

El bienestar en las granjas de vacuno de leche (VIII):

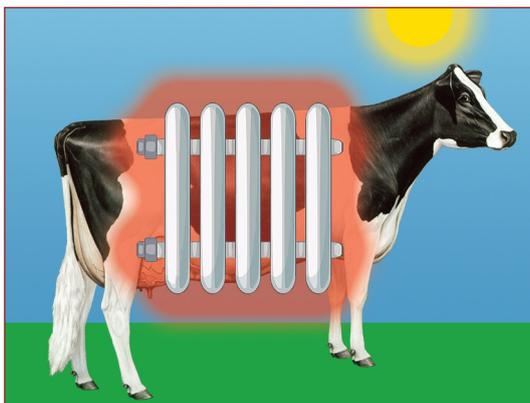
El estrés calórico (2): Evaluación

Introducción

Aunque quizá deberíamos haber formulado esta pregunta en nuestro trabajo anterior, el primero de esta serie dedicada al estrés calórico (EC), ¿por qué las vacas actuales sufren mayor estrés calórico que las que teníamos hace 30-40 años? ¿O es que, quizá, antes no se hablaba de ello? Es evidente que las vacas actuales producen mucho más calor, debido a su mayor peso y tamaño, su mayor producción y, por ello, a su elevado consumo. Podemos decir que son auténticas "estufas" (Figura 1). Y también es evidente que parecen tener mayor dificultad para eliminar calor, igualmente por diversas razones:

- Una gran parte de la producción lechera, precisamente la de mayor productividad, se concentra en zonas calurosas del planeta (Sur de Estados Unidos, Israel). También en España se da una elevada producción lechera en zonas de temperaturas elevadas.
- Las épocas de calor parecen tener mayor duración, extenderse a amplias zonas del territorio y ser más intensas. Cuando se escriben estas líneas se está en plena segunda ola de calor de este verano (Figura 2).
- Los alojamientos no siempre están bien diseñados, dimensionados y manejados (Figura 3).

Figura 1. Las vacas lecheras actuales producen una gran cantidad de calor



Antonio Callejo Ramos. Dr. Ingeniero Agrónomo.
Dpto. Producción Agraria E.T.S.I. Agronómica, A. y
de B.-U.P.M. - antonio.callejo@upm.es

Figura 2. Los episodios de calor son más frecuentes, extensos e intensos



Figura 3. Los alojamientos no siempre están a la altura de las necesidades



Por tanto, es preciso dotarse de algunas herramientas para luchar contra el EC. La primera de ellas es saber qué estamos midiendo. La elaboración de índices para los animales de interés zootécnico, en general, y para el vacuno lechero, en particular, tienen el fin de proporcionar una herramienta para la toma de decisiones. En efecto, la gestión se basa en poder analizar parámetros que se puedan medir o contar y, en función de los valores que toman dichos parámetros, actuar en consecuencia, o previniendo para evitar situaciones indeseadas. Por eso, el análisis y evaluación del estrés calórico debe basarse en cifras, resultado de mediciones, y es lo que vamos a tratar en el presente trabajo.

Como ya se comentó en un artículo anterior (Frisona Española nº 249) las vacas lecheras prefieren valores térmicos entre 0 y 24 °C, pudiendo mantener su producción incluso a temperaturas de -10 °C. Sin embargo, estos animales empiezan a experimentar estrés por calor a una temperatura de 25 °C, con niveles normales de humedad relativa. Este estrés se produce por la combinación de diversos factores (la raza, el nivel de producción, las condiciones ambientales, el sexo, el estado fisiológico, la edad o el color de la piel) que provocan que la temperatura ambiental efectiva, es decir, la percibida por los animales, sea mayor que la temperatura crítica superior que delimita la zona termoneutra. Aunque la temperatura del aire es el factor más importante de la temperatura efectiva, también influyen el contenido en humedad, el movimiento del aire y el intercambio de calor por radiación con el sol y con otros elementos cercanos como suelo, paredes, etc. Dicho de otro modo, el EC aparece cuando la ganancia de calor del animal supera su capacidad de perderlo.

La temperatura del aire, medida por el termómetro de bulbo seco, proporciona un valor del contenido en calor sensible del aire, y representa la principal fuerza del intercambio térmico entre el ambiente y el animal. Sin embargo, como se acaba de señalar, otros parámetros del aire también influyen en el intercambio de calor, incluyendo el contenido del aire en calor latente (que puede ser valorado por la temperatura de rocío o la humedad relativa del aire), la radiación térmica (de corta y larga longitud de onda), y la velocidad del aire.

