

Desarrollo de un modelo para determinar los
efectos del estrés térmico en explotaciones de
vacuno de leche

Alumno:

Lucas Máscolo

Tutor:

Fernando Estellés

2016

Valencia

Índice

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1. Bases de la producción bovina de leche	2
1.2. Fisiología de la termorregulación en el ganado bovino	3
1.3. Balance de calor	4
1.4. El ITH como indicador de estrés térmico	7
1.5. Consecuencias del estrés térmico.....	10
1.6. Herramientas para la mitigación del estrés térmico	12
1.7. Cambio climático y estrés térmico	13
2. OBJETIVOS	15
3. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Estructura básica del modelo	16
3.2. Módulo de entrada de datos.....	16
3.2.1. Condiciones ambientales(ITH)	16
3.2.2. Datos del rebaño.....	17
3.3. Módulo de cálculo.....	19
3.3.1. Producción de leche y componentes principales.....	19
3.3.2. Leche corregida por sólidos y por grasa.....	20
3.3.3. Estimación de ingreso bruto por producción de LCS	20
3.3.4. Estimación de la producción de leche afectada por ITH	21
3.3.5. Producción de grasa y proteína.....	22
3.3.6. Evolución del peso vivo y consumo de materia seca	23
3.3.7. Reproducción	24
3.4. Módulo de salida de datos	25
3.4.1. Planilla individual por lote.....	25
3.4.2. Planilla Gráficos.....	26
3.4.3. Planilla Resumen	27
3.5. Tabla de referencias para las herramientas de mitigación del estrés	28
3.6. Análisis de escenarios	29
4. RESULTADOS.....	32
4.1. Descripción del modelo.....	32
4.1.1. Planillas	32
4.1.2. Inicio.....	33
4.1.2.1. Manipulación de datos	34
4.1.2.2. Ver lote	34
4.1.2.3. Guardar	34
4.1.2.4. Opciones	34
4.2. Análisis de alternativas y escenarios	35
4.2.1. Comparaciones generales	35
4.2.2. Producción de leche	36
4.2.3. Consumo de materia seca.....	36
4.2.4. Parámetros reproductivos	36
4.2.5. Efecto de las condiciones ambientales	39
4.2.6. Comparaciones entre sistemas de manejo	39
4.2.7. Comparaciones entre las estrategias de mitigación del estrés calórico	40
7. CONCLUSIÓN	42
7. BIBLIOGRAFÍA	44

Resumen

Los animales de raza frisona son los individuos más utilizados en la producción lechera a nivel mundial. Éstos son capaces de regular su temperatura corporal para ubicarse dentro de su zona de termoneutralidad. Cuando las condiciones ambientales se vuelven adversas, y el animal experimenta ganancia de calor, éste activa una serie de herramientas fisiológicas para favorecer las pérdidas de energía provenientes del ambiente. Cuando dichos procesos fisiológicos no logran disipar el aumento de calor, el animal comienza a acumular el exceso de energía en el organismo, generando deficiencias en su productividad, reproducción, salud y bienestar.

Existen distintos indicadores para determinar el grado de estrés calórico que sufre el animal. El más ampliamente utilizado es el Índice de Temperatura y Humedad (ITH), el cual combina la humedad relativa del ambiente con la temperatura ambiental. Dicho índice da como resultado un valor, que se asocia a una escala de estrés teórica, y da una idea del grado de estrés que podría estar sufriendo el animal en unas determinadas condiciones.

El objetivo del trabajo fue utilizar diferentes indicadores encontrados en la bibliografía que estimaran la producción de diferentes parámetros productivos del animal y el efecto del ITH en cada uno de ellos, con el fin de desarrollar un modelo capaz de predecir la situación de una granja comercial a lo largo del año. El modelo fue testeado a través de una simulación de escenarios, utilizando diferentes años (año más ambientalmente adverso, año promedio y año menos adverso, tomando como referencia una base de datos simulados de 20 años para la zona de estudio), tres formas de manejo distintas dentro de la granja (*partos concentrados buscando la mayor producción de LCS anual*, *partos concentrados por máxima tasa de concepción* el día de inseminación y máxima producción de LCS anual, y *partos mensuales*, generando que todos los meses parieran la misma cantidad de animales, haciendo que al final del año hayan parido la totalidad del rodeo). Además, se planteó el uso de sombra artificial como herramienta de mitigación del estrés calórico.

El resultado del trabajo fue un programa ejecutable (.exe) generado a partir de macros de Microsoft Excel, donde a través de diferentes formularios el usuario puede ingresar, obtener la fecha óptima de parición de los animales según su objetivo, y visualizar los resultados y evolución anual de diferentes indicadores productivos. A partir de la simulación realizada, el programa estimó que el mes de parto óptimo que menor efecto negativo de estrés calórico genera en la lactancia siguiente es agosto. Además, estimó que el manejo de partos concentrados buscando la mayor producción de LCS es la estrategia que menor efecto negativo del estrés calórico genera para la zona de estudio, y que el uso de sombra artificial aumenta en un 2% la producción de LCS en comparación con ningún uso de herramienta de mitigación.

1. Introducción

1.1. Bases de la producción bovina de leche

Los animales más ampliamente utilizados a nivel mundial en el rubro lechero, es el ganado bovino de raza frisón, correspondiente a la especie *Bos taurus*. Estos animales, presentan una gestación aproximada de 280 días, engendrando generalmente una cría por parto. Usualmente se intenta preñar al animal aproximadamente 85 días posparto con el fin de lograr una nueva cría exactamente a un año de su último parto, buscando de ese modo, que el animal presente un parto por año. En cuanto a la lactancia, en términos teóricos, su duración es de aproximadamente 305 días, proporcionando así 60 días sin ordeñar (período de secado), para que el animal transcurra las últimas etapas de la gestación con las menores exigencias posibles, acumulando la mayor cantidad de reservar y mejorando su estado corporal para afrontar los próximos desafíos (parto y lactación). Una vez transcurrido el parto, el animal comienza la lactación, la cual se puede dividir en 5 fases. La primera tiene una duración de entre 7 y 9 semanas y se encuentra comprendida entre los inicios de la lactación y el período de máxima producción diaria, denominado pico productivo. Una vez alcanzado este máximo, el cual dura aproximadamente 1 semana, comienza la segunda fase, la cual transcurre durante 21 semanas, y donde la producción comienza a descender considerablemente. Es en el transcurso de esta etapa, donde el animal debe quedar nuevamente preñado. La tercera fase –con una duración de 13 semanas– se considera el final de la lactación y finaliza con el secado del animal. Una vez finalizada la lactancia, comienza la etapa de secado del animal, la cual dura aproximadamente 60 días. Dentro de esta última fase, existe una quinta denominada “transición”, la cual abarca los últimos 20 días preparto y los primeros 20 días posparto, donde ocurren una serie de cambios fisiológicos y metabólicos en el animal, debido a los sucesos que ocurren dentro de esta fase, el parto y el comienzo de la lactación (Almeyda, 2013). A continuación, se presenta un esquema de la evolución teórica anual de diferentes parámetros en un animal adulto, dentro de una explotación lechera (Figura 1).

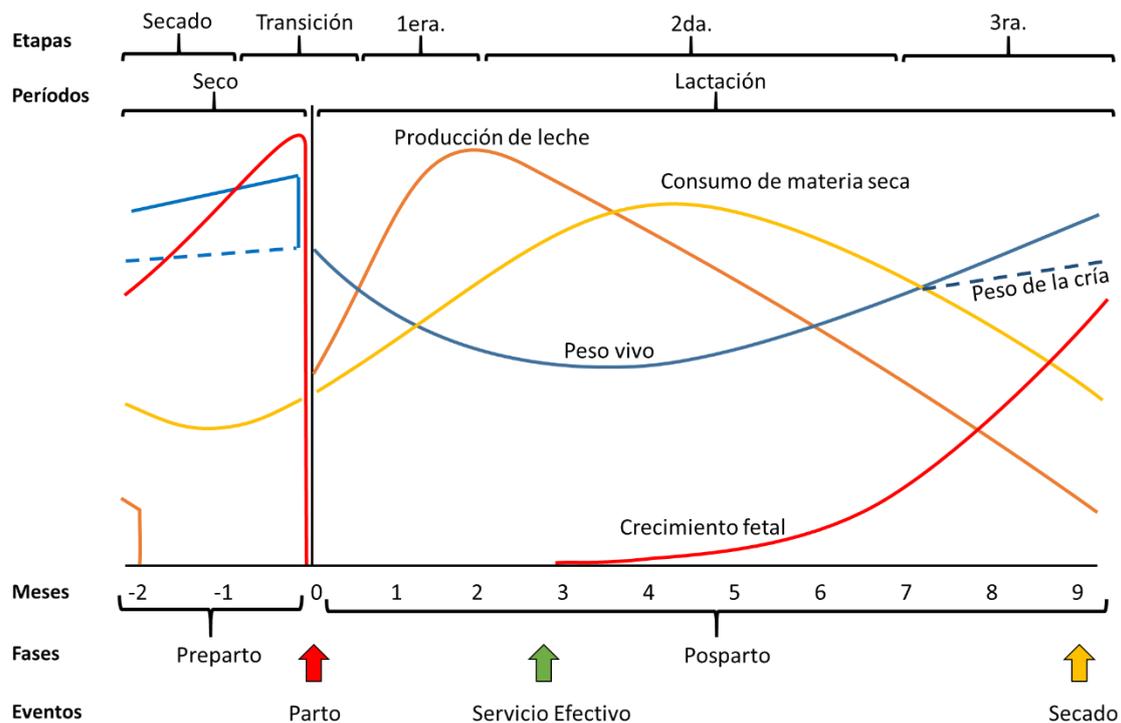


Figura 1. Esquema de la evolución anual de diferentes parámetros para un animal adulto, dentro de una explotación lechera. Adaptado de Mendoza (2015).

Sin embargo, en la práctica los tiempos teóricos no son fáciles de cumplir, debido a las altas producciones que presentan los animales en la actualidad, generando que el período parto-concepción se alargue, a causa de la gran proporción de recursos que requiere la lactación perjudicando negativamente la fertilidad del animal. A nivel nacional, en España se necesita entre 1,7 a 2 inseminaciones por parto, y existe un promedio nacional de entre 60% y 65% en la tasa de concepción. Por otra parte, en términos promedios, en España, estos animales generan una producción de más de 10.800 kilogramos de leche por lactancia, con una producción promedio de 3,7% de grasa y 3,3% de proteína, y una duración de 371 días de lactancia. En la actualidad existen más de 756 mil ejemplares en todo el país, encontrándose la inmensa mayoría en la comunidad autónoma de Galicia (MAGRAMA, 2016).

1.2. Fisiología de la termorregulación en el ganado bovino

El factor clima es una fuente de variación de gran importancia en la producción animal, pudiendo generar tanto incrementos, como mermas productivas, fundamentalmente en animales de alta producción e intensamente exigidos, como el ganado bovino lechero. De esta forma, el grado de adaptación a un ambiente determinado, al igual que la robustez del animal y las condiciones ambientales que los diferentes sistemas productivos son capaces de modificar para optimizar el confort ambiental, son claves en la producción animal.

Estos animales son capaces de regular y mantener su temperatura corporal dentro de su zona termoneutra, bajo ciertos límites. De esta manera, el equilibrio térmico entre el animal y el ambiente circundante es de gran importancia. En un ambiente óptimo, el individuo se encuentra dentro de su zona de confort térmico, donde las ganancias de calor en el animal coinciden con sus pérdidas, sin representar ningún coste energético. Es en esta zona, donde se encuentra el óptimo desempeño productivo, ya que, la totalidad de sus recursos se utilizan para el mantenimiento y producción, volviendo al animal más eficiente (NRC, 1981). A medida que la temperatura aumenta, la homeostasis del animal se desequilibra, haciendo que salga de su zona de confort. En esta circunstancia, el individuo pone en marcha distintas herramientas fisiológicas para favorecer las pérdidas de calor evitando su acumulación, y aumentando su gasto energético para su termorregulación.

Sin embargo, cuando las ganancias de calor aumentan, y el animal es incapaz de eliminar este exceso de energía, se comienza a almacenar calor en el organismo y éste se desplaza fuera de su zona de termoneutralidad, ocasionando fallos fisiológicos en su regulación y estrés ambiental por exceso de calor (Figura 2).

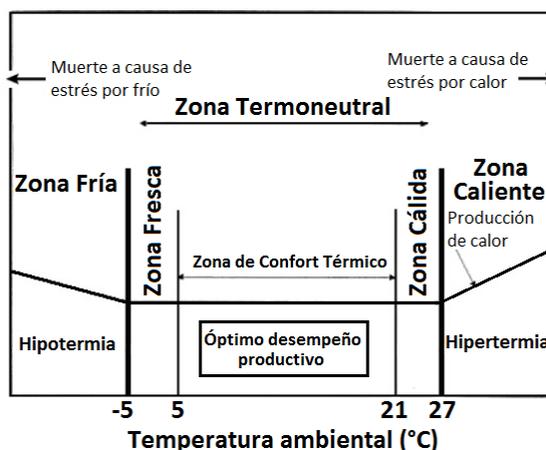


Figura 2. Esquema de las zonas de termoneutralidad y confort térmico. Adaptado de Curtis (1981).

1.3. Balance de calor

Las ganancias de calor en el animal se producen tanto por causas endógenas como exógenas. Para que éste sea capaz de disipar el calor generado por su metabolismo, el ambiente que lo rodea debe ser capaz de absorber el exceso de calor. Las ganancias endógenas de energía se generan a partir de la actividad de los órganos del individuo, dicha energía se traslada en forma de conducción a capas periféricas como; diferentes tejidos, cobertura, y pelaje, hasta llegar a la superficie del animal, donde se pierde por radiación, convección y conducción –procesos donde

el animal no tiene ningún control, y donde la convección representa la vía de pérdida más importante— siempre y cuando, la temperatura del ambiente sea menor a la del animal.

De forma inversa, las ganancias de calor exógenas se deben a una mayor cantidad de energía del ambiente circundante en relación a la del animal, generado aumento de calor en el individuo por medio de los mismos métodos de transferencia, e impidiendo que éste pueda eliminar el exceso de calor, forjando así su acumulación en el animal (Álvarez *et al.*, 2009). Por otro lado, los animales también son capaces de eliminar calor a través de la evaporación de agua (calor latente) que puede producirse a través de los pulmones o de la sudoración. Siendo éste, el único proceso regulable por el animal y el más eficiente para eliminar el exceso de calor, representando gastos energéticos y grandes pérdidas de agua. Es aquí donde la humedad del ambiente juega un papel importante, ya que, a una baja cantidad de humedad en el ambiente, el animal libera fácilmente el exceso de calor por evaporación (Figura 3).

