a)



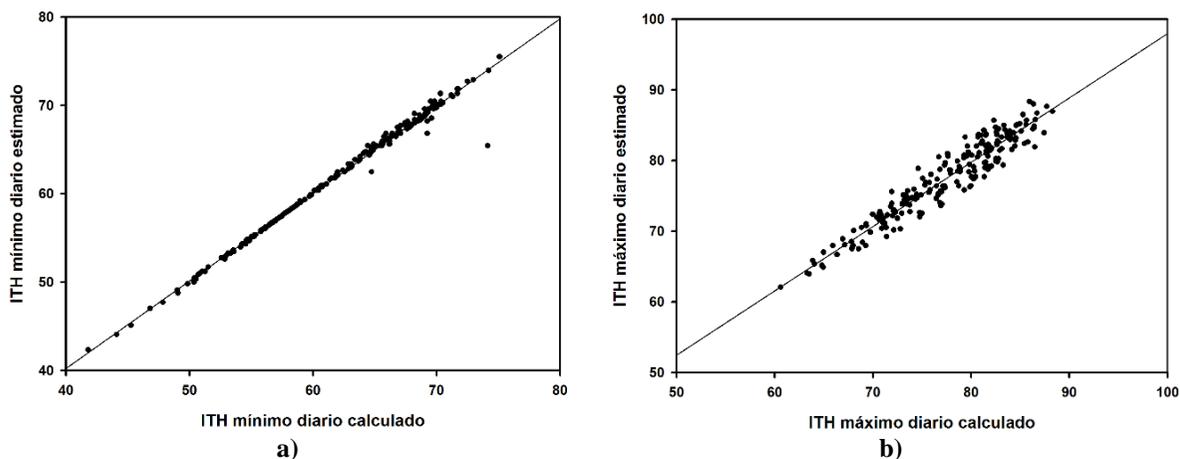
b)

**Figura 2 a)** Relación entre la temperatura mínima diaria y el ITH mínimo diario calculado a partir de los datos de la EMA Nogoyá (32° 24' 48" S, 59° 48' 48" O, 58 msnm) de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Ecuación de ajuste:  $y = 32,96 + 1,74 \times x$  ( $r^2 = 0,98$ ;  $p < 0,0002$ ; error de estimación = 0,7); **b)** Relación entre la temperatura máxima diaria y el ITH máximo diario calculado a partir de los datos de la EMA Nogoyá (32° 24' 48" S, 59° 48' 48" O, 58 msnm) de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Ecuación de ajuste:  $y = 43,43 + 1,17 \times x$  ( $r^2 = 0,91$ ;  $p < 0,0001$ ; error de estimación = 1,78).

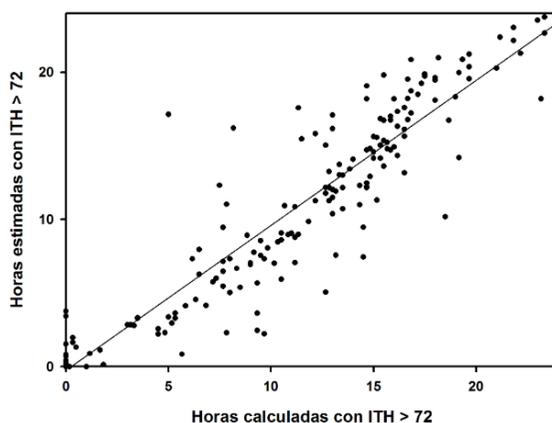
Las funciones lineales ajustadas se emplearon para estimar los valores de ITH mínimo y máximo diario a partir de los

datos de temperatura mínima y máxima diaria. Las relaciones entre los valores estimados de ITH mínimo y máximo

respecto a los valores de ITH calculados con datos de la EMA Nogoyá, presentaron muy buen ajuste con un alto nivel de significancia (Figura 3 a y b).