1. Índice ITH

Como quiera que las pérdidas de calor latente (por evaporación) se dificultan cuanto mayor es el grado de humedad relativa ambiental, el EC debe

vincularse tanto a la temperatura como a esta humedad relativa. El ITH (Índice de Temperatura y Humedad) es un valor numérico que representa el efecto combinado de la temperatura y de la humedad asociados con el nivel de EC. Se desarrolló como un índice de seguridad para predecir y reducir las pérdidas debidas al calor ambiental. Propuesto inicialmente por Thom (1958), ha sido ampliamente utilizado a lo largo de los años para relacionar y enfatizar las consecuencias o respuestas biológicas asociadas con el valor del índice. El ITH presenta distintas formas de calcularlo en función de que la humedad del aire se exprese como temperatura del punto de rocío o como humedad relativa. Aunque esta última no es el mejor indicador de la cantidad de vapor de agua contenido en el aire, es el dato del que se dispone más rápidamente, por lo que la expresión de ITH cuyo uso es más habitual es la siguiente:

$$ITH = 0,81 \cdot T^{\circ} + HR \cdot (T^{\circ} - 14,4) + 46,4$$

expresándose la temperatura en °C y la HR en valor decimal (HR/100), no en porcentaje, y debiéndose medir a una altura de 1,20 m, en el lugar donde se encuentre el ganado.

Las distintas especies animales tienen distinta sensibilidad a la temperatura y a la humedad del aire. Así, el ganado vacuno puede tolerar temperaturas más altas que el porcino si el nivel de humedad es bajo, debido a que el vacuno dispone de glándulas sudoríparas y, por tanto, puede disipar calor mediante la evaporación del sudor. Sin embargo, cuando se combinan temperatura y humedad altas, se compromete la capacidad de eliminación de calor mediante la sudoración y el jadeo, por lo que el vacuno, en estas condiciones, llega al EC mucho antes que el porcino.

El contenido del aire en vapor de agua es importante por el efecto que tiene en el grado de eliminación de calor latente a través de la piel y del aparato respiratorio. Cuando la temperatura media diaria se sitúa fuera de la zona de confort térmico del animal, la cantidad de agua en el aire se convierte en un elemento significativo en el mantenimiento de la homeostasis del animal. Los meteorólogos, generalmente, utilizan tres unidades para medir el contenido en vapor de agua del aire:

- La temperatura de bulbo húmedo o temperatura húmeda (Th),
- La humedad relativa (HR), o
- La temperatura del punto de rocío (Tr)

Th representa la temperatura de equilibrio de un termómetro cuyo bulbo de mercurio está cubierto por una tela humedecida con agua. La humedad relativa indica el nivel de saturación del aire a una temperatura determinada, y la temperatura de rocío es la temperatura a la cual debe ser enfriado el aire para que esté saturado, es decir, la temperatura a la que la HR es del 100%.

El ITH da el mismo peso a la temperatura que a la humedad, pero no refleja sus efectos relativos sobre el ganado al no tener en cuenta el efecto de la velocidad del aire en la disipación de calor ni la carga térmica que supone la radiación que recibe el animal, sea ésta directa o indirecta.

Berry y col (1964) fueron los primeros en utilizar el ITH para predecir la disminución de la producción de leche (DPL, kg/vaca y día):

$$DPL = 1,075 - 1,736 \times M + 0,02474 \times M \times ITH$$

siendo M el nivel normal de producción en condi-

El estrés calórico (2): Evaluación

ciones de termoneutralidad. Según esta ecuación, para que la producción no disminuya (DPL=0) por el efecto de la temperatura y la humedad, el límite de ITH se situaría en el valor 72 para vacas de 24 kg/día de producción, valor de ITH que hasta los últimos años se ha tomado como umbral del EC.

2. Reevaluación del ITH

Este ITH ha sido reevaluado en años recientes, pues las condiciones de ensayo utilizadas para desarrollar el ITH inicial distan mucho de ser las actuales. En primer lugar, en dichas condiciones iniciales las vacas estuvieron expuestas de forma continua a unas determinadas condiciones de humedad y temperatura, lo que no coincide con las condiciones naturales, de ritmos circadianos de aumento y disminución de temperatura a lo largo de las 24 horas del día.

