



Facultad de Veterinaria

Trabajo de  
Fin de Grado

Determinación de metabolitos  
del cortisol fecal como  
biomarcador de estrés térmico  
en vacuno lechero en Galicia.

Lucía Díaz González

**Grado en Veterinaria**

Año 2025

Modalidad del Trabajo: Experimental

# Licencia

Excepto donde se haga constar explícitamente, esta obra pertenece a Lucía Díaz González y está bajo una licencia de “Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional”.



## Resumen

El mundo se enfrenta actualmente a una emergencia climática. Desde la era preindustrial, la temperatura del planeta ha aumentado aproximadamente **1.05°C**. Este incremento está teniendo efectos visibles en regiones del norte de España, como **Galicia**, donde el año 2023 fue calificado como “extremadamente cálido”. Esta situación ha provocado múltiples impactos negativos en el **ganado vacuno lechero**, siendo este especialmente vulnerable al estrés generado por las altas temperaturas, derivando en importantes pérdidas económicas en un sector que constituye uno de los pilares fundamentales de la economía gallega.

El presente estudio se realizó en 4 explotaciones de vacuno lechero situadas en el ayuntamiento de Castro de Rei, en Lugo. El principal propósito de este estudio ha sido demostrar la eficacia de la medición de los **metabolitos del cortisol fecal** como un biomarcador del estrés térmico en vacuno lechero en Galicia. Primeramente, se han calculado los Índices de Temperatura y Humedad (**THI**) con las mediciones de temperatura y humedad relativa en 4 meses de **invierno** (enero, febrero, marzo y abril), y 4 meses de **verano** (junio, julio, agosto y septiembre) de 2023, con el fin de conocer si las vacas están sometidas a **estrés por calor**. Asimismo, se han tomado muestras fecales de manera no invasiva en 4 etapas diferentes del **periodo de transición**: 1 mes antes del parto, 1 semana antes del parto, 1 semana post parto y 1 mes post parto, con el fin de analizar cómo el estrés por calor, derivado del aumento de la temperatura y la humedad relativa, puede intensificar el **estrés fisiológico** característico de esta etapa crítica en la vida de las vacas de producción. Además, se analiza cómo el manejo y diseño de las instalaciones puede generar estrés adicional en los animales. Los datos se analizaron mediante un **ANOVA de medidas repetidas de diseño mixto** (SPSS v28).

Este estudio permitió evidenciar los cambios que se producen en el eje endocrino de las vacas en el periodo de transición, más acusados en el periodo preparto, con la medición de los metabolitos del cortisol fecal, asociados a las condiciones de manejo. Asimismo, se demostró que los animales están sometidos a estrés por calor en los meses de verano, lo que produce una carga adicional al estrés en esta etapa fisiológica vulnerable.

Palabras clave: “Cambio climático”, “THI”, “Estrés por calor”, “Metabolitos del cortisol fecal”, “Periodo de transición”.

## Resumo

O mundo enfróntase actualmente a unha emerxencia climática. Dende a era preindustrial, a temperatura do planeta aumentou aproximadamente **1.05°C**. Este incremento está a ter efectos visibles en rexións do norte de España, como **Galicia**, onde o ano 2023 foi cualificado como “extremadamente cálido”. Esta situación provocou múltiples impactos negativos na **gandería de vacún leiteiro**. As vacas son especialmente vulnerables ao estrés causado polas altas temperaturas, derivando en importantes perdas económicas nun sector que constitúe un dos piares fundamentais da economía galega.

O presente estudo realizouse en 4 explotacións de vacún leiteiro situadas no concello de Castro de Rei, en Lugo. O principal propósito deste estudo foi demostrar a eficacia da medición dos **metabolitos do cortisol fecal** como un biomarcador de o estrés térmico en vacún leiteiro en Galicia. Primeiramente, calculáronse os Índices de Temperatura e Humidade (**THI**) coas medicións de temperatura e humidade relativa en 4 meses de **inverno** (xaneiro, febreiro, marzo e abril), e 4 meses de **verán** (xuño, xullo, agosto e setembro), do 2023, co fin de coñecer se as vacas están sometidas a **estrés pola calor**. Así mesmo, tomáronse mostras fecais de maneira non invasiva en 4 etapas diferentes do **período de transición**, 1 mes antes do parto, 1 semana antes do parto, 1 semana post parto e 1 mes post parto, co fin de analizar como o estrés pola calor, derivado do aumento da temperatura e a humidade relativa, pode intensificar o **estrés fisiolóxico** característico desta etapa crítica na vida das vacas de produción. Ademais, analízase cómo o manexo e deseño das instalacións pode xerar estrés adicional nos animais. Os datos analizáronse mediante un **ANOVA de medidas repetidas** de deseño mixto (SPSS v28).