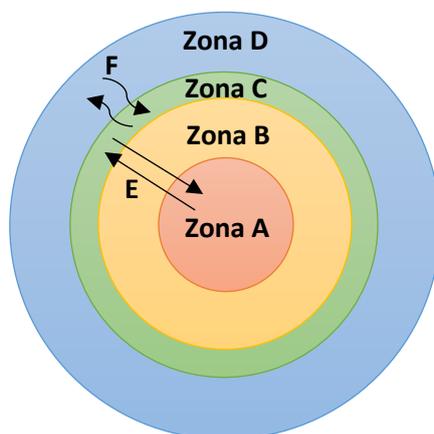


Figura 3. Esquema del flujo de energía endógena y exógena en el animal. La zona A hace referencia al centro del cuerpo, donde se ubica la mayoría de órganos. Zona B a la capa superficial, tejidos, mucosa, grasa, etc. Zona C a la cobertura del animal, y zona D al ambiente circundante al individuo. El punto E refiere al traspaso de calor por medio de la conducción, y el punto F al traspaso de energía por convección y radiación. Adaptada de Petrocelli, 2010.

El balance de calor entre el animal y el ambiente se representa con la ecuación;

$$(i) CM = AC + Cd + Cv + R + E$$

Donde, CM representa el calor metabólico, AC: almacenamiento de calor, Cd: intercambio de calor por conducción, Cv: intercambio de calor por convección, R: intercambio de calor por radiación, y E: intercambio de calor por evaporación (Silanikove, 2000).

Desde el punto de vista de la temperatura se estima que, para vacas frisonas maduras, el rango óptimo se encuentra entre -5 y 27 grados Celsius, para la zona de termoneutralidad, y entre 5 y

21 para la zona de confort térmico (Spiers *et al.*, 2004). Aunque, el rango óptimo de temperatura varía tanto entre raza, edad, consumo de alimento, composición de la dieta, grado de acondicionamiento previo, nivel productivo, condiciones de las instalaciones en confinamientos, factores ambientales, y comportamiento del animal (Yousef, 1985, citado por Kadzere *et al.*, 2002).

Por otra parte, a medida que la producción de los animales aumenta por medio de la selección genética, su calor metabólico se hace cada vez más importante (Figura 4), y su capacidad termorreguladora disminuye. Generando que la resistencia a las altas temperaturas disminuya considerablemente.

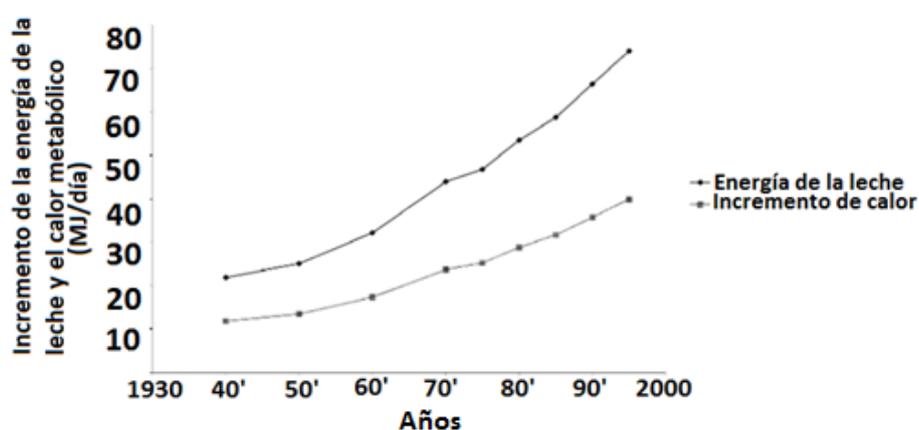


Figura 4. Evolución del incremento de la energía de la leche y del incremento de calor metabólico en ganado lechero frisón para el período 1930-2000, en EEUU (Kadzere *et al.*, 2002).

Así, diferentes autores como Hamada, (1971) estimaron un valor de temperatura crítica inferior de entre -37 a -16°C para vacas con una producción diaria de 30 kg de leche corregida por sólidos (LCS), concluyendo que el alto calor metabólico generado por la alta producción de leche, permite valores críticos inferiores más bajos. Respecto a la temperatura máxima, también se ha observado que, a mayor productividad, se reduce la temperatura crítica superior, provocando que la resistencia a las altas temperaturas disminuya. En este sentido, Berman (2005) menciona una reducción del límite de temperatura máxima para el ganado de 5°C cuando la producción de leche se incrementa de 35 a 45 kg/día.

Además, se ha observado que vacas durante su primera etapa de lactación, o a finales de gestación, son los individuos más propensos a sufrir estrés calórico a valores de temperatura y humedad no tan estresantes, en comparación con animales menos exigidos, como individuos durante el final de la gestación o comienzo del período seco (Pejman & Shahryar, 2012). Esto se debe a que una mayor productividad del animal, lleva a un mayor consumo de alimento y actividad metabólica. Purwanto *et al.*, (1990) encontraron un incremento del 48,5% y 27,3% en

la generación de calor en vacas con producción alta (31 kg/día) y media (18 kg/día) respectivamente, en comparación con vacas secas.

Por otro lado, la humedad relativa (HR) del aire afecta a la sensación térmica de los animales a través de la capacidad de intercambio de calor latente con el ambiente. Así, con valores elevados de HR, se dificulta la evaporación de agua, de forma que si coinciden una temperatura y humedad relativa elevadas los animales se quedan sin recursos para disipar todo el calor que producen. Por una parte, a temperaturas elevadas la capacidad de disipar el calor sensible por convección se reduce, mientras que, por otra, la alta humedad en el ambiente impide una eficiente pérdida de calor por evaporación a causa del incremento del ritmo respiratorio, generando mayor riesgo a sufrir estrés calórico debido al aumento en la actividad muscular y la acumulación de calor proveniente del ambiente.

1.4. El ITH como indicador de estrés térmico

Dada la fuerte relación existente entre la temperatura y humedad del ambiente desde el punto de vista de la regulación térmica de los animales, y con el objetivo de facilitar la toma de decisiones en granja, se han propuesto una serie de índices que combinan estos parámetros. Uno de los más extendidos es el índice de temperatura y humedad (ITH) desarrollado por el climatólogo Earl C. Thom¹, que integra el efecto combinado de la temperatura y la humedad ambiental, de forma que permite estimar, de un modo completo, la presión ambiental, desde el punto de vista térmico, que sufre el ganado en el ambiente que lo rodea.

Dicho indicador ha sido objeto de debate, ya que no toma tres de las variables primarias que pueden generar el estrés por calor, como la radiación solar, la velocidad del viento y el tiempo de exposición a las condiciones adversas (Dikmen & Hansen, 2009). Por esta razón, se han creado diferentes ecuaciones, para poder desarrollar modelos que mejor se adapten a determinadas condiciones, capaz de predecir con mayor exactitud el grado de discomfort ambiental que sufre el ganado (Tabla 1).

¹ The Discomfort Index. Thom, 1959.

Tabla 1. Ecuaciones de ITH utilizadas para producción animal, con su origen y trabajos donde fueron utilizadas

Ecuación	Origen	Autores
$(1,8 * \text{temp}(\text{°C}) + 32) - (0,55 - 0,0055 * \text{HR}(\%)) * (1,8 * \text{temp}(\text{°C}) - 26)$	NRC, 1971	Hammami et al (2014, 2015), Lambertz et al. (2014), Brügemann (2012), Tao et al. (2011), Saravia (2009), Dikmen & Hansen (2009), Bohmanova (2007-2008), Cruz & Saravia (2008), Vitali et al. (2009), Bernabucci (2014), Ravagnolo et al. (2000), Ravagnolo & Misztal (2000, 2002), West et al. (2003), Allen et al. (2015)
$0,8 * \text{temp}(\text{°C}) + \text{HR}(\text{fr}) * (\text{temp}(\text{°C}) - 14,4) + 46,4$	Buffington et al, 1981	Zähner et al. (2004), Amundson et al. (2006), Mader et al. (2002, 2007), Bryant et al. (2007), Avedaño-Reyes et al. (2007), Dikmen & Hensen (2009).
$\text{temp}(\text{°C}) + (0,36 * \text{tpr}(\text{°C})) + 41,2$	Yousef, 1985	Lacetera et al. (2001), Provolo & Riva (2009), Bohmanova (2007), Dikmen & Hansen (2009), Bava et al. (2012), Mayer et al. (1999), Morton et al. (2007)
$(0,35 * \text{temp}(\text{°C}) + 0,65 * \text{Twb}(\text{°C})) * 1,8 + 32$	Bianca, 1962	Bohmanova (2007), Dikmen & Hansen (2009)
$(0,55 * \text{temp}(\text{°C}) + 0,2 * \text{tpr}(\text{°C})) * 1,8 + 32 + 17,5$	NRC, 1971	Bohmanova (2007), Dikmen & Hansen (2009)
$(\text{temp}(\text{°C}) + \text{Twb}) * 0,72 + 40,6$	NRC, 1971	Bohmanova (2007), Dikmen & Hansen (2009)
$1,8 * \text{temp}(\text{°C}) - (1 - \text{HR}(\text{fr})) * (\text{temp}(\text{°C}) - 14,3) + 32$	Kibler, 1964	Bouraoui et al. (2002)
$0,8 * \text{temp}(\text{°C}) + (\text{HR}(\%)) * (\text{temp}(\text{°C}) - 14,3) / 100 + 46,3$		Mader et al. (2002)
$(1,8 * \text{temp}(\text{°C}) + 32) - (0,55 - 0,0055 * \text{HR}(\%)) * (\text{temp}(\text{°C}) - 26,8)$	NRC, 1971	Dunn et al. (2014)

Temp(°C); temperatura del bulbo seco (°C). HR(%); humedad relativa en porcentaje. HR(fr); humedad relativa en fracción. Tpr: temperatura del punto de rocío (°C). Twb; temperatura del bulbo húmedo (°C).

Estos modelos dan como resultado un valor que se asocia a una escala de grado de estrés, la cual varía según el autor (Tabla 2), por ejemplo, Pejman & Shahryar (2012) y Armstrong (1997) utilizan una escala de cuatro intervalos, mientras que Mader *et al.*, (2006) y Wiersama (2005) utilizan una escala de tres.

Tabla 2. Diferencias en escalas de determinación del estrés calórico sufrido por el animal a partir de valores de ITH según autores

Autores	Intervalos			
	Estrés leve	Estrés moderado	Estrés severo	Riesgo de muerte
Pejman & Shahryar (2012)	72 – 78	79 – 88	89 – 98	98 <
Armstrong (1997)	72 – 78	79 – 89	90 – 98	98 <
Mader <i>et al.</i> , (2009)		74 – 79	80 – 84	84 <
Wiersama (2005)		72 – 78	79 – 89	89 <

En este sentido, una de las mayores discusiones gira en torno al mínimo valor crítico del ITH ambiental, donde el animal comienza a sufrir algún grado de estrés calórico (Berman, 2005). Johnson *et al.*, (1961) determinaron un valor mínimo de 72 para el ITH como límite teórico, donde el animal en alta producción deja de estar en confort térmico y comienza a experimentar estrés. Diferentes autores, como Ravagnolo & Misztal, (2000); West *et al.*, (2003); Bohmanova,

(2007); Allen *et al.*, (2015), entre otros, han utilizado este valor crítico, ya que, a partir de éste, comenzaron a notar cambios en el comportamiento, producción, y/o metabolismo de ciertos animales. Actualmente, diferentes trabajos sostienen que éste límite es inferior, investigadores como Mader *et al.*, 2006 proponen un valor de 70, por otro lado, Bryant *et al.*, (2007), Hammami *et al.*, (2014), Mader *et al.*, (2007) y Ravagnolo & Misztal, (2002) utiliza un límite de 68, mientras que Hammami *et al.*, (2015) lo reduce hasta 62.

A partir de estos valores, en los estudios citados se han encontrado mermas en parámetros productivos o modificaciones del comportamiento de los animales. Éstas dificultades por establecer un valor mínimo de ITH se deben a la existencia de muchas variables que condicionan la respuesta animal, en relación al ambiente térmico. Yamamoto (1983) señaló la compleja relación existente entre el intercambio energético animal-ambiente, debido a la gran cantidad de componentes ambientales y regulados por el animal que están involucrados. Factores como intensidad y duración del estrés ambiental sufrido por el animal, el tiempo que posee éste para recuperarse, grado de adaptación del animal al ambiente estresante, acondicionamiento previo y características propias del animal como, la edad, raza, estado fisiológico y categoría, cobran vital importancia en la prevención del estrés térmico.

Además de ITH, existen distintas herramientas para contabilizar el estrés en animales, Silanikove *et al.*, (2000), determinaron que la cuantificación de las respiraciones del animal, a través del conteo de los movimientos de sus flancos, representa un buen indicador para determinar el grado de estrés que éste podría estar sufriendo. Estos autores, además, generaron una escala del grado de discomfort térmico partiendo de un valor de 40 respiraciones por minuto (rpm), donde se consideró que el animal comienza a jadear para aumentar las pérdidas de calor a través de la evaporación, pudiendo llegar hasta 200 rpm bajo estrés calórico severo. Entre 40 y 60 rpm se determina riesgo bajo, 60-80 rpm riesgo medio-alto, 80-120 rpm riesgo alto, y estrés severo cuando se alcanzan más de 150 rpm. Por otra parte, la temperatura rectal es también un buen indicador de estrés en el animal. Autores como Collier *et al.*, (1982) y Adin *et al.*, (2009) han encontrado diferencias de entre 0,3 a 0,8 grados entre animales en confort, en comparación con animales bajo estrés calórico. Spiers *et al.*, (2004) concluyen que la temperatura rectal es un buen indicador para determinar la disminución en la producción de leche y consumo de materia seca en ganado frisón, presentando valores relevantes en sus correlaciones ($R^2= 0,83$ y $0,82$, respectivamente).

1.5. Consecuencias del estrés térmico

Como ya se ha comentado anteriormente, el individuo dispone de diferentes herramientas fisiológicas que favorecen las pérdidas de calor, pero ocasionan un aumento de las demandas energéticas, y disminuyen la proporción de nutrientes dirigidos a aspectos productivos (Pejman & Shahryar, 2012). Todos estos mecanismos, a su vez, ocasionan inconvenientes en el animal. El mayor flujo de sangre a través de la periferia, genera una menor tasa de pasaje por la ubre y aparato digestivo, perjudicando la absorción de nutrientes, producción de leche y sus componentes. El aumento de la sudoración genera pérdidas importantes de agua y desequilibrio en la concentración de cationes de sodio y potasio, perjudicando el pH metabólico y aumentando el riesgo de hipocalcemia, sobre todo en etapas críticas como el período de transición del animal.