Por otra parte, la producción media de las vacas lecheras actuales supera con creces los 30 kg/d de media, con muchas vacas por encima de los 50 kg/d en el pico de lactación. Como sabemos, el aumento de la síntesis de leche incrementa la sensibilidad del ganado al EC (por la mayor producción de calor ligada a esa producción) y reduce el umbral de temperatura al que comienza la pérdida de producción, cuantificado en 5°C cuando la produc-

ción aumenta de 35 a 45 kg/d. Por otra parte, tampoco tuvo en cuenta la carga térmica de radiación o los efectos de la convección (velocidad del aire).

También la producción de calor metabólico es mayor en las vacas actuales por el mayor tamaño del animal y su mayor consumo. En consecuencia, era necesario revisar la escala de ITH. De acuerdo con esta reevaluación, parece que un ITH de 68 es lo suficientemente bajo como para empezar a causar efectos adversos. Con ayuda de un termohigrómetro y de las figuras 4 y 5 se puede evaluar con facilidad el nivel de riesgo de EC y calcular el ITH. Los datos históricos del tiempo también pueden ayudar a evaluar el riesgo de estrés.

Cada uno de estos niveles puede relacionarse con unos determinados parámetros fisiológicos (Tabla 1).

Tabla 1. Niveles de ITH y parámetros fisiológicos (B. Zimbelman y Collier, 2011)

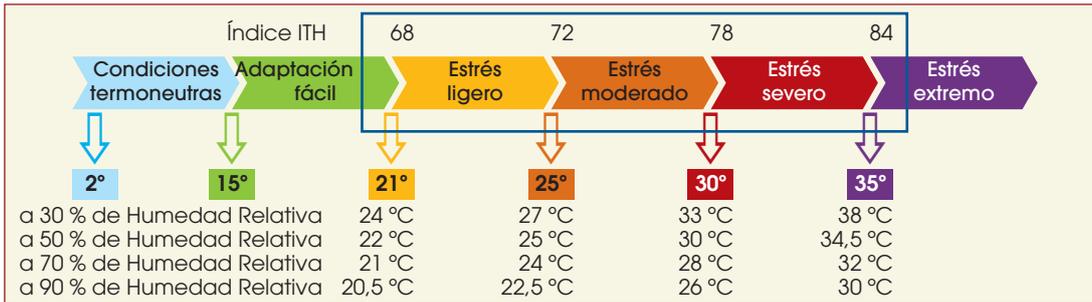
Nivel de estrés	RPM	T° rectal (°C)
Leve: Pérdidas de producción y reproductivas detectables	>60	>38,5
Leve a Moderado	>75	>39
Moderado a severo	>85	>40
Severo	120-140	>41

RPM: respiraciones por minuto

Figura 4. Niveles de severidad de EC en función del ITH (B. Zimbelman y Collier, 2011)

T°	Humedad Relativa (%)																				
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
22,0	64	65	65	65	66	66	67	67	67	68	68	69	69	69	70	70	70	71	71	72	72
23,0	65	65	66	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	71	72	72	73	73
23,5	65	65	66	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	74
24,0	66	66	67	67	68	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75
24,5	66	67	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76
25,0	67	67	68	68	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77
25,5	67	68	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	76	77	77	78
26,0	67	68	69	69	70	70	71	71	72	73	73	74	74	75	75	76	77	77	78	78	79
26,5	68	69	69	70	71	71	72	72	73	73	75	75	76	76	77	77	78	78	79	79	80
27,0	68	69	70	71	71	72	72	73	73	75	75	76	77	77	78	78	79	80	80	81	81
28,0	69	69	70	71	71	72	73	73	75	75	76	77	77	78	79	79	80	81	81	82	82
28,5	69	70	71	71	72	73	73	75	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	82	83	83
29,0	70	70	71	72	73	73	74	75	76	77	78	78	79	80	80	81	82	83	83	84	84
29,5	70	71	72	72	73	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	85
30,0	71	71	72	73	74	75	76	77	78	78	79	80	81	81	82	83	84	84	85	85	86
30,5	71	72	73	73	74	75	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	85	86	86	87
31,0	72	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	81	82	83	84	85	86	86	87	87	88
31,5	72	73	74	75	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	88	89
32,0	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	86	87	88	89	89	90
33,0	73	74	75	76	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	91
33,5	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	92
34,0	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	93
34,5	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
35,0	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
35,5	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
36,0	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
36,5	76	77	78	80	80	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	98
37,0	76	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	99
38,0	77	78	79	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	98	100
38,5	77	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	92	93	94	95	96	98	99	101
39,0	78	79	80	82	83	84	85	86	87	89	90	91	92	94	95	96	97	98	100	101	102
39,5	78	79	81	82	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	96	97	98	99	101	102	103
40,0	79	80	81	83	84	85	86	88	89	90	91	93	95	96	98	99	100	101	103	104	104
40,5	80	80	82	83	84	86	87	88	89	91	92	95	96	97	99	100	101	102	103	104	105
41,0	80	81	82	84	85	87	88	89	90	91	93	94	97	98	99	101	102	103	104	106	106
41,5	80	81	83	84	85	87	88	89	91	92	95	96	98	99	100	102	103	104	107	107	107
42,0	81	82	83	85	86	88	89	90	92	93	94	96	97	98	100	101	103	104	107	108	108
43,0	81	82	84	85	87	89	89	91	92	95	96	98	99	101	102	103	103	106	108	109	109
43,5	81	83	84	86	87	89	90	91	93	94	95	97	99	100	102	103	104	107	109	110	110
44,0	82	83	85	86	88	90	91	92	94	95	96	98	99	101	103	104	105	108	110	111	111
44,5	82	84	85	87	88	90	91	93	94	95	96	99	100	101	104	105	108	109	111	112	112
45,0	83	84	86	87	89	91	92	93	95	96	98	99	101	102	104	105	108	110	111	113	113
45,5	83	85	86	88	89	92	92	94	96	97	99	100	101	105	105	108	109	111	112	114	114
46,0	84	85	87	88	90	92	93	95	96	98	99	101	102	104	105	109	110	112	113	115	115
46,5	84	86	87	89	90	93	94	95	97	98	100	102	104	105	106	108	110	111	113	114	116
47,0	85	86	88	89	91	93	94	96	98	99	101	102	104	106	106	109	111	112	114	115	117
48,0	85	87	88	90	92	94	95	97	98	100	102	103	105	106	108	110	111	113	115	116	118
48,5	85	87	89	90	92	94	96	97	99	101	102	103	106	107	109	111	112	114	116	117	119
49,0	86	88	89	91	93	95	96	98	100	101	103	105	106	108	110	111	113	115	117	118	120