**Figura 3a)** Relación entre el ITH mínimo diario calculado a partir de los datos de la EMA Nogoyá (32° 24' 48" S, 59° 48' 48" O, 58 msnm) de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos para el período comprendido entre el 1 de septiembre de 2014 al 31 de marzo de 2015 vs. el ITH mínimo diario estimado. Ecuación de ajuste:  $y = 0,68 + 0,99 \times x$  ( $r^2 = 0,99$ ;  $p < 0,0004$ ; error de estimación = 0,70). El ITH mínimo diario estimado se obtuvo a partir de la función:  $y = 32,96 + 1,74 \times x$  donde  $x$  es la temperatura del aire. **b)** Relación entre el ITH máximo diario calculado a partir de los datos de la EMA Nogoyá (32° 24' 48" S, 59° 48' 48" O, 58 msnm) de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos para el período comprendido entre el 1 de septiembre de 2014 al 31 de marzo de 2015 vs. el ITH máximo diario estimado. Ecuación de ajuste:  $y = 6,93 + 0,91 \times x$  ( $r^2 = 0,91$ ;  $p < 0,0001$ ; error de estimación = 1,35). El ITH máximo diario estimado se obtuvo a partir de la función:  $y = 43,43 + 1,17 \times x$  donde  $x$  es la temperatura del aire



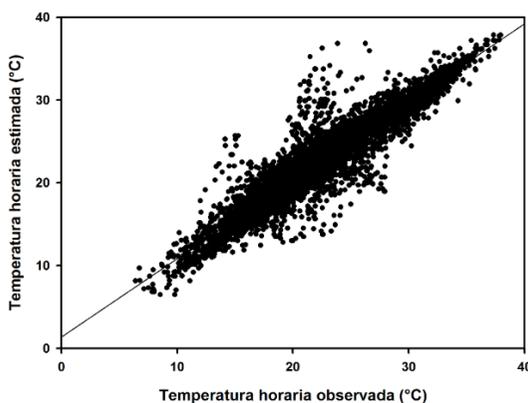
**Figura 4.** Intervalos de tiempo en horas con ITH superior a 72 calculados a escala diaria vs observados. Ecuación de ajuste:  $y = -2,67 + 0,985 \times x$  ( $r^2 = 0,89$ ;  $p < 0,0001$ ; error de estimación = 2,45 h)

A partir del ITH estimado se calculó el intervalo de tiempo en el cual los valores fueron superiores a 72 aplicando un método simple de proporcionalidad directa, que permite realizar el cálculo a escala diaria. El ajuste entre la duración del intervalo en horas con ITH superiores a 72 estimado vs calculado fue elevado ( $r^2 = 0,89$ ), con un error de estimación de 2,45 h (Figura 4).

b) Estimación del ITH a partir de la evolución horaria de la temperatura y de la

humedad relativa, estimadas con una función senoidal

La evolución horaria de la temperatura, estimada a partir de la función senoidal (Ecuación 3) y los valores de temperatura mínima y máxima diaria, presentó un muy buen ajuste respecto a los datos medidos (Figura 5). Los mayores desvíos se observaron en el mes de septiembre en dos días en los cuales se determinaron descensos bruscos de la temperatura alrededor del mediodía.



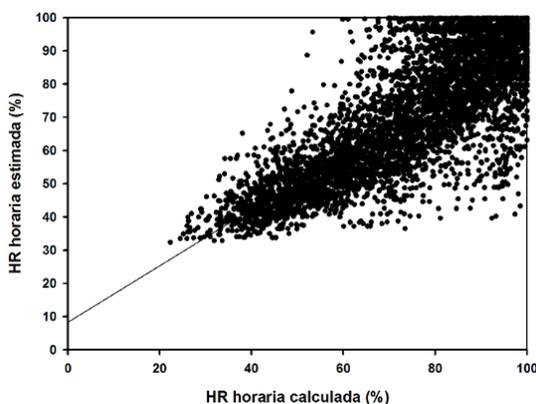
**Figura 5.** Relación entre la temperatura horaria estimada y observada en la EMA Nogoyá ( $32^{\circ} 24' 48''$  S,  $59^{\circ} 48' 48''$  O, 58 msnm) de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Ecuación de ajuste:  $y = 1,37 + 0,95 \times x$  ( $r^2 = 0,88$ ;  $p < 0,0001$ ; error de estimación = 2,3). La temperatura estimada se obtuvo a partir de la función senoidal  $T_{at} = (T_{max} - T_{min}) \times \text{sen}(\omega \times (t - \alpha)) + \bar{T}$ , donde  $T_a$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  y  $\bar{T}$  representan la temperatura del aire, temperatura máxima diaria, mínima diaria y promedio diario,  $\omega = \frac{2 \times \pi}{24}$  h y  $\alpha$ : 9,5 h.