El aumento de la tasa respiratoria, la cual es la herramienta más efectiva que posee el animal para disipar calor por medio de la evaporación –ya que la sudoración en estos animales se ve limitada por la escasa cantidad de glándulas sudoríparas presentes en su cobertura (Allen, 1962 citado por Kadzere *et al.*, 2002)– genera una mayor actividad metabólica y, por tanto, un aumento de su temperatura (Pejman & Shahryar, 2012).

Por otra parte, la acumulación de calor en el animal perjudica otros aspectos productivos como; el crecimiento y desarrollo del individuo, fertilidad y desarrollo de la gestación, reduciendo su tiempo y afectando negativamente el peso al nacimiento de las crías, aumentando el número de abortos en el rodeo –principalmente en etapas tempranas de gestación– (Bouraoui *et al.*, 2002, Berman *et al.*, 1985 y Kadzere *et al.*, 2002). Pudiendo existir altas ocurrencias de muerte en casos extremos (Pejman & Shahryar, 2012). Todos estos efectos se acentúan cuando la acumulación de calor es prolongada.

En relación a la producción de leche, Bouraoui *et al.*, 2002 encontraron un decaimiento de 21% en la producción cuando el ITH aumenta de 68 a 78 y Adin *et al.*, (2009) reportaron una disminución de un 5% en la producción diaria. A su vez, Collier *et al.*, (1981) y Spiers *et al.*, (2004) demostraron que el decaimiento de la producción de leche ocurre en promedio 48 horas después de que el animal comienza a experimentar estrés calórico, mientras que la reducción del consumo ocurre 24 horas después de experimentar estrés.

Por otro lado, se observan cambios en el comportamiento normal del animal. Uno de los principales efectos del estrés en el animal es la disminución de su ingesta alimentaria (Tabla 3). Bajo confinamiento, los animales realizan mayor cantidad de bocados por minuto, pero de menor volumen, mientras que, en condiciones de pastoreo, se afecta el tamaño de bocado y el

tiempo destinado a éste, modificando el patrón de pastoreo, ubicando el pico de mayor consumo en la tarde-noche (Cowan, 1975). Adin *et al.*, (2009) encontraron diferencias de 12% en el consumo de materia seca durante el período seco, y de 15% durante el período de transición, en vacas frisonas con y sin estrés térmico.

Además, bajo condiciones ambientales estresantes, el individuo dispone de mayor proporción de tiempo en busca de sombra, incluso utiliza la sombra generada por otros animales, a costa del tiempo destinado a la rumia, a echarse, o a comer. Provolo & Riva (2009), al igual que Bava *et al.*, (2012) y Allen *et al.*, (2015) mencionan una correlación negativa entre la cantidad de vacas echadas en función del aumento de ITH, tomando como valor crítico ITH = 60. Además, el consumo de agua en los animales aumenta ocasionándose aglomeraciones junto a las fuentes de agua (Tabla 3). Este mayor consumo de agua genera un mayor efecto de “llenado ruminal” debido a la mayor proporción de agua en el rumen, lo cual acentúa la disminución del consumo de alimento (Mallonee *et al.*, 1985). Adin *et al.*, (2009) encontraron un aumento de 34 y 38% en el consumo de agua en vacas con estrés calórico durante su período seco y próximas al parto, respectivamente, en comparación con vacas sin estrés calórico.

Tabla 3. Efectos de la temperatura en las necesidades de mantenimiento, consumo de materia seca, consumo de agua y producción de leche

Temperatura (°C)	Necesidades de mantenimiento (%)	Consumo de Materia Seca (kg)	Consumo de agua (kg)	Producción de leche (litros)*
0	110	18,8	64	27
20	100	18,2	68	27
30	111	16,9	79	23
35	120	16,7	120	12

*Referido a animales en sistema pastoriles con base alimentaria principalmente forrajera. Adaptado de Conaprole, 2000.

Con respecto a la fertilidad y gestación del animal, Flamenbaum & Galon (2010) hallaron una disminución de hasta un 30% en la tasa de concepción en animales bajo estrés térmico. Durante períodos de exceso de calor, la detección visual de celo disminuye considerablemente debido a que los animales evitan montarse. Además, Roth *et al.*, (2001) señalan que se pueden registrar tasa de concepción bajas, incluso en períodos post-estrés, debido a efectos residuales en los folículos. Collier *et al.*, (1982) reportaron una disminución en el peso al nacimiento de las crías de un 8% en ganado frisón con y sin estrés calórico. Mientras que Adin *et al.*, (2009) encontraron una diferencia de 6% en el peso al nacimiento de las crías, y una reducción de su período de gestación, entre animales con y sin estrés térmico durante su período seco.

Por otra parte, Giesecke (1985) señala una mayor ocurrencia de mastitis durante períodos de estrés térmico debido a un debilitamiento del sistema inmunológico del animal. Además, la calidad de calostro durante el estrés calórico se ve afectado negativamente, presentando menores niveles de inmunoglobulinas (Nardone *et al.*, 1997). Adin *et al.*, (2009) encontraron diferencias de 29% en los litros de calostro producidos entre animales frisonos con y sin estrés térmico, y una diferencia de 27% en gramos de inmunoglobulinas G por gramo de calostro.

Por estas razones, determinar el grado de estrés térmico del animal es considerado de gran importancia en aspectos económicamente productivos, de salud y bienestar animal.

1.6. Herramientas para la mitigación del estrés térmico

La mitigación del estrés térmico se fundamenta en controlar las ganancias y pérdidas de calor sensible –conducción, convección y radiación– de los animales. En este aspecto, es donde el productor tiene más margen de acción, pudiendo modificando las condiciones físicas del ambiente circundante al animal o la generación de calor metabólico de éste. Esto se puede conseguir por dos medios, a través de cambios físicos del ambiente, con el uso de sombras, aspersión y ventilación, o a través del uso de dietas adaptadas a altas temperaturas.

El uso de sombra, aspersión y ventilación mejora las condiciones ambientales reduciendo la ocurrencia de ambientes estresantes. La aspersión y ventilación aumentan la capacidad evaporativa en la superficie del animal aumentando considerablemente las pérdidas de calor. Según do Amaral *et al.*, (2009), la aspersión disminuyó un 1,1% la temperatura rectal de los animales con acceso a esta herramienta, y aumentó en un 35,6% la producción de LCS, en relación a individuos sin acceso al recurso. Por otro lado, la intercepción de la radiación directa a través del uso de sombra representa una alternativa de bajo coste y efectiva, y es la primera medida a utilizar por parte de los productores por su fácil implementación. Collier *et al.*, (1982) mencionan una reducción de 2% en la temperatura rectal, 28% en la tasa respiratoria y 5,6% en el ritmo cardíaco, en animales con acceso a sombra durante su período preparto. A su vez, la combinación de sombra, aspersión y ventilación ha generado resultados positivos en la prevención del estrés térmico. Adin *et al.*, (2009) presentaron una disminución de 1% en la temperatura rectal, y 20% en la tasa respiratoria en animales con acceso a estas herramientas combinadas durante su lactación.

Otra alternativa se basa en el uso de las dietas adaptadas, se buscan reducir el contenido de fibra y aumentar el de concentrado (energía y proteína), con el fin de minimizar el alto calor metabólico generado por procesos fermentativos y digestivos de la fibra. Adin *et al.*, (2009) señalan una reducción en el consumo de fibra detergente neutra de un 12% a un 15% entre

animales con y sin estrés térmico en su período seco y período próximo al parto. Aunque esta estrategia trae como consecuencia un mayor riesgo de ocasionar acidosis, debido a que el menor aporte de fibra ocasiona una menor producción de saliva, disminuyendo el poder buffer en el rumen (Gauly *et al.*, 2013).

Finalmente existen posibilidades relacionadas con el manejo del propio rebaño, como concentrar los partos de modo que las épocas con mayores exigencias por parte de los animales coincidan con las condiciones climáticas más favorables. Por otro lado, dado el ciclo productivo de los animales, hacer coincidir el final de la lactación con la época de mayor estrés térmico, puede causar problemas relacionados con la fertilidad de la explotación, siendo pues complicada la toma de decisiones en este aspecto.

1.7. Cambio climático y estrés térmico

Los efectos de las modificaciones en el clima afectan directa e indirectamente a la producción animal. Por un lado, como se ha descrito anteriormente, afecta a la producción, bienestar y salud animal, debido a un mayor grado de desconfort térmico, y de forma indirecta afecta a la producción de alimento, y aumenta la exposición a pestes y patógenos (Gauly *et al.*, 2013). La Figura 5 resume estas relaciones causa-efecto.

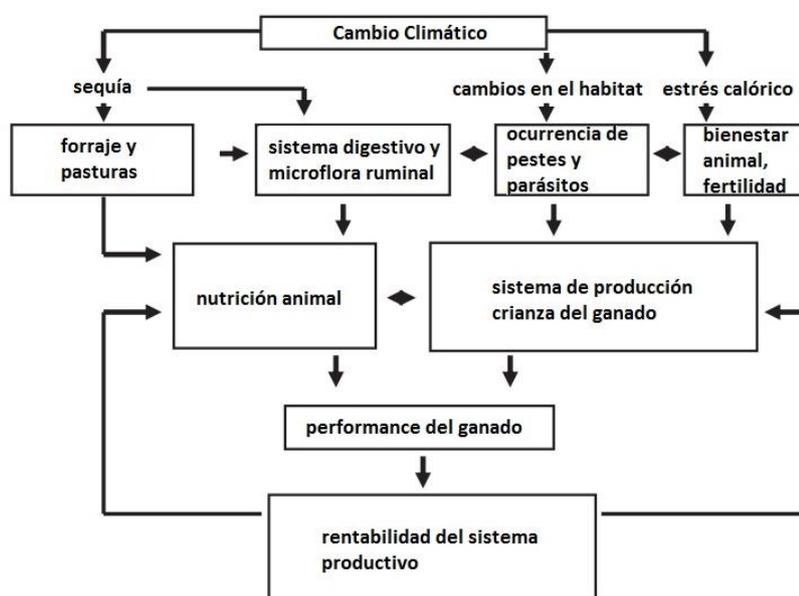


Figura 5. Efectos del cambio climático en diferentes niveles relacionados con la performance animal, y rentabilidad del sistema productivo. Adaptado de Gauly *et al.*, (2013).

En la actualidad, los cambios en las condiciones climáticas se encuentran ampliamente comprobados, así, se sabe que la cantidad de días del año con ITH mayores a 68 se han incrementado en países europeos en años recientes (Silanikove & Koluman, 2014). Por otro lado,

Segnalini *et al.*, (2013) establecen que, en un período de 40 años, comprendido entre 2011-2050, el ITH promedio anual se incrementará entre 0,8 y 3 unidades, para toda el área mediterránea, donde el mayor aumento se espera en la península ibérica, entre otras localidades. Por esta razón, el estrés calórico debería ser tomado con mayor importancia en cualquier explotación ganadera, y en programas de selección genética, para mejorar la resistencia al exceso de calor, en función de los aspectos económicamente productivos.

2. Objetivos

De esta forma, este trabajo tiene como objetivo desarrollar una herramienta que permita evaluar las consecuencias del estrés térmico en una granja de vacuno de leche de una forma rápida, simple y efectiva, con el fin de poder tomar decisiones productivas en cualquier explotación lechera para evitar pérdida en la rentabilidad a corto y mediano plazo.

Para ello, se desarrollará un modelo predictivo que simule los valores diarios para cada aspecto productivo y brinde información relevante sobre las previsiones del rendimiento del conjunto de animales dentro de la explotación. Esto se hará a través de la creación de una plataforma interactiva para el usuario, en la cual se representen todos los indicadores más relevantes de una forma simple y fácil de interpretar.

Por último, a través de la simulación de distintos escenarios, se buscará comprobar la efectividad del modelo, y estimar la mejor estrategia productiva para disminuir los efectos negativos del estrés térmico en la zona de estudio.

3. Metodología

3.1. Estructura básica del modelo

El modelo fue diseñado en base a las características típicas españolas en relación a aspectos productivos, comerciales y ambientales. Pensado para animales de raza bovina frisona, ya que, como se explicó anteriormente, es la raza más extendida en España y el mundo para la producción lechera. Este modelo se centra en estimar 3 órdenes productivos principales; producción de leche y sus componentes principales, peso vivo (PV) y consumo de materia seca (CMS), y reproducción.

Dentro de los parámetros de producción de leche y sus componentes, se determina la producción de leche diaria y total de la lactancia, su conversión a LCS, la producción en kilogramos de proteína y grasa diaria y total del ciclo productivo, estimando el porcentaje promedio de ambos componentes. La fecha de comienzo del pico de producción, la duración de éste período, y la máxima producción de leche diaria que el animal sería capaz de producir (en condiciones normales). Además, se calcula, el ingreso económico debido a la producción total de leche durante la lactancia. Estimándose también, el efecto del ITH diario –tanto promedio como máximo– en relación a la producción de leche, proteína y grasa, y consecuentemente, en las pérdidas de ingreso bruto ocasionadas por este factor.

Con respecto a los parámetros de peso vivo y consumo de materia seca, el modelo genera la evolución del peso vivo a lo largo del año, y su promedio anual, únicamente como una herramienta orientativa. Además, estima el consumo de materia seca del animal y su disminución debido al efecto de las temperaturas máximas.

En cuanto a la reproducción del animal, se determina el porcentaje de concepción promedio del ciclo y del día de servicio estimado, junto con las fechas estimadas de; servicio, parto y secado.

3.2. Módulo de entrada de datos

3.2.1. Condiciones ambientales(ITH)

Para el desarrollo del modelo, se utilizó una base de datos climáticos simulados de un período de 20 años (1996-2016) para la localidad de Bétera (Comunidad Valenciana) aportados por la empresa Meteoblue². Generándose una tabla con los promedios diarios de temperatura media y máxima, y humedad relativa promedio y mínima, para todos los días del año. Sin embargo, estos datos pueden ser modificados por el usuario, permitiendo ingresar de forma manual la

² <https://www.meteoblue.com>

base de datos climáticos de la zona del productor, mejorando la predicción del modelo en los diferentes escenarios.

Con dichos datos, se determinó el valor de ITH medio y máximo diario, utilizando la ecuación de NRC, 1971 (ii), ya que es ampliamente la más utilizada en la literatura. Para el cálculo del ITH medio diario, se utilizaron los datos diarios medios de temperatura y humedad relativa, mientras que, para el ITH máximo, se utilizaron los datos diarios de temperatura máxima y humedad relativa mínima. La ecuación utilizada se detalla a continuación;

$$(ii) \text{ ITH} = (1,8 * \text{Tbs} + 32) - (0,55 - 0,055 * \text{HR}) * (1,8 * \text{Tbs} - 26)$$

Donde, Tbs representa la temperatura del termómetro de bulbo seco (°C), y HR, la humedad relativa expresada de forma decimal.