Figura 5. Niveles de ITH y de estrés calórico a distinta temperatura y Humedad Relativa



3. Modificaciones del ITH

Diversas modificaciones al ITH han sido propuestas a lo largo del tiempo para tener en cuenta la no inclusión de la velocidad del aire y del calor de radiación. Buffington y col., (1981) propusieron el **Índice de temperatura-humedad del Globo Negro (BGHI)** (Figura 6), para el que utilizaron la temperatura de globo negro¹ en lugar de la habitual temperatura de bulbo seco.

La temperatura de globo negro (BGT) representa un valor combinado de los efectos de la temperatura, la radiación y la velocidad del aire:

$$BGHI = T_{bg} + (0,36 \times T_{dp}) + 41,5$$

siendo T_{bg} la temperatura de globo negro (°C) y T_{dp} la temperatura de rocío (°C).

El problema que limita su utilización es que la T_{bg} no es una medición habitual en las estaciones meteorológicas. Las aplicaciones de este índice sugieren que valores de 70 o inferiores tienen escaso impacto sobre el animal, mientras que con valores de 75 y superiores se observa un marcado descenso del consumo.

Más recientemente, se ha señalado que este umbral de 75 era demasiado alto para los actuales niveles de producción, de genética y, donde esté autorizado, de uso de somatotropina bovina.

Baëta y col. (1987) propusieron mejorar el ITH desarrollando el índice de temperatura equivalente para el ganado (ETI), que combina la temperatura y la humedad con la velocidad del viento y la exposición solar, para evaluar el impacto del ambiente sobre la eliminación de calor y la producción de leche:

bien sobre la eliminación de calor y la producción de leche:

$$ETI = 27,88 - (0,456 t_{db}) + (0,010754 t_{db}^2) - (0,4905 HR) + (0,00088 HR^2) + (1,15 VV) - (0,12644 VV^2) + (0,019876 t_{db} HR) - (0,046313 T VV) + (0,4167 HES)$$

siendo

T_{db} : temperatura del aire (termómetro de bulbo seco) (°C)

HR: Humedad relativa (%)

VV: Velocidad del aire (m/s)

HES: Exposición al sol (h/d)

Tomando como base esta ecuación, se generan los valores de la Tabla 2.

El uso de este índice no se ha generalizado al considerarse que se deriva de mediciones hechas durante períodos cortos de tiempo, aunque podría resultar apropiado para el análisis de algunas situaciones especiales como olas de calor de corta duración, sobre todo en animales en pastoreo o en corrales tipo *feedlot*. No obstante, el análisis de la Tabla 2 permite comprobar la importancia de la velocidad del aire y de la temperatura ambiente. Cuando éstas son constantes, el ETI aumenta sensiblemente a medida que lo hace la humedad relativa. El efecto beneficioso del viento es más evidente según aumenta la temperatura y las pérdidas de calor del animal se hacen casi dependientes en su totalidad de procesos evaporativos.