Este estudo permitiu evidenciar os cambios que se producen no eixo endócrino das vacas no período de transición, máis acusados no período preparto, coa medición dos metabolitos do cortisol fecal, asociados ás condicións de manexo. Así mesmo, demostrouse que os animais están sometidos a estrés pola calor nos meses de verán, o que produce unha resposta adicional a o estrés nesta etapa fisiolóxica vulnerable.

Palabras chave: "**Cambio climático**", "**THI**", "**Estrés pola calor**", "**Metabolitos do cortisol fecal**", "**Periodo de transición**".

## Abstract

The world is currently facing a climate emergency. Since the pre-industrial era, the planet's temperature has increased by approximately **1.05°C**. This increase is having visible effects in regions of northern Spain, such as **Galicia**, where the year 2023 was classified as "**extremely hot**". This situation has had multiple negative impacts on **dairy cattle farming**, as cows are especially vulnerable to the stress generated by high temperatures, resulting in significant economic losses in a sector that constitutes one of the fundamental pillars of the Galician economy.

This study was conducted on four dairy farms located in the municipality of Castro de Rei, Lugo. The main purpose of this study was to demonstrate the effectiveness of measuring **faecal cortisol metabolites** as a non-invasive biomarker of heat stress in dairy cattle in Galicia. First, Temperature and Humidity Indices (**THI**) were calculated using temperature and relative humidity measurements during four **winter** months (January, February, March, and April) and four **summer** months (June, July, August, and September) of 2023, to determine whether cows were subjected to **heat stress**. Fecal samples were also taken noninvasively at four different stages of the **transition period**: one month before calving, one week before calving, one week postpartum, and one month postpartum. This study aimed to analyze how heat stress, derived from increased temperature and relative humidity, can intensify the **physiological stress** characteristic of this critical stage in the life of production cows. In addition, factors such as facility management and design were analyzed to determine how they could generate additional stress in the animals. Data were analyzed using a **mixed-design repeated-measures ANOVA** (SPSS v28).

This study demonstrated the changes that occur in the endocrine axis of cows during the transition period, which are most pronounced in the prepartum period, by measuring fecal cortisol metabolites associated with management conditions. It also demonstrated that animals are subjected to heat stress during the summer months, which produces an additional stress response at this vulnerable physiological stage.

Keywords: "**Climate Change**", "**THI**", "**Heat stress**", "**Faecal cortisol metabolites**", "**Transition period**".

# Índice

Resumen.....	2
1. Introducción y objetivos.....	7
1.1. El cambio climático.....	7
1.1.2. Impacto del cambio climático en Europa.....	9
1.2. ¿Cómo responde el ganado lechero al aumento de temperatura?.....	11
1.2.2. Respuesta endocrina al estrés térmico: el papel del cortisol.....	14
1.2.3. ¿Cómo medir el estrés térmico en los animales?.....	16
1.3. Importancia del periodo de transición en vacuno lechero.....	19
1.4. Objetivos:.....	20
2. Material y métodos.....	21
2.1. Situación climatológica en Galicia en la época de estudio.....	21
2.1.1. Temperaturas.....	21
2.1.2. Precipitaciones.....	22
2.2. Selección de las granjas.....	23
2.3. Recogida de muestras y análisis de los metabolitos del cortisol fecal.....	24
2.4. Recopilación de datos del clima.....	25
2.5. Análisis estadístico.....	26
3. Resultados.....	27
3.1. Resultado 1: relación entre el THI con la estación y con la etapa fisiológica en cada granja.....	27
3.2. Resultado 2: relación entre la concentración de metabolitos del cortisol fecal medidos en las diferentes granjas, en las 4 etapas fisiológicas, en invierno y verano.....	30
4. Discusión y conclusiones.....	37
4.1. Discusión.....	37
4.2. Conclusiones.....	42
5. Bibliografía.....	43
Financiación.....	49