Los valores de HR horaria estimados en base a la tensión de vapor de saturación y a la tensión de vapor real (Ecuación 6) obtenidas a partir de los valores estimados de temperatura del aire (Ecuaciones 3 y 4) y a la temperatura mínima diaria (Ecuación 5) presentaron un ajuste moderado con los valores observados de HR de la EMA Nogoyá (Figura 6).

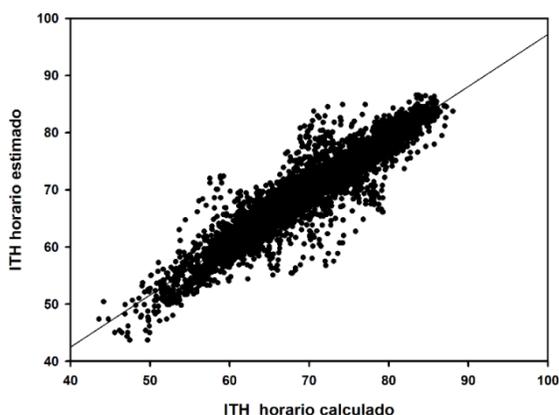
La estimación del ITH horario en base a los valores de temperatura del aire y la HR estimados según la función senoidal, presentó un buen ajuste y muy significativo

con los datos de ITH horario calculados a partir de los datos de la EMA Nogoyá, con un comportamiento similar al determinado para la temperatura (Figura 7).

A partir de la evolución horaria del ITH estimado se determinó la duración de los intervalos de tiempo con ITH superiores a 72. La relación entre la duración de los intervalos con ITH superiores a 72 estimados vs calculados a partir de los datos de la EMA Nogoyá presentó un muy buen ajuste, con un error de estimación de 4 horas ( $r^2 = 0,91$ ; Figura 8a).



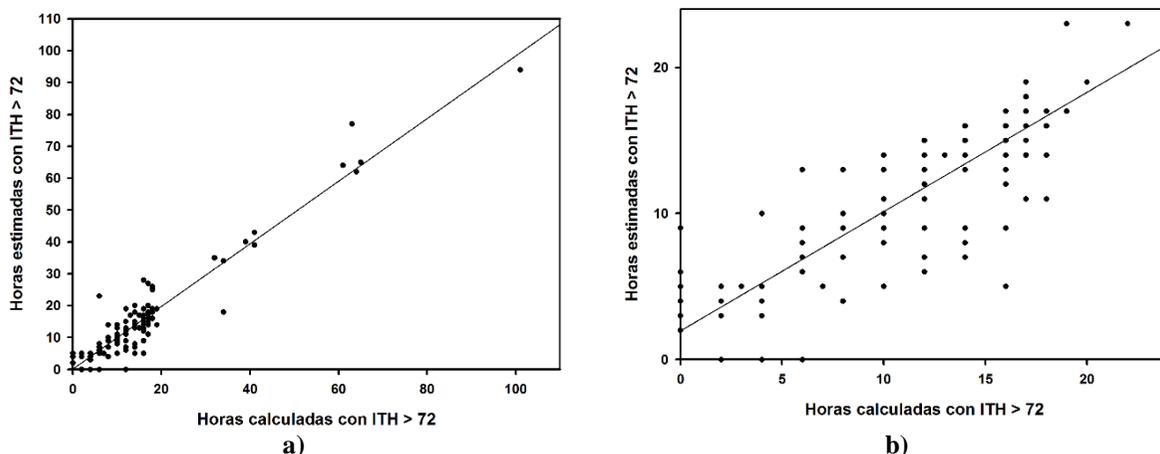
**Figura 6.** Relación entre la HR horaria estimada y observada en la EMA Nogoyá (32° 24' 48" S, 59° 48' 48" O, 58 msnm) de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos. Ecuación de ajuste:  $y = 8,29 + 0,85 \times x$  ( $r^2 = 0,63$ ;  $p < 0,0001$ ; error de estimación = 11,8). La HR estimada se calculó como  $HR = e_a/e_s \times 100$ , donde  $e_a = 0,6108 \times e^{\left(\frac{17,27 \times T_{min}}{T_{min} + 237,3}\right)}$  y  $e_s = 0,6108 \times e^{\left(\frac{17,27 \times T_a}{T_a + 237,3}\right)}$ , siendo  $T_{min}$  la temperatura mínima diaria y  $T_a$  la temperatura horaria estimada a partir de la función senoidal.