Eigenberg y col. (2005) desarrollaron un algoritmo para predecir el ritmo respiratorio (RR) de ganado vacuno sin sombra a partir de la temperatura

Figura 6. Termómetro de globo negro



Tabla 2. Índice de temperatura efectiva a distinta temperatura y humedad y dos velocidades de aire (Fox y Tyluki, 1998)

T° (°C)	Velocidad del aire: 0,5 m/s						Velocidad del aire: 4,0 m/s					
	Humedad relativa (%)						Humedad relativa (%)					
	40	50	60	70	80	90	40	50	60	70	80	90
18	19	19	18	18	18	18	18	19	18	18	17	17
20	21	21	21	21	21	22	20	20	19	20	20	21
22	22	23	23	24	24	25	22	21	21	22	22	24
24	24	25	25	26	28	29	24	22	23	24	25	27
26	26	27	28	29	31	33	26	24	25	26	27	31
28	27	29	31	32	34	37	28	25	26	28	30	34
30	29	31	33	35	38	40	30	27	28	30	33	38
32	31	34	36	39	41	44	32	28	30	33	35	41
34	33	36	39	42	48	48	34	30	33	35	38	45
36	36	39	42	45	49	52	36	32	35	38	41	49
38	38	41	45	49	53	57	38	34	37	41	44	53
40	40	44	48	52	56	61	40	36	39	43	48	57

16 a 26: rango de seguridad; 27 a 31: precaución; 32 a 37: extrema precaución; 38 a 43: zona de peligro; >43: peligro extremo

¹ El globo negro es una esfera hueca de cobre pintada de color negro mate y en cuyo centro se encuentra el elemento sensible del termómetro.

El estrés calórico (2): Evaluación

ambiental, de la humedad relativa, de la velocidad del aire y de la radiación solar. Es indudable que el ritmo respiratorio es el primer signo visible de EC y, por tanto, parece lógico utilizar sus cambios para evaluar el bienestar animal.

$$RR = 5,1 \times Tdb + 0,58 \times HR - 1,7 \times VV + 0,039 \times SR - 105,7$$

donde SR es la radiación solar, expresada en W/m².

A partir de tres estudios realizados en vacuno de carne, Mader y col. (2006) propusieron un **índice ITH ajustado**, utilizando la velocidad del aire y la radiación solar:

$$ITH_{ADJ} = 4,51 + ITH - (1,992 \times VV) + (0,0068 \times SR)$$

Este ajuste se propuso sobre la base de cambios en la puntuación de jadeo de vacuno de carne en *feedlot* (figura 7).

Finalmente, se ha propuesto (Gaughan y col., 2008) un Índice de Carga Térmica (HLI, por sus siglas en inglés) que combina los efectos de la humedad relativa, la velocidad del aire y la temperatura de globo negro. Este modelo fue desarrollado en un rango de temperatura ambiental entre 8 y 45 °C. En él, la baja velocidad del aire es lo que produce una mayor variación, resultando en un incremento de este Índice HLI.

Este algoritmo consta de dos partes, dependiendo de si la temperatura de globo negro está por encima o por debajo de los 25 °C, proporcionando una medición puntual del EC. Sin embargo, su principal función es la determinación de la carga térmica acumulada (intensidad x duración). También se utiliza en los programas informáticos de evaluación de riesgos y en los servicios de predicción de EC.

$$HLI_{T_{BG}>25} = 8,62 + 0,38 \times RH + 1,55 \times T_{BG} - 0,5 \times VV + e^{(2,4 \times VV)}$$

$$HLI_{T_{BG}<25} = 10,66 + 0,28 \times RH + 1,30 \times T_{BG} - VV$$

Un incremento de 10 en el HLI supone una elevación de la temperatura corporal de 0,3 °C

La medición de este índice en distintos puntos de un alojamiento usando un termómetro de globo negro, un higrómetro y un anemómetro, permite cartografiar térmicamente dicho alojamiento y de-

teectar las zonas donde puede haber más problemas de EC (Figura 8).