## Abreviaturas

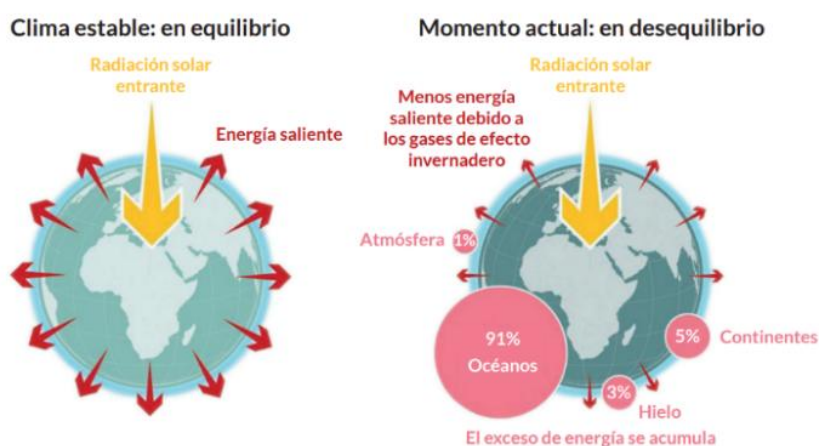
- **ACTH:** hormona adrenocorticotropa.
- **AEMET:** Agencia Estatal de Meteorología.
- **CAPRI:** Impacto Regionalizado de la Política Agrícola Común (Common Agricultural Policy Regionalised Impact).
- **CH<sub>4</sub>:** metano.
- **CLIGAL:** Informe del Cambio Climático de Galicia.
- **CMNUCC:** Convección Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
- **CO<sub>2</sub>:** dióxido de carbono.
- **CRH:** hormona liberadora de corticotropina.
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero.
- **HHA:** eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal.
- **HR:** humedad relativa.
- **INV:** invierno.
- **IPCC:** Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change).
- **LCT:** Temperatura Crítica Inferior (Low Critical Temperature).
- **MAP:** mes antes del parto.
- **MCF:** metabolitos del cortisol fecal.
- **MPP:** mes post parto.
- **NASA:** Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (National Aeronautics and Space Administration).
- **NEFA:** ácidos grasos no esterificados.
- **N<sub>2</sub>O:** óxido nitroso.
- **SAP:** semana antes del parto.
- **S.f.:** sin fecha.
- **SPP:** semana post parto.
- **THI:** Índice de Temperatura y Humedad (Temperature Humidity Index).
- **UCT:** Temperatura Crítica Superior (Upper Critical Temperature)
- **VER:** verano.

# 1. Introducción y objetivos

## 1.1. El cambio climático

El cambio climático se refiere a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Aunque dichos cambios pueden producirse de forma natural, por el aumento de la radiación solar o por erupciones volcánicas de gran calibre, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), mediante la medición sistemática de los gases de efecto invernadero (GEI), y con el respaldo de organismos como la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), ha demostrado de forma concluyente la existencia de un cambio climático de origen antropogénico, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas (IPCC, 2014; Naciones Unidas, s.f.).

El principal impulsor de este fenómeno es el efecto invernadero, el cual describe como algunos gases presentes en la atmósfera terrestre actúan de forma similar al cristal de un invernadero: retienen el calor del sol e impiden que escape al espacio, provocando así el calentamiento global (**Figura 1**) (MITECO, 2021).