3.2.2. Datos del rebaño

Los resultados del modelo se basan en los datos ingresados por el usuario para cada grupo. De este modo, el usuario debe ingresar datos promedios relacionados a cada lote en el formulario correspondiente (Figura 6). La información aportada por el usuario corresponde a; el número de animales en el lote, el día de parto deseado, el intervalo parto-servicio, la duración de la lactancia, el peso vivo luego del parto, el número de lactación, y la producción en la lactancia anterior junto con su porcentaje de grasa y proteína promedio.

Por otro lado, el modelo proporciona dos métodos para estimar automáticamente la fecha óptima de parto. Uno basado en el máximo ingreso económico por LCS afectada por ITH medio, buscando el menor efecto de ITH en la producción de leche en toda la lactancia (Figura 7), y el otro basado en la máxima tasa de concepción existente en el día de servicio (Figura 8), buscando así, la fecha de servicio óptima, tomando en cuenta de forma secundaria el máximo ingreso bruto de LCS afectada por ITH medio. Para el cálculo de las fechas óptimas, se tomó como referencia el ITH medio y no el máximo, debido a que es un indicador más robusto, ya que para estimar el ITH máximo, la temperatura máxima registrada en el día podría no coincidir necesariamente con el mínimo porcentaje de HR diario.

De esta forma, el formulario de ingresos de datos difiere según el método de estimación de la fecha de parto (manual, por máximo ingreso de LCS afectada por ITH medio, o por máxima tasa de concepción el día de servicio).

Ingreso de datos individuales

Estimación de fecha de parto Manual Auto.

Número de animales en el lote

Día de parto estimado para el lote (dd/mm/aaaa)

Intervalo parto - servicio

Duración de la lactancia (días)

Peso vivo estimado luego del parto (kg)

N° de lactancia promedio

Producción de leche media en la lactancia anterior

Porcentaje de Proteína media en la lactancia anterior

Porcentaje de Grasa media en la lactancia anterior

Figura 6. Formulario de ingresos de datos con estimación de fecha de parto manual.

Opciones

Determine el objetivo de selección de la fecha óptima de parto, por:

Opciones

Intervalo para fechas de parto
Mín. Max.

Límites de duración de lactancia
Mín. Max.

Ingreso de datos individuales

Número de animales en el lote

Intervalo parto - servicio

Peso vivo luego del parto (kg)

N° de lactancia

Producción de leche media en la lactancia anterior

Porcentaje de Proteína media en la lactancia anterior

Porcentaje de Grasa media en la lactancia anterior

Figura 7. Formulario de ingreso de datos para estimación automática de fecha de parto, según máximo ingreso de LCS afectado por ITH medio.

Opciones

Determine el objetivo de selección de la fecha óptima de parto, por:

Fertilidad

Intervalo para fechas de parto
Mín. Max.

Ingreso de datos

Número de animales en el lote

Intervalo parto - servicio

Duración de lactancia (en días)

Peso vivo después del parto (kg)

N° lactación

Producción en la lactancia anterior (kg)

Porcentaje de Proteína media en la lactancia

Porcentaje de Grasa media en la lactancia anterior

Figura 8. Formulario de ingreso de datos para estimación automática de fecha de parto, según máxima tasa de concepción el día de servicio.

3.3. Módulo de cálculo

Los datos ingresados por el usuario –independientemente del formulario utilizado– son ubicados en celdas específicas, las cuales representan el punto de partida para los diferentes cálculos realizados por el sistema. Estos cálculos se detallan a continuación.

3.3.1. Producción de leche y componentes principales

La estimación de la producción de leche tanto diaria como total, se basó en la fórmula desarrollada por Wood³, (1967). La cual posee una distribución gamma, utiliza tres coeficientes y su única variable es el día en lactación, dicha fórmula se detalla a continuación;

$$(iii) PL \text{ (kg/día)} = A * DEL^B * \text{Exp}^{-C*DEL}$$

Donde PL corresponde a la producción de leche en kilogramos, DEL, hace referencia al día en lactación del animal, A es un parámetro relacionado con el pico de producción durante la lactancia, B refiere al ascenso de la producción láctea desde el parto hasta el pico de producción, y C hacen se relaciona con el descenso de producción, desde el pico de producción, hasta el final de la lactancia.

La elección de esta función se debe a su amplio uso en la literatura, siendo ejemplo de ello, Kellogg *et al.*, (1977), Shanks *et al.*, (1981); Schaeffer & Jamrozik, (1996) y Leon-Velarde *et al.*, (1995), entre otros, citados por Grzesiak *et al.*, 2006.

Los valores de los coeficientes B y C utilizados, dependen del número de lactación de los animales. Dichas constantes se extrajeron de Grzesiak *et al.*, 2006.

Tabla 4. Valores de coeficientes B y C en función del número de lactación del animal para la ecuación de predicción de leche de Wood, 1967

Coeficientes	1ra. Lactación	2da. Lactación	3ra. < Lactación
B	0,203	0,221	0,158
C	0,003	0,005	0,005

Adaptado de Grzesiak *et al.*, 2006.

Para el coeficiente A, se utiliza como valor de referencia el promedio total de la producción individual en la lactancia anterior, el cual debe ser ingresado por el ganadero. En caso de ser primíparas se estimó un valor inicial de 22,2 litros, correspondiente a la media nacional española en el período 2003-2014 (MAGRAMA, 2015). De todos modos, el modelo permite al usuario la posibilidad de modificar estos valores.

³ Algebraic Model of the Lactation Curve in Cattle. Wood, 1967.

A partir de esta ecuación de producción, se obtuvo la persistencia del pico de lactación (PPL), representada con la función;

$$(iv) \text{ PPL (días)} = (-B + 1) * \ln(C)$$

Además, se determinó el promedio de producción diaria durante el pico de lactancia (PDP) a través de la ecuación;

$$(v) \text{ PDP (kg)} = A \left(\frac{B}{C}\right)^B * \text{Exp}^{-B}$$

Y el tiempo para alcanzar el pico máximo (TPM);

$$(vi) \text{ TPM (días)} = \left(\frac{B}{C}\right) + \text{FPE}$$

Siendo FPE, la fecha de parto estimada, la cual se detalla más adelante (3.3.7).

3.3.2. Leche corregida por sólidos y por grasa

Para la conversión de leche producida a LCS se ha utilizado la función adaptada de do Amaral (2009);

$$(vii) \text{ LCS (kg)} = (12,82 * G) + (7,13 * P) + (0,323 * PL)$$

Donde; G corresponde a kg de grasa producida, P, kg de proteína producida, y PL, kg de leche producida.

Por otra parte, la función de la producción de leche corregida por grasa al 4% (PLCG), utilizada para la determinación del consumo de materia seca estimado, se obtuvo de Gaines, (1928) citado por NRC⁴, (2001).

$$(viii) \text{ PLCG (kg)} = 0,4 * PL + 15 * G$$

Donde PL representa la producción diaria de leche en kg, y G, la producción diaria de grasa, en kg.

3.3.3. Estimación de ingreso bruto por producción de LCS

La estimación del precio de leche percibido por el productor (PLPP, en €/kg) se estableció a partir de una ecuación de 3^{er} grado utilizando una base de datos de los precios del kilogramo de leche recibido por el productor promedio en España, para el período 2007-2015 (COAG, 2015). Dicha función presenta un R²=0,93, y tiene como objetivo dar únicamente una idea de la variación potencial de precios en condiciones normales durante el año (sin tomar en cuenta cambios bruscos debido a circunstancias puntuales), ya que el mercado lechero mundial es altamente volátil.

⁴ Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Seventh Revised. NRC, 2001.

$$(ix) \text{ PLPP (€)} = \frac{-6e^{-5} * \text{Mes}^3 + 0,0021 * \text{Mes}^2 - 0,017 * \text{Mes} + 0,3564}{0,3564} * \text{PA}$$

Donde, Mes hace referencia al número del mes correspondiente (1-12), y PA, al precio del kg de leche en el mercado para el mes en cuestión.

3.3.4. Estimación de la producción de leche afectada por ITH

Para la estimación de este parámetro, se planteó una regresión no lineal a partir de una base de datos detallada a continuación. Ajustando la ecuación al modelo de Wilmink⁵ (1987), y modificándola para incluir el efecto del ITH en relación a la producción de leche. Tomando como valor límite ITH=73, debido a que Carabaño *et al.*, 2016 encontraron modificaciones en diferentes parámetros productivos a causa del ambiente a partir de este valor en España. Se utilizó el modelo de Wilmink ya que fue el que mejor se ajustó a las características de la base de datos utilizada, la cual presentaba registros incompletos de la primera etapa de lactación en un gran número de animales. La estimación del modelo se realizó utilizando el programa estadístico SAS® versión 9.4.

Para dicho análisis, se contó con una base de datos de 11.603 registros diarios de ITH promedio, producción de leche, día en lactación de los animales, fecha de cada registro, y parque de donde provenían los animales, dentro de un período de 3 años, comprendido entre 2013 y 2016. Estos datos provinieron de una explotación lechera comercial, ubicada en la Comunidad Valenciana, en la zona de Bétera. A partir de dichos registros, se utilizaron 10.019 de ellos para la elaboración del modelo, descartando el 13,7% de los datos totales (1.584 registros) debido a la falta parcial de información, o error en el ingreso de los datos.

El modelo elaborado se detalla a continuación;

$$(x) \text{ PR (kg/día)} = A + B * \text{Exp}^{-C * \text{DEL}} + D * \text{DEL} - F * \text{ITH} + \varepsilon$$

Donde; PR corresponde a la producción de leche diaria en kg, ITH, a los valores diarios tanto promedios como máximos de ITH, DEL, al día en lactación, y A, B, C, D y F a constantes.

El modelo generado para determinar la producción de leche en función de los días en lactación y del ITH diario mostró ser altamente significativo ($p < 0,0001$). Detallándose a continuación;

$$(xi) \text{ PR (kg)} = 60,49(\pm 0,46) - 29,57(\pm 1,18) * \text{Exp}^{-0,038(\pm 0,002) * \text{DEL}} - 0,049(\pm 0,001) * \text{DEL} - 0,21(\pm 0,01) * \text{ITH}$$

⁵Y(t) = A + B * Exp^(-K*DEL) + C * DEL, donde, A, B, C, K corresponden a constantes.

Tabla 5. Valores estimados para cada parámetro, con su intervalo de confianza

Estimador	Límite de confianza al 95% aprox.	
60,4856	59,5824	61,3889
-29,5725	-31,8775	-27,2676
0,0376	0,0346	0,0406
-0,0493	-0,0504	-0,0482
0,2119	0,1992	0,2245

Para verificar la predicción del modelo, se realizó posteriormente una prueba *T-Student* entre los valores predichos y las medidas de los valores observados, en función de los días en lactación. En dicho análisis, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p=0,2$), por lo que el modelo generado presenta un buen poder predictivo.

3.3.5. Producción de grasa y proteína

Para la estimación del porcentaje de grasa y proteína producida, se utilizó las ecuaciones presentadas por Wood⁶ (1976), las cuales se detallan a continuación;

$$(xii) \text{ Grasa (\%)} = (\text{PPG} * \text{DEL}^{-0,1316}) * (\text{Exp}^{0,0154} * \text{DEL})$$

$$(xiii) \text{ Proteína (\%)} = (\text{PPP} * \text{DEL}^{-0,1223}) * (\text{Exp}^{0,0109} * \text{DEL})$$

Donde; PPG es el promedio de producción de grasa en la lactancia anterior, y PPP, el promedio de producción de proteína en la lactancia anterior.

En caso de primíparas, el modelo estima un valor inicial de 3,7 para grasa (PPG), y 3,3 para proteína (PPP), correspondiente al promedio de producción en España para el período 2007-2015 (MAGRAMA, 2016). Con la posibilidad de modificar estos valores en caso de que no se ajusten al nivel productivo de los animales en la explotación.

El cálculo de las pérdidas en los porcentajes de grasa y proteína corresponden a dos modelos desarrollados por Carabaño *et al.*, 2016. Ambas funciones creadas para España, donde se emplearon más de 1 millón y medio de registros oficiales, provenientes de 105 mil vacas. Detallándose a continuación;

$$(xiv) \text{ P\%P (\%)} = \frac{6,0e^{-8} * x^3 - 2,0e^{-5} * x^2 + 0,0014 * x - 0,0338}{-0,0338} * \%P$$

⁶ Algebraic models of the lactation curves for Milk, fat and protein production, with estimates of seasonal variation. Wood, 1976.

$$(xv) P\%G (\%) = \frac{3,0e^{-7} * x^3 - 4,0e^{-5} * x^2 + 0,0015 * x - 0,0125}{-0,0125} * \%G$$

Donde, P%P corresponde a las pérdidas en el porcentaje de proteína, P%G, a las pérdidas en el porcentaje de grasa, %P, el porcentaje estimado de proteína durante la lactancia, %G el porcentaje estimado de grasa durante la lactancia, y x, al valor de ITH diario, siempre y cuando éste valor sea superior al valor límite (Tabla 6). En caso de que el valor diario de ITH no supere el valor límite establecido, no se considera que existan pérdidas productivas.

Tabla 6. Máximo valor diario de ITH establecido para la determinación de las pérdidas en proteína y grasa

	ITH promedio	ITH máximo
Pérdida de Proteína	65	60
Pérdida de Grasa	52	59

Adaptado de Carabaño *et al.*, 2016.

3.3.6. Evolución del peso vivo y consumo de materia seca

La estimación de la evolución del peso vivo durante el año, se determinó a partir de regresiones utilizando una base de datos obtenida de García, 1997. Discriminando por número de lactancia. Tiene como objetivo únicamente brindar una idea teórica de la evolución del peso del animal durante el año.

- 1^{ra} lactancia (R²=0,99);

$$(xvi) PV (kg/día) = \frac{-4,0e^{-6} * x^3 + 0,0032 * x^2 - 0,5562 * x + 483,82}{483,82} * PVDP$$

- 2^{da} lactancia (R²=0,98);

$$(xvii) PV (kg/día) = \frac{-4e^{-6} * x^3 + 0,0032 * x^2 - 0,4842 * x + 510,05}{510,05} * PVDP$$

- 3^{ra} lactancia y más (R²=0,98);

$$(xviii) PV (kg/día) = \frac{-1e^{-6} * x^3 + 0,0019 * x^2 - 0,3805 * x + 546,71}{546,71} * PVDP$$

Donde, x corresponde a los días posparto, y PVDP, el peso del individuo después del parto en kg.