El Índice **Climático Completo (CCI)** fue desarrollado en un rango de -30 a 45 °C de temperatura. Este CCI se construye sobre la base del HLI para tener en cuenta un rango de condiciones climáticas más amplio e incorpora un mayor número de componentes medioambientales, tanto en condiciones de frío como de calor, proponiéndose los valores térmicos umbral que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores térmicos umbral del Índice Climático Completo (Mader y col., 2010)

Nivel de estrés	Condiciones de calor	Condiciones de frío	
		Susceptibilidad del animal	
		Alta	Baja
Sin estrés	< 25	>5	>0
Medio	25 a 30	0 a 5	0 a -10
Moderado	>30 a 35	<0 a -5	< -10 a -20
Severo	>35 a 40	< -5 a -10	< -20 a -30
Extremo	>40 a 45	>-10 a -15	< -30 a -40
Extremadamente peligroso	>45	< -15	< -40

El propósito del CCI fue proporcionar un indicador relativo de las condiciones ambientales que rodean el animal y cuantificar cómo la radiación solar, la velocidad del aire y la humedad relativa, junto con la temperatura ambiental, afectan a la temperatura percibida por el animal y, por tanto, a su nivel de estrés térmico.

Asimismo, el CCI tienen en cuenta diversos factores para determinar cómo influyen dichos factores sobre el valor HLI umbral de los animales, tomando como referencia el HLI = 86 de un novillo de cebo (Tabla 4).

4. Índice de estrés acumulado

Zulovich y col. (2008) propusieron un sistema para evaluar y optimizar la eficacia de un sistema de mitigación de calor. El concepto de Horas de Estrés Térmico (CHSH) se propuso como un método para cuantificar el impacto acumulado de las condiciones de EC sobre las vacas lecheras. Las horas de EC acumuladas son calculadas siguiendo el procedimiento siguiente:

- Determinar el ITH para una hora determinada usando la media horaria de temperatura del

Figura 7. Puntuación de jadeo y temperatura corporal de vacas lecheras (CNIEL, 2020)

Puntuación de jadeo	0	1	2	3	4
Descripción	Normal, sin jadeo	Ligero jadeo, boca cerrada sin salivación	Jadeo rápido, con salivación. Sin jadeo con boca abierta	Jadeo con boca abierta e hipersalivación. Cuello estirado y cabeza levantada	Boca abierta con la lengua fuera durante largos periodos e hipersalivación, frecuentemente asociada a cuello estirado hacia delante
RPM	<60	60-90	90-120	120-150	>150
Nivel de estrés		Ligero a moderado T °C > 38,5	Moderado a severo T °C > 40	Severo T °C > 41	Muy severo

Figura 8. Cartografía "térmica" de un alojamiento según el HLI



Tabla 4. Efectos (+ y -) de las características del animal y de aspectos de manejo sobre el Índice de Carga Térmica (HLI) de referencia (Gaughan y col., 2008)

Ítem	(1)	Ítem	(1)
Genotipo		Sombra (2)	
<i>Bos taurus</i> (Británico)	0	No sombra	0
<i>Bos taurus</i> (Europeo)	+3	Sombra (>1,5 a 2 m ² /animal)	+3
<i>Bos indicus</i> (25 %)	+4	Sombra (> 2 a 3 m ² /animal)	+5
<i>Bos indicus</i> (50 %)	+7	Sombra (> 3 m ² /animal)	+7
<i>Bos indicus</i> (75 %)	+8		
<i>Bos indicus</i> (100 %)	+10		
Color del pelo		Días de edad (comiendo)	
Negro	0	0-80	+2
Rojo	+1	80-130	0
Blanco	+3	>130	-3
Estatus sanitario		Manejo del estiércol (3)	
Sano	0	50 mm	0
Enfermo/en recuperación	-5	100 mm	-4
		200 mm	-8
Aclimatación		T° del agua de bebida	
Aclimatado	0	15 a 20 °C	+1
No aclimatado	-5	21 a 30 °C	0
		31 a 35 °C	-1
		> 35 °C	-2

(1) Efecto relativo sobre el HLI umbral de un novillo de referencia (HLI=86)
 (2) Materiales de sombra con un 70 % de eficiencia, tanto textiles como de acero)
 (3) Máxima profundidad de la cama. Profundidad media durante 54 días

aire y de la humedad relativa o de la temperatura de rocío para el cálculo de dicho ITH. Si en la instalación se utilizan paneles humectantes de refrigeración evaporativa o sistemas de nebulización para enfriar el aire, el ITH debe calcularse según las condiciones del aire tras atravesar el panel y no según las condiciones ambientales.