**Figura 7.** Relación entre el ITH horario calculado a partir de los datos de la EMA Nogoyá (32° 24' 48" S, 59° 48' 48" O, 58 msnm) de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos para el período comprendido entre el 1 de septiembre de 2014 al 31 de marzo de 2015 vs. el ITH horario estimado. Ecuación de ajuste:  $y = 5,99 + 0,91 \times x$  ( $r^2 = 0,88$ ;  $p < 0,0001$ ; error de estimación = 2,7). El ITH horario estimado se obtuvo a partir de la temperatura y HR estimadas mediante una función senoidal a partir de la temperatura máxima y mínima diaria.

Como en el método a) propuesto para el pronóstico del ITH la estimación de la duración de los intervalos con ITH superiores a 72 se realiza a escala diaria, se calculó también para el método b) la duración de los intervalos acotados a la misma escala. El ajuste de la función de ITH

observado vs estimado a escala diaria para el método b) fue elevado pero levemente inferior al determinado para el método a) ( $r^2 = 0,80$ ; error de estimación = 2,8 h vs.  $r^2 = 0,87$ ; error de estimación = 2,06 h) (Figura 8b y Figura 4).



**Figura 8. a)** Intervalos de tiempo en horas con ITH superior a 72 calculados vs observados. Ecuación de ajuste:  $y = 1,22 + 0,92 \times x$  ( $r^2 = 0,91$ ;  $p < 0,0001$ ; error de estimación = 4 h); **b)** Intervalos de tiempo en horas con ITH superior a 72 calculados vs observados acotados a escala diaria. Ecuación de ajuste:  $y = 0,49 + 0,97 \times x$  ( $r^2 = 0,80$ ;  $p < 0,0001$ ; error de estimación = 2,8 h)

## Discusión

El valor promedio de ITH calculado a partir de los datos de la EMA Nogoyá en el período estival (Tabla 1) superó el umbral indicado en la bibliografía para razas europeas a partir del cual el ganado no se encuentra en condición de confort ambiental, mientras que el valor máximo superó el umbral indicado como estrés severo (Armstrong, 1994). En estos casos la ingesta de alimento y la posibilidad de asegurar la termorregulación se verían afectados (Hahn, 1999; Nienaber *et al*, 2001) y se han reportado mermas en la producción diaria individual de leche de hasta 21% en vacas de alta producción (Valtorta *et al*, 1997; Garcia *et al*, 2015).

Más allá del valor puntual de ITH alcanzado, la duración del intervalo de tiempo con valores superiores al umbral resulta clave desde el punto de vista productivo ya que, según Leva *et al* (2008), períodos nocturnos menores a ocho horas con valores de ITH por debajo de 72 no permiten una adecuada recuperación del animal y determinan una disminución en la producción láctea. Un análisis preliminar de los datos de la EMA Nogoyá puso de

manifiesto la presencia de numerosos intervalos de ITH con valores superiores a 72 separados entre sí por períodos de tiempo cortos. Por tal motivo, para representar más claramente la condición a la que están sometidos los animales en el área de estudio, en este trabajo se consideró a dos intervalos consecutivos con ITH mayor a 72 separados por menos de cinco horas como un intervalo único de duración igual a la suma total de horas, incluidas aquellas en las que el ITH descendió por debajo de 72, análisis que difiere de los habitualmente reportados en la bibliografía.