Para el cálculo en el consumo de materia seca, se utilizó el modelo desarrollado por NRC, 2001. Donde se incorporan las variables PLCG (viii), PV (xvi-xviii) y día en lactación (DEL). Discriminando entre animales con menos de 259 días preparto y 259 días o más días preparto. Dichas funciones se detallan a continuación;

- Para animales con menos de 259 días preparto;

$$(xix) \text{ CMS (kg/día)} = (0,372 * \text{PLCG} + 0,0968 * \text{PV}^{0,75}) * (1 - \text{Exp}^{-0,192*(\text{DEL}+3,67)})$$

- Para animales con 259 días o más;

$$(xx) \text{ CMS(kg/día)} = 1,97 - 0,75 * \text{Exp}^{0,16*(\text{DP}-280)}$$

Donde DP corresponde a días al parto, a partir de los 259 días.

Se utilizaron dichas funciones, ya que representan un indicador fiable de predicción, son ampliamente utilizadas en la bibliografía, y según Ells, *et al.*, (2006) son el modelo predictivo con menor nivel de error en comparación con otros modelos como el de *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (2004) y *Agricultural Research Council* (1980).

Para cuantificar la disminución en el consumo de materia seca debido al efecto de la temperatura, se utilizó el modelo de West *et al.*, 2003. Donde intervienen la variable de CMS (xix), y la temperatura máxima diaria.

$$(xxi) \text{ PCMS (kg/día)} = \frac{19,56-0,85*(\text{Td}-\text{PT2})}{19,56} * \text{CMS}$$

Donde Td es la temperatura máxima diaria, y PT2 la temperatura máxima promedio de dos días anteriores

3.3.7. Reproducción

La fecha de parto estimada (FPE (vi)) corresponde a la suma de la fecha de concepción efectiva con el promedio de gestación de la raza frisona, 280 días. Por otro lado, la fecha de secado (FS) se calculó de la siguiente forma;

$$(xxii) \text{ FS} = 280 + \text{IPC} - \text{DL}$$

Donde, IPC corresponde al intervalo parto-concepción, y DL, a la duración de la lactancia, en días.

A partir del valor promedio de la tasa de preñez propia de la explotación (TPE), se determinó la evolución de la tasa de concepción de la granja durante el año, tomando en cuenta la temperatura máxima ambiental registrada en el día. La función utilizada fue desarrollada por Cavestany *et al.*, (1985), detallándose a continuación;

$$(xxiii) \text{ TF (\%)} = \frac{-13,9+4,5x-0,11x^2}{32,1} * \text{TPE}$$

Donde TF es la tasa de concepción de la explotación en una determinada fecha, y x corresponde a la temperatura máxima registrada en el día (°C).

La disminución de la tasa de concepción en el rodeo, genera un desfase en la fecha de servicio efectivo, y consecuentemente disminución en la producción de leche del individuo en el año en cuestión, debido a que el parto del animal se atrasa y con él la producción de leche. Generando que la totalidad de la lactancia quede comprendida entre 2 años consecutivos, en vez de en el año a considerar. De esta manera, se genera una lista estimativa de fechas de servicios para el remanente de animales que no fueron concebidos en la fecha óptima elegida por el productor, o el modelo, teniendo en cuenta el ciclo estral del animal. Buscando detallar al productor, la cantidad de animales desfasados, y por cuanto tiempo, de modo que éste pueda prever las diferencias entre los parámetros productivos estimados por el modelo, en relación a los observados en el establecimiento para el ejercicio en cuestión.

3.4. Módulo de salida de datos

3.4.1. Planilla individual por lote

Como resultado, se genera en una planilla individual por grupo (Figura 9) una serie de valores para diferentes parámetros, con la posibilidad de generar diversos gráficos de la evolución de las características más relevantes (Figura 10). Dentro de estas planillas, se almacenan entonces, dos tipos de datos, los ingresados por el usuario a través de los diferentes formularios, y los generados por el sistema.

Éstos últimos corresponden a; la duración del período de secado, el día de servicio recomendado, la fecha de secado estimada, la fecha de comienzo del pico de producción, el peso vivo promedio en el ciclo productivo, el consumo de materia seca estimado y su disminución a causa del efecto de temperaturas máximas junto con el porcentaje de disminución, la producción de leche estimada y afectada por el ITH medio y máximo junto con el porcentaje de disminución correspondiente, la producción estimada de leche corregida por sólidos y su disminución por el ITH medio y máximo junto con el porcentaje de disminución, la duración del pico de producción, la producción total durante el pico de producción, el máximo rendimiento diario en el ciclo productivo, el ingreso económico estimado durante la lactancia por la producción de leche y su disminución a causa del ITH medio y máximo (con sus respectivos porcentajes), la producción de grasa y proteína tanto en kilogramos como en porcentaje y su disminución por ITH medio y máximo (con sus respectivos porcentajes de disminución), la tasa de concepción promedio durante el año y del día de servicio elegido.

Además, se presenta una lista con las fechas de servicios posteriores para los animales no concebidos en la fecha indicada, detallando fecha de servicio, estimación del número de

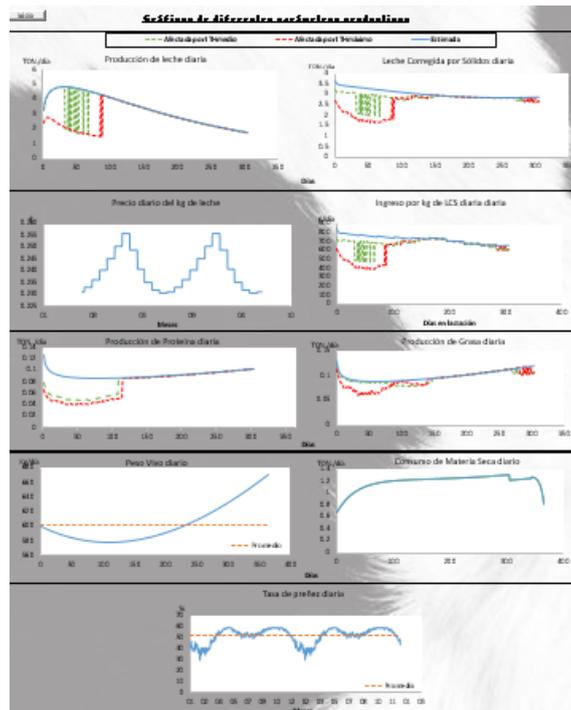


Figura 10. Planilla Gráficas. En celeste se representa la evolución de los diferentes parámetros productivos, mientras que en verde se representan las pérdidas por ITH medio y en rojo por ITH máximo. En naranja se muestra el promedio del lote en la gráfica correspondiente.

3.4.3. Planilla Resumen

Además de las planillas creadas individualmente para cada lote con sus resultados, se genera una planilla con los datos productivos promedio de la explotación (Figura 11). Los parámetros promedios que se representan en esta planilla, se mencionan en la tabla siguiente (Tabla 7).

Tabla 7. Indicadores estimados para el total de la explotación en la planilla Resumen

Duración de lactancia	Producción de leche estimada (PL)
Número de lactancia	Porcentaje de disminución de la PL por ITH medio
Peso vivo (promedio del ciclo productivo)	Producción de proteína (kg) y su porcentaje
Largo del período seco	Porcentaje de disminución de proteína por ITH medio
Consumo de materia seca (CMS)	Producción de grasa (kg) y su porcentaje
Porcentaje de disminución de CMS por temperaturas máximas	Porcentaje de disminución de grasa por ITH medio
	Tasa de concepción promedio durante el ciclo y durante el día de inseminación

Resumen Productivo del rodeo																	
Datos promedios de la explotación																	
Número de animales	Datos Ingresados					Par. Seco			PV y CMS								
	Intervalo parto-servicio (días)	Duración de lactancia (en días)	Peso vivo después del parto (kg)	N° lactancia	Producción en la lactancia anterior (kg)	% proteína promedio en la lactancia anterior	% grasa promedio en la lactancia anterior	Duración del período de secado (días)	Peso vivo promedio del año (kg)	Consumo de Materia Seca Estimado en todo el ciclo productivo (TonMS)	Consumo de Materia Seca Estimado en todo el ciclo productivo afectado por ITHmed (TonMS)	% de disminución					
100	85.00	305.00	600.00	3.00	10000.00	3.00	3.00	60.00	602.95	436.82	436.80	0.00					
Producción de leche																	
Producción de leche estimada (Ton/lactancia)	Producción de leche afectada por ITHmed (Ton/lactancia)	% de disminución	Producción de leche afectada por ITHmáximo (Ton/lactancia)	% de disminución	Producción de Leche Corregida por Sólidos (LCS) (kg/lactancia)	Producción de Leche Corregida por Sólidos afectada por ITHmed (Ton/lactancia)	% de disminución	Producción de Leche Corregida por Sólidos afectada por ITHmáximo (Ton/lactancia)	% de disminución	Duración del pico de producción (en días)	Producción total en el pico de producción (Ton)	Máximo rendimiento diario de leche (kg/día)	Ingreso por leche producida durante el ciclo afectada por ITHmed (euros/lactancia)	Ingreso por leche producida durante el ciclo afectada por ITHmáximo (euros/lactancia)	% de disminución	Ingreso por leche producida durante el ciclo afectada por ITHmed (euros/lactancia)	% de disminución
1030.5	966.7	-4.2	808.0	-21.6	918.8	860.7	-6.3	785.0	-14.6	6.1	4106.3	48.3	222090.2	208329.3	-6.2	190500.2	-14.2
Producción de Proteína					Producción de Grasa					Fertilidad							
Porcentaje de proteína estimada en todo el ciclo (%)	Producción de proteína estimada en todo el ciclo (Ton/lactancia)	% de disminución	Producción de proteína estimada afectada por ITHmed (Ton/lactancia)	% de disminución	Porcentaje de grasa total estimada en todo el ciclo (%)	Producción de grasa estimada en todo el ciclo (kg/lactancia)	% de disminución	Producción de grasa estimada afectada por ITHmed (kg/lactancia)	% de disminución	Producción de grasa afectada por ITHmáximo (kg/lactancia)	% de disminución	Fertilidad promedio (%)	Fertilidad en el día de servicio (%)				
02/01/1900	27.96	-24.15	-13.63	-23.03	-11.40	2.93	30.15	28.85	-4.34	28.03	-7.05	52.63	45.03				

Figura 11. Planilla Resumen.

3.5. Tabla de referencias para las herramientas de mitigación del estrés

A modo de referencia para el usuario, se incluye dentro del programa una tabla de referencias (Figura 12), donde se detallan herramientas de mitigación del estrés térmico (sombra, aspersión y ventilación). Conteniendo distintos resultados encontrados en la bibliografía consultada, incluyendo las diferencias en temperatura rectal, ritmo respiratorio y ritmo cardíaco en relación al uso de las distintas herramientas en diferentes condiciones.

Contiene, además, el grado de disminución de ITH generado a causa de las diferentes estrategias de mitigación de estrés térmico, este indicador tiene como objetivo dar una idea general del efecto para una determinada herramienta, con el fin de mejorar la predicción del modelo. Para determinar este indicador, se basó en las diferencias de las tasas respiratorias registradas en los diferentes trabajos. Estas diferencias se ajustaron a la escala descrita por Silanikove et al., 2000, mencionada anteriormente (1.4.). De esta forma, se tomó como valor límite inferior de estrés calórico el valor de ITH 72, equivalente a 60 rpm, y cada incremento de 5 unidades en la tasa respiratoria representa un incremento en una unidad de ITH. Partiendo de esta base, se estimó el grado de disminución de ITH proporcionado por una determinada herramienta de mitigación, a partir del porcentaje de disminución de la tasa respiratoria en los animales en los tratamientos bajo estrés térmico y bajo determinada herramienta de mitigación. La Figura 13 resume la escala elaborada de la tasa respiratoria y el valor de ITH.

Inicio		Tabla de referencia de pérdida de ITH con la utilización de sombra, aspersión y/o ventilación							
Herramienta	Sistema	Estructura	Condiciones ambientales	Reducción del ITH (%)	Periodo/Categoría	Temperatura rectal (°C)	Ritmo Respiratorio (RPM)	Ritmo Cardíaco (PPM)	Fuente
-Sombra	Pastoreo	Techo de metal de 3.7m de alto, y piso de cemento	Clima: Subtropical Temperatura media anual: 31°C Máxima temperatura anual: 32,5°C Humedad relativa: 50 - 95%	4.2 - 5.6	160 a 0 días preparto / Primiparas y	-2,0% (± 0.3)	-28% (± 3)	-5,6% (± 1,3)	Collier, R. J., Doelger, S. G., Head, H. H. & Thatcher, W. W. Effects of Heat Stress during Pregnancy on Maternal Hormone Concentrations, Calf Birth Weight and Postpartum Milk Yield of Holstein Cows. 309-319 (1982).
	Confinado	Sombra en la zona de descanso	Para vacas con 25 litros de producción aprox.	2,7	Lactación	S.D	S.D	S.D	Mayer, D. G., Davison, T. M., Jonsson, N. N. & Gaughan, J. B. Extent and economic effect of heat loads on dairy cattle production in Australia. Aust. Vet. J. 77, 804-808 (1999).
	Confinado	Sombra en la línea de alimentación	Para vacas con 25 litros de producción aprox.	5,6	Lactación	S.D	S.D	S.D	Mayer, D. G., Davison, T. M., Jonsson, N. N. & Gaughan, J. B. Extent and economic effect of heat loads on dairy cattle production in Australia. Aust. Vet. J. 77, 804-808 (1999).
-Sombra, Aspersión y ventilación	Confinado	10 minutos de aspersión (120L/h) más 30 minutos de ventilación forzada (3 m/s), 18 veces al día.	Freestall techado con ventilación natural	5,6 - 8,3	56 a 0 días preparto / Multiparas	-0,5% (± 0,1)	-40% (± 8)	N.S.	Adin, G. et al. Effects of cooling dry cows under heat load conditions on mammary gland enzymatic activity, intake of food and water, and performance during the dry period and after parturition. Livest. Sci. 124, 189-195 (2009).
-Sombra, Aspersión y ventilación	Confinado	1 minuto de aspersión, más 4 minutos de ventilación forzada (3m/s) con nebulización (21 L/h) repitiendo durante 1 hora, 4 veces por día, en el comedero.	Freestall techado con ventilación natural	2,8 - 4,2	57 a 0 días preparto / Multiparas	-0,77% (± 0,1)	-20% (± 4)	S.D	Adin, G. et al. Effects of cooling dry cows under heat load conditions on mammary gland enzymatic activity, intake of food and water, and performance during the dry period and after parturition. Livest. Sci. 124, 189-195 (2009).

Figura 12. Tabla de referencia de disminución de ITH para las diferentes herramientas a utilizar.