- Determinar el CHSH mediante el siguiente procedimiento normalizado:
 - CHSH = ITH - 70 cuando el ITH del punto 1 es mayor o igual de 70
 - CHSH = 0 cuando el ITH del punto 1 es menor de 70 y mayor de 65
 - CHSH = ITH - 65 cuando el ITH del punto 1 es menor o igual de 65

El valor 70 de ITH se asume como el valor al que las vacas lecheras de alta producción empiezan a manifestar pruebas evidentes de sufrir EC, como es un mayor ritmo respiratorio. El valor 65 es el mayor valor de ITH en el que las vacas son capaces de mantener su temperatura corporal por sí mismas y en el que no manifiestan ninguna modificación fisiológica o conductual propia de estar sufriendo EC.

Para calcular el balance de calor a lo largo del día se propone la ecuación siguiente:

$$CHB = \sum_{24}^{24} CHSH - (HAP_{am} \times HRS_{fans}) - (HAP_{dc} \times HRS_{spr}) - \sum_{24}^{24} AFX$$

donde:

CHB = Balance de calor de la vaca durante un período dado de 24 horas

CHSH = Horas de EC determinados y definidos en el apartado anterior

HAP_{am} = Potencial de reducción del calor debido al movimiento del aire

= 0 cuando la velocidad del aire a nivel de los animales es menor de 0,4 m/s

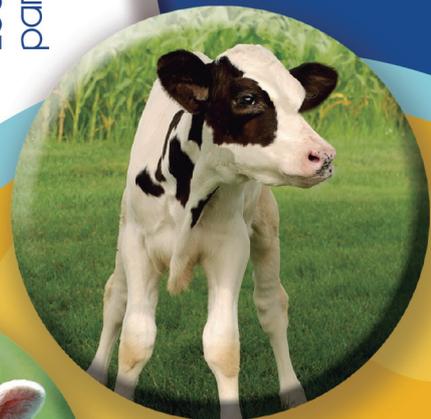
= 1 cuando es de 0,5 m/s

= 2 cuando es igual o superior de 1 m/s

HRS_{fans} = Número de horas en que el aire se mueve o que los ventiladores están funcionando en un período de 24 horas

Traditi

Leches maternizadas para rumiantes



El estrés calórico (2): Evaluación

- HAP_{dc} = Potencial de reducción del calor debido a rociado directo de las vacas
 = 1 cuando los rociadores están en el pasillo de alimentación
 = 2 cuando además de los rociadores se instalan ventiladores
- HRS_{spr} = Número de horas diarias de funcionamiento de los rociadores
- AXF = Factor de intercambio de aire del edificio para el correspondiente CHSH

En naves ventiladas mecánicamente, AXF se calcula de la siguiente forma:

- AXF = 1 en naves ventiladas mecánicamente durante las horas diurnas
- AXF = -1 en naves ventiladas mecánicamente durante noches calurosas
- AXF = 0 en naves ventiladas mecánicamente durante noches templadas

En naves ventiladas de forma natural, sin medios mecánicos, AXF puede estimarse a partir de la Tabla 5.

Tabla 5. Valor del Factor de Intercambio de Aire (AXF) en naves de ventilación natural

T° (°C)	Pequeñas ¹ aberturas en fachadas		Medianas ² aberturas en fachadas		Grandes ³ aberturas en fachadas	
	Mala ⁴	Buena ⁴	Mala	Buena	Mala	Buena
< 21	-1	-1	0	1	1	2
21-30	-2	-2	-1	-1	-1	0
>30	-2	-2	-2	-2	-2	-1

¹ Altura de menos de la mitad de la de la nave y longitud inferior a la de la mitad de ésta

² Altura de, al menos, la mitad de la de la nave y longitud, $\frac{3}{4}$ de la de ésta

³ Altura de, al menos, $\frac{3}{4}$ de la de la nave y longitud, prácticamente igual a la de la nave.

⁴ Hace referencia a la orientación de la nave respecto a los vientos dominantes durante la época de calor. Con una buena orientación, los vientos inciden casi perpendicularmente.

En un cálculo realizado en Agosto de 2005 en Ohio, los resultados fueron los que se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Balance de calor (horas mensuales de estrés) según el sistema de reducción de calor

	CHB mensual
ITH Normal	1291,8
Ventiladores a 21 °C	562,3
Rociadores a 24 °C	319,5
Rociadores a 21 °C	25,0

De la tabla se infiere que el que los rociadores se pongan en marcha cuando la temperatura llega a 21 °C en lugar de más tarde, cuando llega a 24 °C, ahorró a las vacas un total de 294,5 horas de EC durante el mes en que se tomaron esos datos.