En el período estival se observaron tanto el mayor número de intervalos de tiempo con ITH superior a 72 como la mayor duración de los mismos. Si bien el valor promedio de la duración de intervalos de tiempo con ITH por encima de 72 fue de 15 horas, este valor estuvo fuertemente sesgado por la ocurrencia de algunos eventos de considerable duración en los meses de diciembre, enero y febrero. En cambio, el período en horas con ITH mayor a 72 más frecuentemente determinado fue bajo entre septiembre y noviembre, intermedio en diciembre y de 14 horas entre enero y

marzo, lo que indica que los rodeos lecheros, se encuentran una prolongada cantidad de tiempo expuestos a condiciones ambientales desfavorables. Valtorta *et al* (2002) analizaron el impacto de olas de calor consecutivas, definidas como periodos en los cuales las horas de recuperación con ITH por debajo de 72 fueron inferiores a 10. Durante la primera ola de calor determinaron reducciones del 14% en la producción de leche, mientras que la segunda no ocasionó reducciones adicionales, aun cuando ocurrió 20 días más tarde, pues los animales no habían podido recuperar su nivel inicial de producción. Considerando estos antecedentes, se podría esperar una reducción importante en la producción de los rodeos lecheros de la zona bajo estudio.

La posibilidad de conocer de manera anticipada la duración de los intervalos de tiempo con ITH superior al valor umbral para adecuar prácticas de manejo a fin de reducir los efectos negativos en la producción podría tener un impacto marcado en la producción láctea. Si bien a la fecha se cuenta con pronósticos de los valores de ITH para las principales cuencas lecheras de argentina (INTA Lechero 2016), no se pronostica la duración de los intervalos de tiempo con ITH mayor a 72, que son los que realmente condicionan las prácticas que deban emplearse. Por tal motivo en este trabajo se han evaluado dos métodos para ser aplicados al pronóstico local de la duración de los intervalos con ITH superiores al umbral de confort animal. Los dos métodos propuestos para la estimación del ITH: a) a partir de una función lineal ajustada entre ITH y temperatura y b) a partir de la evolución horaria de la temperatura y de la humedad relativa, estimadas con una función senoidal, fueron adecuados. Si bien el método a) presenta un mejor ajuste, en ambos casos el error determinado es bajo y ambos podrían

implementarse de manera factible para el desarrollo de una herramienta de pronóstico.

El método a) resulta más práctico, porque se basa sólo en la estimación del ITH a partir de la temperatura, pero permite únicamente estimar la duración diaria de intervalos de tiempo con ITH superior a 72. Dado que las funciones de estimación del ITH se determinaron utilizando solo un set de datos y para una localidad, la utilización de la misma a mayor escala requeriría evaluar un mayor conjunto de datos para determinar si dan cuenta de la variabilidad interanual de las variables ambientales como así también considerar la variabilidad espacial. El método b), en cambio, resulta más complejo en los cálculos involucrados, pero permite estimar de forma adecuada la duración de intervalos que se prolongan durante varios días y aún mejor que si se estiman en períodos de tiempo diario. Como los pronósticos disponibles se realizan por períodos más extendidos que a nivel diario el método b) permitiría anticipar intervalos de varios días con ITH superior a 72, donde el efecto en la producción puede determinar mermas importantes y permitiría adecuar las estrategias de manejo por parte de los productores para mitigar estos efectos.

Considerando que la duración más frecuente de los intervalos no excede la duración de un día, resultados que se encuentra en relación con los valores determinados por Leva *et al* (2008), ambos métodos resultarían útiles para el pronóstico. Pero ante posibles escenarios de cambio climático, en los cuales se plantean mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos (IPCC, 2014) el método b) presentaría una ventaja al pronosticar intervalos de tiempo extensos con ITH sobre el valor de confort animal.

### **Conclusiones**

Los dos métodos propuestos resultaron adecuados para la estimación de los valores diarios de ITH, como así también para

determinar la duración de los intervalos de tiempo con ITH superior a 72. El método a) resulta más sencillo de utilizar porque requiere menos estimaciones que el método b) pero este último permite estimar además la duración de períodos de tiempo con ITH superior a 72 que exceden el intervalo diario. En consecuencia, ambos métodos podrían aplicarse para el pronóstico del ITH a partir de datos de temperatura mínima y máxima diaria.