RPM ITH		
20	64	Riesgo bajo
25	65	
30	66	
35	67	
40	68	
45	69	
50	70	Riesgo Medio alto
55	71	
60	72	
65	73	
70	74	Riesgo alto
75	75	
80	76	
85	77	
90	78	
95	79	
100	80	Riesgo severo
105	81	
110	82	
115	83	
120	84	
125	85	
130	86	
135	87	
140	88	
145	89	
150	90	

Figura 13. Escala de modificaciones de la tasa respiratoria en función del valor de ITH estimado. Donde RPM representa las respiraciones por minuto.

3.6. Análisis de escenarios

Con el objeto de testar el modelo y evaluar su respuesta frente a diferentes situaciones, se plantearon dos alternativas de manejo diferentes ante tres escenarios posibles –negativo, medio, positivo– con y sin el uso de sombra artificial como herramienta de mitigación del estrés térmico, para observar el comportamiento del modelo en las diferentes realidades, y de esa forma poder determinar la opción más rentable para la explotación.

Para ello, utilizando la base de datos simulados detallada anteriormente (3.2.1.) se determinó el año con la mayor proporción de condiciones ambientales estresantes para el animal “Año más

estresante”, basándose en la acumulación del valor de ITH anual. Del mismo modo, se determinó el “año menos estresante” como el escenario positivo, con la menor proporción de condiciones ambientales estresantes para el animal, y “Año medio” como el año promedio del período comprendido en la base de datos.

A su vez, las alternativas de manejo utilizadas, representan las principales estrategias manejadas por los productores lecheros comerciales. Estas son; “Partos concentrados” donde se busca concentrar la gran mayoría de partos dentro de un acotado período, aumentando significativamente la producción de leche y operaciones relacionadas con los partos de los animales durante un determinado período, pero simplificando tareas una vez finalizado dicho período. Esta opción acarrea un mayor costo productivo en instalaciones y mano de obra, ya que se obtiene en un corto período de tiempo un gran número de crías, y es menos eficiente, debido a que durante gran parte del año, las instalaciones diseñadas para atender el acumulado de partos y crías se encuentran en desuso. Pero representa una alternativa efectiva para evitar períodos puntuales desfavorables, como falta de personal, condiciones estresantes, reducciones en el precio de mercado, etc.

Por tanto, con esta estrategia se busca maximizar parámetros productivos. De esta forma, se plantearán dos objetivos distintos para el uso de esta estrategia, uno buscando el período de partos que minimice el efecto de ITH en relación a la producción de leche (CL), y el otro buscando el período de parto que maximice la tasa de concepción en el día de servicio (CF).

La otra alternativa “partos mensuales” genera mismo número de partos distribuidos a lo largo del año. Disminuyendo los costos operativos debido a que la ocurrencia de partos es más reducida, aunque más perdurable, y la producción de leche tiende a ser constante a lo largo del ejercicio. Pero genera un mayor trabajo constante que en el caso anterior, y la producción se ve más afectada en condiciones desfavorables durante el año.

Por otro lado, el uso de sombra artificial en la explotación representa la medida más fácil de implementar y genera grandes beneficios. Para estas simulaciones, el uso de sombra artificial estará pensada para ser ubicada en la línea de alimentación, ya que es una zona donde el animal frecuente varias veces durante el día, y donde permanece durante una gran proporción de tiempo. Los 18 escenarios descritos anteriormente se detallan a continuación;

Tabla 8. Alternativas y escenarios para una explotación

Escenario	Condiciones clima	Sombra	Alternativa de manejo
ESCL	Año más estresante	SI	Partos concentrados leche
ESCF			Partos concentrados fertilidad
ENCL		NO	Partos concentrados leche
ENCF			Partos concentrados fertilidad
ESM		SI	Partos mensuales
ENM		NO	Partos mensuales
MSCL	Año medio	SI	Partos concentrados leche
MSCF			Partos concentrados fertilidad
MNCL		NO	Partos concentrados leche
MNCF			Partos concentrados fertilidad
MSM		SI	Partos mensuales
MNM		NO	Partos mensuales
LSCL	Año menos estresante	SI	Partos concentrados leche
LSCF			Partos concentrados fertilidad
LNCL		NO	Partos concentrados leche
LNCF			Partos concentrados fertilidad
LSM		SI	Partos mensuales
LSM		NO	Partos mensuales

Para analizar las diferentes alternativas de manejos para cada escenario, se simularán los datos de una explotación ganadera teórica con 120 animales, y con una tasa de concepción promedio del 60%. El precio inicial del kg de leche remitida será de 0,23 €/kg, el cual evolucionará según la ecuación anteriormente descrita (ix). Los animales presentarán; un promedio de 2 lactancias, un peso vivo promedio de 550kg al momento del parto, una producción media de 8.700 kg de leche en la lactancia anterior, con un promedio de 3,3% de proteína y 3,7% de grasa. Además, se utilizará un intervalo parto-concepción de 85 días. Por otro lado, la duración de la lactancia para los escenarios (CL) será estimada por el modelo en todos los escenarios y alternativas, con un límite de entre 280 a 305 días. Para todos los demás casos, la duración de la lactancia será de 305 días. En los partos concentrados, el 100% de los animales de la explotación serán servidos el mismo día, manejados todos dentro del mismo lote. Buscando de esa forma, que la totalidad de los partos queden comprendido dentro de un período acotado. Diferenciando la fecha de parto, según los objetivos anteriormente planteados (CL y CF).

En el caso de los partos mensuales, se dividirá el total de animales en 12 lotes (grupos) de 10 animales cada uno, buscando que para un lote por mes. Tratando de ubicar los partos el primer día de cada mes.

4. Resultados

4.1. Descripción del modelo

Para el desarrollo de la plataforma interactiva se creó un archivo ejecutable (.exe) para el sistema operativo Windows, compuesto de un conjunto de 23 hojas de cálculo habilitadas para el uso de macros de Microsoft Excel, 15 formularios y un módulo. Dicha plataforma almacena en una base de datos los registros ingresados por el productor, permitiendo la creación de hasta 12 lotes de animales. Cada lote, representa las características promedio del conjunto de animales dentro de cada grupo, por lo que el ingreso de datos corresponde a valores colectivos.

Los diferentes formularios ofrecen una serie de opciones para que el usuario pueda; ingresar datos de un lote, ver un determinado lote, generar gráficas productivas de un lote en cuestión, eliminar los datos ingresados y generados de un lote, y acceder al resumen productivo del total de la explotación.

A continuación, se detalla una representación del programa a través de los diferentes formularios y planillas (Figura 14).

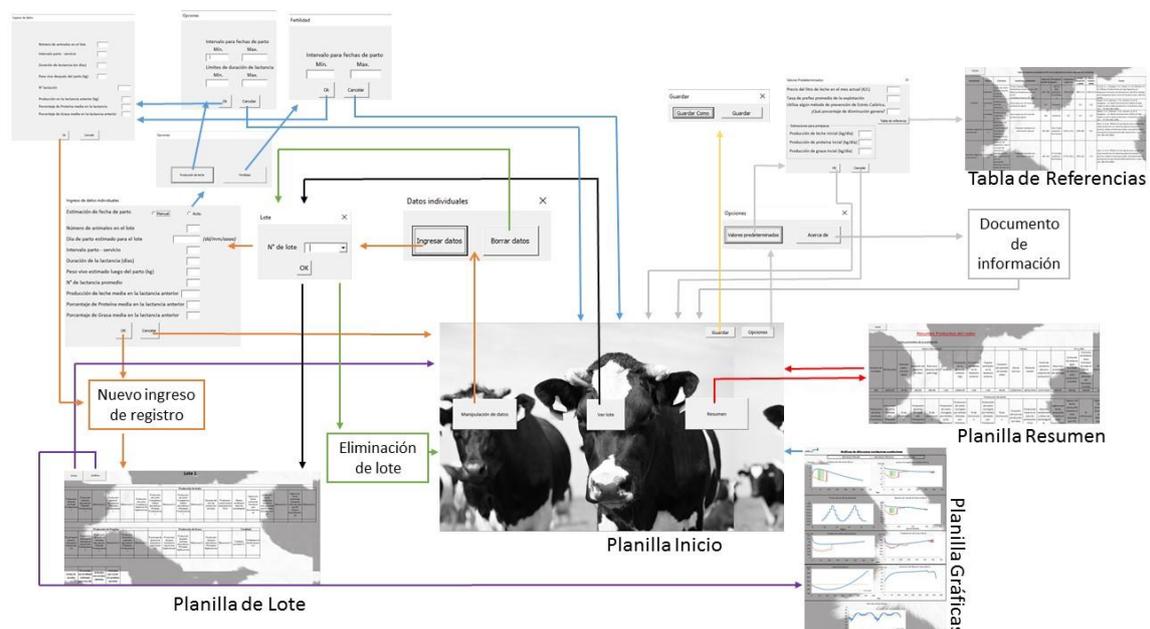


Figura 14. Esquema de las diferentes opciones dentro del programa, con sus respectivos formularios y planillas, cada una representada por un color de flecha diferente.

4.1.1. Planillas

El programa cuenta con diferentes planillas que cumplen diferentes objetivos. Dentro de éstas, las únicas que repiten su función y formato son las planillas de ingreso de datos, por lo tanto, existen dentro del sistema 12 planillas similares, representando cada una, un lote diferente.

El programa se compone de las siguientes planillas (Tabla 9);

Tabla 9. Nombre de planilla, y principal función dentro del sistema

Inicio	Es el nivel base del sistema, donde se brindan las principales opciones.
Resumen	Presenta los valores promedio del conjunto de lotes.
Cálculo	Representa la base operativa del sistema, donde se generan los cálculos para los diferentes parámetros productivos (oculta al usuario).
Gráficos	Presenta las gráficas de los distintos indicadores para cada lote.
Macro	A través de esta planilla, se ingresan los datos correspondientes a cada lote, a partir de los cuales se generan todas las estimaciones (oculta al usuario).
Lote 1 – 12	Presenta los valores de cada indicador productivo, para cada grupo ingresado.

4.1.2. Inicio

Al abrir el archivo ejecutable, se muestra una pantalla inicial con 3 botones principales y 2 secundarios. Esta pantalla representa el nivel base, ya que al finalizar o cancelar cualquier formulario utilizado, se vuelve a dicho nivel (Figura 15).



Figura 15. Nivel base, con sus respectivos botones principales y secundarios. En rojo señalizados los botones principales, y en azul los secundarios.

Los botones presentes en este nivel proporcionan todas las opciones posibles. Abriendo un formulario independiente por cada uno. Los principales botones corresponden a;

- *Manipulación de datos:* Donde se permite el ingreso o eliminación de un nuevo registro en la base de datos.
- *Ver lote:* Proporciona la opción de acceder a la planilla de un determinado lote.
- *Resumen:* A través de este botón, se dirige al usuario a una nueva planilla donde se encuentran el resumen productivo de la explotación.

Por otro lado, los botones secundarios corresponden a;

- *Guardar*: Esta opción permite guardar un archivo ya existente, o uno nuevo.
- *Opciones*: A través de este comando se accede a los valores predeterminado del programa.

4.1.2.1. Manipulación de datos

A través de esta opción, el usuario puede ingresar o eliminar registros. Una vez seleccionado, se abre un formulario con la opción de “Ingresar datos” o “Borrar datos” (Figura 16a). Dentro de la opción ingresar, un segundo formulario se genera ubicando el registro a ingresar en el lote correspondiente (Figura 16b).

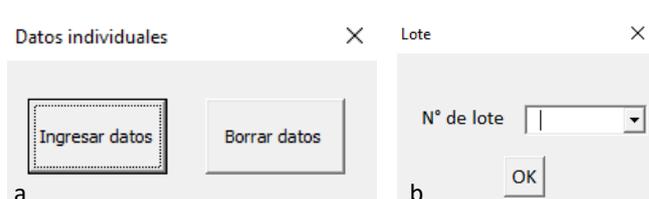


Figura 16. Formularios de ingreso de datos, **a.** Opciones, **b.** Segundo formulario en ejecutar, dentro de la opción “Ingresar datos”.

Una vez seleccionado el lote deseado, comienza la serie de formularios para ingreso de datos mencionada anteriormente (3.2.2.). Al terminar de ingresar un registro, se vuelve a la planilla base.

Por otro lado, la opción de “Borrar dato” (Figura 16a) genera un nuevo formulario para seleccionar el lote a eliminar de la base de datos, similar al de la Figura 16b, permitiendo además realizar un borrado general de todos los datos dentro de los diferentes lotes.

4.1.2.2. Ver lote

Esta opción permite visualizar a través de un formulario similar al de la Figura 16b, el lote de interés, junto con todos los valores ingresados y generados para cada registro (Figura 9). Dentro de cada planilla de lote se permite, además, la posibilidad de graficar los parámetros productivos más relevantes (Figura 10).

4.1.2.3. Guardar

Esta opción, a través de un formulario, permite al usuario guardar el total de la base de datos tanto en un archivo existente, o en uno nuevo.

4.1.2.4. Opciones

Mediante este botón se ejecuta el formulario de valores predeterminados del sistema, en el cual se incluyen el valor actual del litro de leche, la tasa de preñez promedio de la explotación, la

tabla de referencias de mitigación de estrés calórico según la herramienta utilizada, comentada anteriormente (Figura 12), y los datos productivos estimados para animales primíparas. Dentro de éstos se encuentra, la producción de leche en el inicio de la lactancia, el porcentaje de producción de proteína inicial, y el porcentaje de producción de grasa inicial (Figura 17b).

Además, a través del primer formulario dentro de este comando (Figura 17a) se accede a la opción “Acerca de” la cual provee información relevante de las pautas de funcionamiento del sistema, mientras que a través de la opción “Base de datos climáticos” (Figura 17a) se accede a la planilla de datos ambientales, para que el usuario pueda ingresar los valores correspondientes a su zona.



Figura 17 a. Primer formulario dentro del botón Opciones, **b.** Formulario con los valores predeterminados del sistema.

4.2. Análisis de alternativas y escenarios

4.2.1. Comparaciones generales

Para el período considerado, el año con las condiciones ambientales más estresantes (escenarios ESCL, ESCF, ENCL, ENCF, ESM y ENM) fue el 2015 con un valor ITH acumulado anual de 22.319 (promedio anual = 61,1), mientras que, el menos estresante (escenarios LSCL, LSCF, LENCL, LENCF, LESM y LENM) fue el 2010 con un valor de ITH acumulado anual de 21.361 (promedio anual 59,3). Asimismo, el promedio del período fue de 21.862 (promedio anual = 59,9). Por otro lado, según la tabla de referencias dentro del modelo (Figura 12) la reducción de ITH por el uso de sombra es del 5,6%. Debido a que, tanto el 2010 como el 2015 no fueron años bisiestos, para el año medio se utilizó un año con las mismas características, para mejora la predicción.