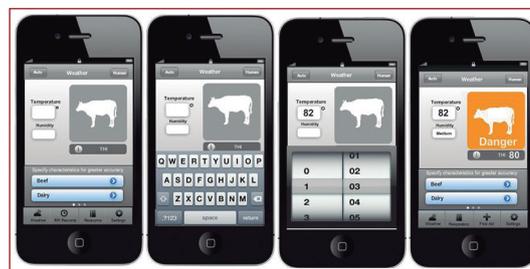
Resumen

Como se ha podido comprobar, estos índices tienen un cálculo más o menos complejo, lo que dificulta su utilización diaria en las explotaciones. Lo que no es óbice para seguir considerando la importancia de la evaluación del EC.

Por ello, recientemente se han desarrollado algunas aplicaciones para teléfonos inteligentes (smartphones) (Figura 9) que, conectadas a las estaciones meteorológicas cercanas, proporcionan en tiempo real los valores ambientales que se precisan para el cálculo del ITH. Incluso se pueden utilizar los datos de predicciones a corto plazo, con el fin de anticiparse a una posible ola de calor y ac-

tuar en consecuencia. En estas aplicaciones es posible, además, incorporar datos propios de la granja como son la identificación de cada animal, su nivel de producción u otros parámetros de interés para que dicha aplicación pueda determinar el nivel de riesgo; por ejemplo, NORMAL, ALERTA, PELIGRO, EMERGENCIA. Estas aplicaciones tienen, además, la posibilidad de introducir parámetros de las vacas como el ritmo respiratorio, la localización, la temperatura ambiental o la humedad relativa y transmitir esos datos de modo inmediato a una central de datos. Esto proporciona a los investigadores una extensa base de datos con los que generar modelos de predicción y respuesta al EC a corto y a largo plazo. Por otro lado, ofrece el potencial para que los técnicos e investigadores generen respuestas inmediatas a los ganaderos con relación al estatus térmico de su rebaño que permita establecer medidas más eficientes para reducir la carga térmica de los animales.

Figura 9. Ejemplo de uso de la telefonía móvil en el control del EC (<http://thermalnet.missouri.edu/>)



Referencias

- Baeta, F.C.; Meador, N.F.; Shanklin, M.D.; Johnson, H.D. 1987 "Equivalent temperature index at temperatures above the thermoneutral for lactating dairy cows". Paper 87-4015. Proc. Am. Society. Agric. Eng. St. Joseph, MI. (USN).
- Berman, A. 2005. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. J Anim Sci 83:1377-1384.
- Berry, I. L.; Shanklin, M. D.; Jhonson, H. D. 1964. Dairy shelter design based on milk production decline as affected by temperature and humidity. Trans. ASAE 7(3):329-331.
- Buffington, D.E., Collazo-Arocho, A.; Canton, G.H.; PITT, D.; THATCHER, W.W.; COLLIER, R.J. 1981. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. Transactions of the ASAE 24(3): 711-714.
- Burgos Zimbelman, R.; Collier, R.J. 2011. Feeding Strategies for High-Producing Dairy Cows During Periods of Elevated Heat and Humidity. Tri-State Dairy Nutrition Conference.
- CNIEL. 2020. Améliorer le confort thermique des vaches laitières en bâtiment en période chaude. Centre National Interprofessionnel de l'économie laitière
- Fox, D.G.; Tylutki, T.P. 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. J. Dairy Sci., 81:3085-3095.
- Gallardo, M.; Valtorta, S. 2011. Estrés por calor en ganado lechero: impacto y mitigación. Ed. Hemisferio Sur. 124 pp.
- Gaughan, J.B. y col. 2012. Rethinking Heat Index Tools for Livestock. En: Environmental Physiology of Livestock. Wiley-Blackwell.
- Hahn, G.L.; Gaughan, J. B.; Mader, T.L.; Eigenberg, D.A. 2009. Thermal index and the applications for livestock environments. En: Livestock energetic and the thermal environmental management. ASABE, St Joseph Mt, USA, pp.111-130.
- Jensen, M.E.; Burman, R.D.; Allen, R.G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practices No. 70. American Society of Civil Engineers. New York, New York.
- Thom, EC. 1959. The discomfort Index. Weatherwise 12:57.
- Yousef, M. K. 1985. Stress physiology in livestock. Volume 1, Basic Principles. CRC Press, Florida, 1985.
- Zulovich, J.M.; Tyson, J.T.; Brugger, M. 2008. Improving management of heat abatement systems on US dairy farms. Livestock Environment VIII, Iguassu Falls, Brazil:693-699. ASABE paper No. 701P0408.