### Referencias bibliográficas

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guía para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*. Roma, 298 p.
- ARMSTRONG, D.V. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *J. Dairy Sci.*, 77: 2044-2050.
- GALLARDO, M.R.; VALTORTA, S.E.; LEVA, P.E.; GAGGIOTTI, M.C.; CONTI, G.A.; GREGORET, R.F. (2005). Diet and cooling interactions on physiological responses of grazing dairy cows, milk production and composition. *Int. J. Biometeorol*, 50: 90-95.
- GARCIA, A.B.; ANGELI, N.; MACHADO, L.; CARDOSO DE CARDOSO, F.; GONZALEZ, F. (2015). Relationships between heat stress and metabolic and milk parameters in dairy cows in southern Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.*, 47:889-894.
- GUTMAN, G.; GUIGUET, E., REBOLINI, J. (2003). Los ciclos en el complejo lácteo argentino. Análisis de políticas lecheras en países seleccionados. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, 265 p.
- HAHN, G. L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J. Anim. Sci.*, 77(2):10-20
- INTA Lechero (2016). Monitoreo semanal de estrés calórico. 4(21):1-9 Disponible en: (<http://inta.gob.ar/documentos/estres-calorico-informe-de-pronosticos-y-monitoreos-del-indice-de-temperatura-y-humedad-ith.-25-de-febrero-de-2016>) [consultado el 29/02/16]
- IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- JOHNSON, H.D.; KIBLER, H.H.; RAGSDALE, A.C.; BERRY, I.L.; SHANKLIN, M.D. (1961). Role of heat tolerance and production level in response of lactating Holstein to various temperature-humidity conditions. *J. of Dairy Sci.*, 44:1191.
- JOHNSON, H.D. (1994). Animal physiology (p.: 141-143). En: *Handbook of Agricultural Meteorology*. Ed. John Griffiths, New York, 320p.
- LEVA, P.E.; GARCÍA, M.S.; RODRIGUEZ, R.O.; VALTORTA, S.E. (2008). Olas de calor y entregas diarias de leche en tambos de la cuenca lechera central argentina. *Revista FAVE - Ciencias Agrarias*, 7 (1-2):97-103.
- MINAGRI (2013). Disponible en: [http://www.minagri.gob.ar/site/\\_subsecretaria\\_de\\_lecheria/lecheria/07\\_Estad%C3%ADsticas/indicadores.php](http://www.minagri.gob.ar/site/_subsecretaria_de_lecheria/lecheria/07_Estad%C3%ADsticas/indicadores.php) [consultado el 29/02/2016].
- NIENABER, J.A.; HAHN, G.L.; EIGENBERG, R.A.; BROWN-BRANDL, T.M.; GAUGHAN, J.B. (2001). Feed intake response of heat challenged cattle. In: Stowell, R.R.; Bucklin, R.; Bottcher, R.W. (Eds.) *Livestock Environment VI: Proceedings of the sixth international symposium*, Louisville, Kentucky. ASAE, St. Joseph, MI, USA. pp. 154-164
- RENAUDEAU, D.; COLLIN, A.; YAHAV, S.; DE BASILIO, V.; GOURDINE, J. L.; COLLIER, R. J. (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5): 707-728
- THOM, E.C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12: 57-59.
- VALTORTA, S.E.; GALLARDO, M.R. (1996). El estrés por calor en producción lechera. INTA. *Miscelánea*, 81:173-185.
- VALTORTA, S.E.; LEVA, P.E.; GALLARDO, M.R.; FORNASERO, L.V.; VELES, M.A.; GARCÍA, M.S. (1997). Producción de leche: respuesta a la alta temperatura. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 5: 399-401.

- VALTORTA, S.E.; LEVA P.E.; GALLARDO, M.R.; SCARPATTI, O. E. (2002). Milk production responses during heat waves events in Argentina. *In*: 15th Conference on Biometeorology and Aerobiology; 16th. International Congress on Biometeorology. Kansas City, Mo, Boston. American Meteorological Society (Ed), pp:98-101.
- VALTORTA, S.E.; GALLARDO, M.R. (2004). Evaporative cooling for Holstein dairy cows under grazing conditions. *Int J Biometeorol*, 48: 213-217.