Según el modelo –sin tomar en cuenta el efecto de ITH medio ni máximo– el conjunto de animales con las características descritas anteriormente, generan una producción estimada total de 1.432,3 toneladas de leche durante la lactancia, con 42,8 toneladas de proteína, y 51,7 toneladas de grasa.

4.2.2. Producción de leche

Como era de esperar, el escenario LCSL, fue el que registró el mayor ingreso bruto por LCS afectada por ITH medio (se tomó éste valor como el 100%, para medir el grado de déficit entre los diferentes escenarios), generando las menores tasas de disminución debido al ITH medio y máximo en relación al ingreso bruto por LCS, en comparación con las restantes 17 combinaciones posibles. En este escenario, el efecto del ITH medio y máximo fueron bastante menores en comparación con el resto, ya que, en el caso de producción de leche, no se registró disminución por ITH medio, el déficit por ITH máximo fue menor al 1%, y para el resto de los parámetros la disminución fue menor a 6% (Tabla 10).

Por otro lado, el escenario ENM, fue el que produjo la menor proporción de ingresos brutos por LCS afectada por ITH medio, debido a la mayor tasa de reducción de LCS a causa del ITH medio y máximo. Esto se debe a que, tanto la producción de leche, como de proteína y grasa, se vieron seriamente afectadas por ITH medio y máximo (Tabla 10).

4.2.3. Consumo de materia seca

El efecto de las altas temperaturas sobre la disminución del CMS fue más marcado en los escenarios con el año más ambientalmente estresante (Tabla 10). Sin embargo, en el año menos estresante se generaron pérdidas mayores que en el año medio, esto se debe a que el cálculo del efecto negativo de las altas temperaturas en el CMS, toma en cuenta únicamente la temperatura máxima diaria, y el promedio de la temperatura máxima en los dos días anteriores. De este modo, el año 2010, presentó una diferencia de temperatura máxima más marcada entre días consecutivos, generando una mayor disminución del consumo, debido a que el animal se ve mayormente perjudicado cuando experimenta un aumento puntual de la temperatura al cual no está acostumbrado. En cuanto al uso de sombra, el efecto beneficioso de esta herramienta no fue estimado para este parámetro, ya que el programa determina el porcentaje de disminución de ITH en relación al uso de distintas herramientas de mitigación, pero no de temperatura máxima.

4.2.4. Parámetros reproductivos

En cuanto a la tasa de concepción, no se observaron disminuciones debido al exceso de calor en la estrategia de partos concentrados buscando la máxima tasa de concepción al momento del servicio (CF), independientemente del año o del uso de sombra. Para el manejo de parto concentrados (independientemente de su objetivo) los servicios óptimos se ubicaron en el mes de agosto en todos los escenarios (Tabla 10).

De forma contraria, la estrategia que genera la menor tasa de concepción al momento del servicio óptimo, es el uso de partos mensuales, para todos los escenarios posibles (Tabla 10). Sin embargo, las tasas más bajas de concepción se registraron en los escenarios LSM y LNM, representando una disminución de 18,3% en relación al valor promedio de la explotación ingresado de forma predeterminada (60%). Este resultado se puede explicar, debido a que la función de reducción de la tasa de concepción en el modelo, utiliza como indicador ambiental únicamente la temperatura máxima registrada en el día de inseminación y no el valor de ITH, por tanto, el uso de sombra tendría un efecto menor en este parámetro, ya que, como se mencionó anteriormente, no se toma en cuenta la reducción de la temperatura efectiva a causa de intercepción de la radiación solar causada por el uso de la sombra. Sabiendo que la fecha de parto estimada fue el primer día de cada mes, los servicios efectivos se realizaron entre los días 24 y 27 en los respectivos meses, 280 días antes de cada parto. El año anterior al menos estresante (2009) –en el cual se realizaron la mayoría de los servicios para el año menos estresante– presentó temperaturas promedio para cada día de servicio entre 2,5% y 5% superior en comparación a las fechas de servicios para los años más estresante y medio respectivamente.

Tabla 10. Resultados de la simulación de los diferentes escenarios, con las distintas estrategias productivas, con y sin uso de sombra artificial

	Sin Sombra						Con Sombra								
	Año más estresante			Año medio			Año más estresante			Año medio			Año menos estresante		
	Partos concentrados		Partos mensuales	Partos concentrados		Partos mensuales									
	CL	CF		CL	CF		CL	CF		CL	CF		CL	CF	
Fecha de parto	26-Ago	30-Ago		13-Ago	09-Ago		28-Ago	13-Ago		14-Ago	09-Ago		28-Ago	13-Ago	
Fecha de servicio	19-Nov	23-Nov		06-Nov	02-Nov		21-Nov	06-Nov		07-Nov	02-Nov		18-Nov	06-Nov	
Diferencia en el CMS a causa de la Temperatura máx (%)	-5,54	-5,54	-5,28	-1,19	-1,19	-1,16	-4,67	-4,71	-5,54	-5,54	-5,28	-1,19	-1,19	-4,67	-4,71
Tasa de fertilidad el día de servicio óptimo (%)	59,95	60,40	52,38	59,86	60,02	52,10	59,69	60,04	60,02	60,04	52,38	59,71	60,02	59,85	60,04
Diferencia en producción de leche a causa de ITH medio (%)	-0,63	-0,75	-8,74	-0,31	-0,63	-2,42	0,00	-1,09	-4,01	-1,61	-1,61	0,00	0,00	0,00	0,00
Diferencia en producción de leche a causa de ITH máximo (%)	-6,23	-5,93	-16,08	-6,24	-7,17	-15,00	-3,97	-6,65	-13,20	-7,59	-7,59	0,00	-0,10	-0,43	-3,35
Proporción de ingreso bruto por LCS afectado por ITH medio (%)	97,33	97,20	92,78	98,23	98,18	96,17	98,51	98,15	95,74	97,00	97,00	99,18	99,11	100,00	99,94
Diferencia en el ingreso bruto a causa de ITH medio (%)	-5,70	-5,80	-9,63	-4,88	-4,95	-6,32	-4,53	-4,96	-6,74	-5,52	-5,52	-3,94	-4,05	-3,10	-3,22
Diferencia en el ingreso bruto a causa de ITH máximo (%)	-8,28	-8,28	-14,65	-7,10	-7,51	-12,11	-5,99	-7,44	-11,58	-7,40	-7,40	-3,48	-3,82	-2,65	-3,12
Diferencia en la producción de proteína a causa del ITH medio (%)	-10,87	-10,97	-16,17	-9,17	-9,19	-14,12	-8,19	-9,10	-13,44	-9,92	-9,92	-4,38	-5,33	-3,38	-4,48
Diferencia en la producción de proteína a causa del ITH máximo (%)	-16,74	-16,83	-22,28	-13,70	-13,71	-19,26	-12,52	-13,30	-18,33	-13,17	-13,17	-7,09	-7,79	-5,08	-6,09
Diferencia en la producción de grasa a causa del ITH medio (%)	-7,07	-7,18	-7,61	-6,30	-6,21	-5,70	-6,18	-5,93	-5,80	-6,42	-6,42	-6,63	-6,37	-5,28	-5,03
Diferencia en la producción de grasa a causa del ITH máximo (%)	-6,16	-6,34	-10,76	-4,94	-5,19	-7,33	-4,63	-5,59	-7,82	-4,99	-4,99	-3,72	-3,71	-3,22	-3,07

CL: Partos concentrados buscando el máximo ingreso bruto por LCS afectada por ITH medio. CF: Partos concentrados buscando la máxima tasa de fertilidad el día de servicio efectivo.

4.2.5. Efecto de las condiciones ambientales

En cuanto a los tres escenarios posibles (año menos estresante, año medio, y año más estresante) las diferencias entre la producción de LCS afectada por ITH medio varió menos del 1,5% (Tabla 11). Como era de esperarse, el año menos estresante presentó los menores efectos negativos por ITH medio en todos los parámetros. Aunque contrariamente los indicadores que no utilizan el valor de ITH para su estimación (tasa de concepción y CMS), presentaron un mayor efecto negativo a causa del ambiente en comparación con el año medio. Por otro lado, el año más estresante representó el escenario con el porcentaje de concepción más alto, debiéndose, como se detalló anteriormente, a causa del método de cálculo de este indicador (Tabla 11).

Tabla 11. Resultados de la simulación por condiciones ambientales (Año más estresante, Año medio, Año menos estresante), tomando en cuenta todas las estrategias posibles

	Año más estresante	Año medio	Año menos estresante
Diferencia en CMS a causa de altas temp. (%)	-5,45	-1,18	-4,68
Tasa de concepción el día de servicio óptimo (%)	57,53	57,30	56,30
Diferencia en producción de leche a causa de ITH medio (%)	-1,97	-0,56	-0,85
Diferencia en producción de leche a causa de ITH máximo (%)	-6,41	-4,97	-4,84
Proporción de ingreso bruto por LCS afectado por ITH medio (%)	98,65	99,87	100,00
Diferencia en el ingreso bruto a causa de ITH medio (%)	-5,77	-4,63	-4,48
Diferencia en el ingreso bruto a causa de ITH máximo (%)	-7,65	-6,07	-5,94
Diferencia en la producción de proteína a causa del ITH medio (%)	-9,61	-8,27	-7,80
Diferencia en la producción de proteína a causa del ITH máximo (%)	-13,98	-11,57	-10,99
Diferencia en la producción de grasa a causa del ITH medio (%)	-6,88	-5,99	-5,66
Diferencia en la producción de grasa a causa del ITH máximo (%)	-5,95	-4,57	-4,64

4.2.6. Comparaciones entre sistemas de manejo

El efecto de la temperatura máxima fue prácticamente el mismo en todos los manejos en relación al consumo de materia seca. Además, el uso de partos mensuales presentó las menores tasa de concepción promedio, producción de leche, ingreso bruto por LCS afectado por ITH medio, y producción de proteína y grasa, y generó los mayores efectos negativos a causa del ITH medio y máximo en todos los parámetros (Tabla 12).

De otro modo, todos los escenarios de partos concentrados (ESCL, ESCF, ENCL, ENCF, MSCL, MSCF, MNCL, MNCF, LSCL, LSCF, LNCL y LNCF), presentaron una fecha promedio de parto en el mes de agosto, y una fecha de servicio en el mes de noviembre. Señalando que, independientemente del objetivo buscado, y del año en transcurso, agosto representa el mejor mes para la fecha de parto de los animales, ya que se generan los menores efectos negativos de ITH medio para la producción de LCS. Consecuentemente, el mes de noviembre corresponde al mejor mes para el servicio óptimo (tomando en cuenta un período parto-inseminación de 85 días), debido a que genera la mayor tasa de concepción promedio y mayor producción de LCS afectada por ITH medio en la lactancia siguiente.

Tabla 12. Resultados de la simulación por estrategia de manejo (CL, CF, M)

	CL	CF	M
Fecha de parto	21-Ago	13-Ago	
Fecha de servicio	13-Nov	06-Nov	
Diferencia en CMS a causa de altas temp. (%)	-3,80	-3,80	-3,72
Tasa de concepción el día de servicio óptimo (%)	59,85	60,09	51,19
Diferencia en producción de leche a causa de ITH medio (%)	-0,16	-0,43	-2,80
Diferencia en producción de leche a causa de ITH máximo (%)	-2,98	-3,82	-9,42
Proporción de ingreso bruto por LCS afectado por ITH medio (%)	100,00	99,88	97,42
Diferencia en el ingreso bruto a causa de ITH medio (%)	-4,26	-4,41	-6,22
Diferencia en el ingreso bruto a causa de ITH máximo (%)	-5,03	-5,48	-9,15
Diferencia en la producción de proteína a causa del ITH medio (%)	-6,64	-7,25	-11,78
Diferencia en la producción de proteína a causa del ITH máximo (%)	-10,12	-10,58	-15,85
Diferencia en la producción de grasa a causa del ITH medio (%)	-6,20	-6,05	-6,27
Diferencia en la producción de grasa a causa del ITH máximo (%)	-4,34	-4,53	-6,28

CL; Partos concentrados buscando el máximo ingreso por LCS afectada por ITH medio, CF; Partos concentrados buscando la máxima tasa de concepción en el día de servicio óptimo. M: Partos mensuales.

4.2.7. Comparaciones entre las estrategias de mitigación del estrés calórico

En relación al uso de sombra, según el modelo, ésta reduce considerablemente el efecto negativo del ITH medio y máximo en todos los parámetros productivos. Siendo los indicadores más sensibles a esta herramienta la producción de leche afectada por ITH medio y máximo, y la producción de proteína afectada por ITH medio y máximo. Mientras que los menos afectados

son el ingreso de LCS afectado por ITH medio, y producción de grasa afectada por ITH medio. Por otro lado, la tasa de concepción y consumo de materia seca afectado por temperatura máxima no varía con el uso de las herramientas de mitigación, ya que, como se explicó anteriormente, las funciones utilizadas para estos indicadores dependen de la temperatura ambiental, y no del ITH (Tabla 13).

Tabla 13. Resultados de la simulación por estrategias de mitigación del estrés calórico (Con Sombra, Sin sombra)

	Sin sombra	Con sombra
Diferencia en producción de leche a causa de ITH medio (%)	-2,06	-0,19
Diferencia en producción de leche a causa de ITH máximo (%)	-8,94	-1,87
Proporción de ingreso bruto por LCS afectado por ITH medio (%)	97,94	100,00
Diferencia en el ingreso bruto a causa de ITH medio (%)	-5,95	-3,98
Diferencia en el ingreso bruto a causa de ITH máximo (%)	-9,22	-3,89
Diferencia en la producción de proteína a causa del ITH medio (%)	-11,25	-5,87
Diferencia en la producción de proteína a causa del ITH máximo (%)	-16,30	-8,07
Diferencia en la producción de grasa a causa del ITH medio (%)	-6,44	-5,91
Diferencia en la producción de grasa a causa del ITH máximo (%)	-6,53	-3,57

7. Conclusión

Se ha desarrollado un modelo que permite al usuario determinar el efecto del estrés térmico sobre parámetros productivos y reproductivos en granjas de vacuno de leche. La plataforma posee una interface bastante amigable con el usuario, simplificando el ingreso de datos, evitando que el usuario deba presentar un alto nivel de conocimiento informático. Además, la forma de presentar los resultados en la plataforma genera una fácil interpretación de los datos, pudiendo generar una idea generalizada a partir de una gran cantidad de valores.

En cuanto a las estimaciones realizadas por el modelo, el uso de partos concentrados para la zona de estudio representa la estrategia más rentable, ya que genera los menores efectos negativos a causa de ITH medio y máximo, en comparación con el uso de partos mensuales. Siendo, el mes de agosto el mes que representa la mejor época de parto para los animales, ya que se evita así los períodos más ambientalmente estresantes para el animal en la próxima lactancia.

6. Anexo

El programa se podrá descargar desde la página siguiente;

<https://drive.google.com/file/d/0Bww1fvRsqDsvc0ZmMITHX0I0OEK/view?usp=sharing>

7. Bibliografía

- Adin, G., Gelman A., Solomon R., Flamenbaum I., Nikbachat M., Yosef E., Zenou A., Shamay A., Feurmann Y., Mabjeesh S.J., Miron J. Effects of cooling dry cows under heat load conditions on mammary gland enzymatic activity, intake of food and water, and performance during the dry period and after parturition. *Livest. Sci.* 124, 189–195 (2009).
- Allen, J. D., Hall, L. W., Collier, R. J. & Smith, J. F. Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J. Dairy Sci.* 98, 118–127 (2015).
- Almeyda J.M. Manual de manejo y de alimentación de vacunos II: Manejo y Alimentación de vacas productoras de leche en sistemas intensivos. Programa de Investigación en leche de la UNA La Molina-Facultad de Zootecnia, Perú (2013). Página consultada (19/07/2016):
- Álvarez A., Pérez H., de la Cruz T., Quincosa J., Sánchez A., Fisiología animal aplicada. Editorial Universidad de Antioquia. 198-224. (2009).
- Armstrong, D. V. Heat Stress Interaction with Shade and Cooling. *J. Dairy Sci.* 77, 2044–2050 (1994).
- Bava, L., Tamburini A., Penati C., Riva E., Mattachini G., Provolò G., Sandrucci A. Effects of feeding frequency and environmental conditions on dry matter intake, milk yield and behaviour of dairy cows milked in conventional or automatic milking systems. *Ital. J. Anim. Sci.* 11, 42 (2012).
- Berman, A. Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. 1377–1384 (2005).
- Berman, A. Folman, Y., Kaim, M., Mamen, M., Herz, Z., Wolfenson, D., Arieli, A., Graber, Y. Upper Critical Temperatures and Forced Ventilation Effects for High-Yielding Dairy Cows in a Subtropical Climate. *J. Dairy Sci.* 68, 1488–1495 (1985).
- Bernabucci, U., Biffani S., Buggiotti L., Vitali A., Lacetera N., Nardone A. The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 97, 471–486 (2014).
- Bianca W, Findlay JD. The effect of thermally-induced hyperpnea on the acid-base status of the blood of calves. *Res. Vet. Sci.* 3: 38-49 (1962).
- Bohmanova, J., Misztal, I. & Cole, J. B. Temperature-Humidity Indices as Indicators of Milk Production Losses due to Heat Stress. *J. Dairy Sci.* 90, 1947–1956 (2007).
- Bohmanova, J., Misztal, I., Tsuruta, S., Norman, H. D. & Lawlor, T. J. Short communication: genotype by environment interaction due to heat stress. *J. Dairy Sci.* 91, 840–846 (2008).
- Bouraoui, R., Lahmar, M., Majdoub, A., Djemali, M. & Belyea, R. The relationship of temperature-humidity index with milk production of dairy cows in a Mediterranean climate. *Anim. Res.* 51, 279–293 (2002).
- Brügemann, K., Gernand, E., Borstel, U. K. von & König, S. Defining and evaluating heat stress thresholds in different dairy cow production systems. *Arch. Tierzucht* 55, 13–24 (2012).
- Bryant, J. R., López-Villalobos, N., Pryce, J. E., Holmes, C. W. & Johnson, D. L. Quantifying the effect of thermal environment on production traits in three breeds of dairy cattle in New Zealand. *New Zeal. J. Agric. Res.* 50, 327–338 (2007).
- Carabaño, MJ., Logar, B., Bormann, J., Minet, J., Vanrobays, ML., Díaz, C., Tychon, B., Gengler, N., Hammami, H. Modeling heat stress under different environmental conditions. *J. Dairy Sci* 99: 1-17 (2016).
- Cavestany, D., El-Wishy, A.B., Foote, R.H. Effect of season and high environmental temperature on fertility of Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 68 1471 – 1478 (1985).
- Collier, R. J., Doelger, S. G., Head, H. H. & Thatcher, W. W. Effects of Heat Stress during Pregnancy on Maternal Hormone Concentrations, Calf Birth Weight and Postpartum Milk Yield of Holstein Cows. *J. Dairy Sci.* 309–319 (1982).

- Collier, R. J., R. M. Eley, A. K. Sharma, R. M. Pereira, and D. E. Buffington. Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in Holstein and Jersey cows. *J. Dairy Sci.* 64:844-849 (1981).
- Conaprole. Manejo del ganado lechero en verano. Ficha técnica N°2. *Rev. Producir XXI.* (2000).
- Coordinadora de organizaciones de Agricultura y Ganaderos (COAG), Anuario Agrario, Análisis Agroganadero, Ganadería-Vacuno de Leche, 143 (2015).
- Cowan RT. Grazing time and pattern of grazing of Friesian cowson a tropical grass legume pasture. *Aust. J. Exper. Agric. And Anim. Husbandry* 15: 32-37 (1975).
- Dikmen, S. & Hansen, P. J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? *J. Dairy Sci.* 92, 109–116 (2009).
- do Amaral, B.C., Connor E.E., Tao, S., Hayen, J., Bubolz, J., Dahl, G.E. Heat-stress abatement during the dry period: does cooling improve transition into lactation? *J. Dairy Sci.* 92, 5988–99 (2009).
- Ells, J.L., Qlao, F., Cant, J.P. Prediction of Dry Matter Intake Throughout Lactation in a Dynamic Model of Dairy Cow Performance. *J. Dairy Sci.* 89: 1558-1570 (2006).
- Flamenbaum I, Galon N. Management of heat stress to improve fertility of dairy cows in Israel. *J. Reprod. Develop.* 56: 8-14 (2010).
- Gauly, M., Bollwein H., Breves G., Bügemann K., Dänicke S., Das G., Demeler J., Hansen H., Isselstein J., König S., Lohölter M., Martinsohn M., Meyer U., Potthoff M., Sanker C., Schröder B., Wrage N., Meibaum B., von Samson-Himmelstjerna G., Stinnshoff H., Wrenzycki C. Future consequences and challenges for dairy cow production systems arising from climate change in Central Europe – a review. *Animal* 7, 843–859 (2013).
- Giesecke HW. The effect of stress on udder health of dairy cows. *Onderstepoort J. Vet. Res.* 52: 175-193 (1985).
- Grzesiak, W., Błaszczuk, P., Lacroix R., Methods of predicting milk yield in dairy cows – Predictive capabilities of Wood’s lactation curve and artificial neural networks (ANNs). *Computers and Electronics in Agriculture* 54, 69 – 83 (2006).
- Hammami, H., Carabaño, M. J., Logar, B., Vanrobays, M. L. & Gengler, N. Genotype x Climate interactions for protein yield using four European Holstein Populations. 1–3 (2014).
- Hammami, H., Vandenplas, J., Vanrobays, M.L., Rehih, B., Bastin, C., Gengler, N. Genetic analysis of heat stress effects on yield traits, udder health, and fatty acids of Walloon Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 98, 4956–68 (2015).
- <http://www.engormix.com/MA-ganaderia-leche/nutricion/articulos/manual-manejo-alimentacion-vacunos-t4665/141-p0.htm>
- Johnson, H.D., Kibler, H.H., Ragsdale A.C., Berry, I.L. & Shanklin, M.D. Role of heat tolerance and production level in responses of lactating Holsteins to various temperature-humidity conditions. *J. Dairy Sci.* 44: 1191 (1961).
- Kadzere, C. & Murphy, M. Heat stress in lactating dairy cows: a review. *Livest. Prod.* 77, 59–91 (2002).
- Lacetera, N., Bernabucci, U., Ronchi, B., Scalia, D. & Nardone, A. Moderate summer heat stress does not modify immunological parameters of Holstein dairy cows. *Int. J. Biometeorol.* 46, 33–37 (2001).
- Lambertz, C., Sanker, C. & Gauly, M. Climatic effects on milk production traits and somatic cell score in lactating Holstein-Friesian cows in different housing systems. *J. Dairy Sci.* 97, 319–29 (2014).
- López Gatius, F. Is fertility declining in dairy cattle? A retrospective study in northeastern Spain. *Theriogenology* 60: 89-99 (2003).
- Mader, T. L., Davis, M. S. & Brown-Brandl, T. Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *J. Anim. Sci.* 84, 712–719 (2006).
- Mader, T. L., Davis, M. S. & Gaughan, J. B. Effect of sprinkling on feedlot microclimate and cattle behavior. *Int. J. Biometeorol.* 51, 541–51 (2007).

- Mallonee PG, Beede Dk, Collier Rj, wilcox Cj. Production and physiological responses of dairy cows and varying dietary potassium during heat stress. *J. DairySci.* 77. Pp. 2630-2639. (1985).
- McGrover, R. E. & Bruce, J. M. AP—Animal Production Technology. *J. Agric. Eng. Res.* 77, 81–92 (2000).
- Mendoza, A. Ciclo productivo de la vaca lechera - Curso Rumiantes 1. Facultad de Veterinaria. Universidad de la República (2015).
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), Anuario de Estadística 2014, 14.3.1.3. Leche y Productos Lácteos-Leche de vaca (2015).
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), Catálogo oficial de razas – Raza bovina frisona (2016).
- Moran, John. Tropical dairy farming: feeding management for small holder dairy farmers in the humid tropics. CSIRO PUBLISHING, 2005.
- Morton, J. M., Tranter, W. P., Mayer, D. G. & Jonsson, N. N. Effects of environmental heat on conception rates in lactating dairy cows: critical periods of exposure. *J. Dairy Sci.* 90, 2271–2278 (2007).
- Nardone A, Lacetera N, Bernabucci U, Ronchi B. Composition of colostrum from dairy heifer sex posed to high air temperatures during late pregnancy and the early postpartum period. *J. DairySci.* 80: 838-853 (1997).
- NRC. A Guide to Environmental Research on Animals. *Natl. Acad. Sci.*, Washington, DC (1971).
- NRC. Effect of Environment on Nutrient Requirements of Domestic Animals. 5-12 (1981).
- Pejman, A. & Shahryar, H. A. Heat Stress in Dairy Cows (A Review). *Res. Zool.* 2, 31–37 (2012).
- Petrocelli, H. Termoregulación. Departamento de Producción Animal, Pasturas, Fisiología y Reproducción. Facultad de Agronomía, UDELAR. (2010).
- Provolo, G. & Riva, E. One Year Study of Lying and Standing Behaviour of Dairy Cows in a Frestall Barn in Italy. *J. Agric. Eng.* 2, 27–33 (2009).
- Purwanto, B. P., Abo, Y., Sakamoto, R., Furumoto, F. & Yamamoto, S. Diurnal patterns of heat production and heart rate under thermoneutral conditions in Holstein Friesian cows differing in milk production. *J. Agric. Sci.* 114, 139–142 (1990).
- Ravagnolo, O. & Misztal, I. Effect of heat stress on nonreturn rate in Holstein cows: genetic analyses. *J. Dairy Sci.* 85, 3092–3100 (2002).
- Ravagnolo, O. & Misztal, I. Genetic component of heat stress in dairy cattle, parameter estimation. *J. Dairy Sci.* 83, 2126–30 (2000).
- Ravagnolo, O., Misztal, I. & Hoogenboom, G. Genetic Component of heat stress in dairy cattle, Development of Heat Index Function. *J. Dairy Sci.* 83, 2120–2125 (2000).
- Roth Z, Meweidan R, Shaham-Albalancy A, Braw-Tal R, Wolfenson D. Delayed effect of heat stress on steroid production in medium-size and pre ovulatory bovine follicles. *Reproduction* 121: 745-751 (2001).
- Rovira, P.J. Riesgo de estrés calórico en la Región Este del Uruguay. En: Jornada anual Unidad Experimental palo a Pique 2012. Treinta y Tres: INIA. p. 17-21. Serie Actividades de Difusión; 695 (2012).
- Sánchez, J. P., Misztal, I., Aguilar, I., Zumbach, B. & Rekaya, R. Genetic determination of the onset of heat stress on daily milk production in the US Holstein cattle. *J. Dairy Sci.* 92, 4035–4045 (2009).
- Saravia, C. & Cruz, G. Un índice de temperatura y humedad del aire para regionalizar la producción lechera en Uruguay Air temperature and humidity index for regionalization of dairy farming in Uruguay. XII, 56–60 (2008).
- Saravia, C. Efecto del estrés calórico sobre las respuestas fisiológicas y productivas de vacas Holando y Jersey. (2009).

- Silanikove, N. & Koluman, N. Impact of climate change on the dairy industry in temperate zones: Predications on the overall negative impact and on the positive role of dairy goats in adaptation to earth warming. *Small Rumin. Res.* 123, 27–34 (2014).
- Silanikove, N. Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic ruminants. *Livest. Prod. Sci.* 67, 1–18 (2000).
- Spiers, D. E., J. N. Spain, J. D. Sampson, and R. P. Rhoads. Use of physiological parameters to predict milk yield and feed intake in heat-stressed dairy cows. *J. Therm. Biol.* 29:759-764 (2004).
- St-Pierre, N. R., Cobanov, B. & Schnitkey, G. Economic losses from heat stress by US livestock industries. *J. Dairy Sci.* 86, E52–E77 (2003).
- Tao, S., Bubolz J.W., do Amaral B.C., Thompson I.M., Hayen M.J., Johnson S.E., Dahl G.E. Effect of heat stress during the dry period on mammary gland development. *J. Dairy Sci.* 94, 5976–86 (2011).
- Thom, E. C. The Discomfort Index. *Weatherwise* 12, 57–61 (1959).
- Torshizi, M. E. Effects of season and age at first calving on genetic and phenotypic characteristics of lactation curve parameters in Holstein cows. *J. Anim. Sci. Technol.* (2016).
- Velazco, J.I., Rovira, P.J., Efecto del tipo de sombra en la ganancia de peso, tasa respiratoria y conducta de novillos en pastoreo. *Actividad de Difusión No. 591.* INIA (2009).
- Vitali, A., Segnalini M., Bertocchi L., Bernabucci U., Nardone A., Lacetera N. Seasonal pattern of mortality and relationships between mortality and temperature-humidity index in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 3781–90 (2009).
- West, J. W., Mullinix, B. G. & Bernard, J. K. Effects of hot, humid weather on milk temperature, dry matter intake, and milk yield of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86, 232–42 (2003).
- Wood P., Algebraic models of the lactation curves for milk, fat and protein production, with estimates of seasonal variation. *Animal Production*, 22, 35-40 (1976).
- Yamamoto S. The assessment of termal environment for farm animals. *Proc. 5 World Cong. Anim. Prod.* 1: 197-204 (1983).