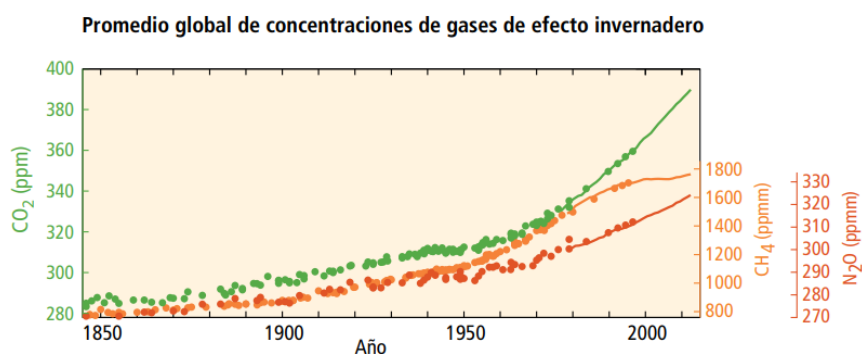


**Figura 1.** Representación del efecto de los gases efecto invernadero. **Fuente:** ‘Cambio Climático: Bases físicas. (Guía Resumida del Sexto Informe de Evaluación del IPCC, Grupo I)’, por Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico, 2021.

Los primeros estudios sobre este fenómeno se remontan al siglo XIX. En publicaciones realizadas en 1824 y 1827, el científico francés Joseph Fourier investigó diversas fuentes posibles del calor adicional observado en la Tierra. Lo más relevante fue su sugerencia de que la atmósfera terrestre actúa como un aislante térmico, atrapando el calor solar. Esta idea es reconocida como la primera descripción formal del efecto invernadero. Casi tres décadas después, Eunice Newton Foote (1819–1888) también exploró esta idea. Foote demostró que ciertos gases, como el dióxido de carbono, podían retener calor en un cilindro expuesto al sol, sentando así las bases para entender

cómo algunos componentes atmosféricos contribuyen al calentamiento. Poco tiempo después, en 1859, el físico irlandés John Tyndall (1820–1893) descubrió que gases como el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el vapor de agua absorben eficazmente la radiación infrarroja, mientras que gases como el oxígeno y el nitrógeno no lo hacen. Este hallazgo fue fundamental, ya que permitió comprender por qué algunos gases contribuyen al calentamiento de la atmósfera y otros no (Jackson, 2020).

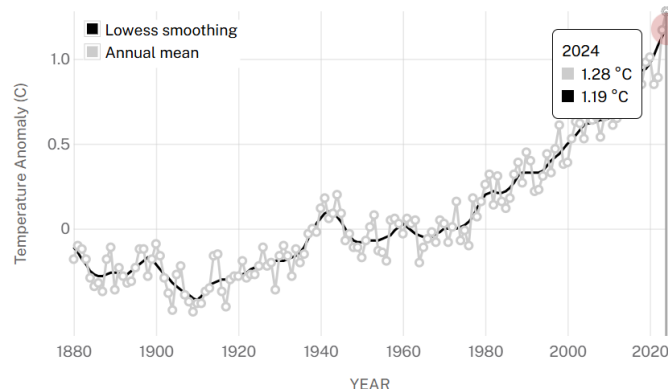
En solo 150 años, el nivel de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en la atmósfera ha pasado de 280 partes por millón en la era preindustrial a 420 partes por millón en la actualidad, lo que significa que las concentraciones de  $\text{CO}_2$  han aumentado un 47 %, mientras que las de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ) lo han hecho en un 156 % y un 23 %, respectivamente (IPCC, 2021). En la **Figura 2** puede observarse el aumento desde la era preindustrial hasta la actualidad de las concentraciones de dióxido de carbono, metano y óxido nítrico.



**Figura 2.** Promedio global de concentraciones de gases efecto invernadero. **Fuente:** ‘Cambio Climático. Informe de síntesis: Guía resumida del 5º informe de evaluación del IPCC’, por Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, 2016.

En cuanto al aumento de las temperaturas, se estima que las actividades humanas han causado un calentamiento global de aproximadamente  $1,05\text{ }^\circ\text{C}$  con respecto a los niveles preindustriales, con un rango probable de  $0,8\text{ }^\circ\text{C}$  a  $1,2\text{ }^\circ\text{C}$ , según predicciones realizadas en 2019 (IPCC, 2019).

En la **Figura 3** se muestra el cambio en la temperatura superficial global en comparación con el promedio a largo plazo de 1951 a 1980. La temperatura superficial promedio de la Tierra en 2024 fue la más cálida registrada desde que se comenzó a llevar un registro en 1880 (NASA, s.f.).



**Figura 3.** Índice global de temperatura terrestre-oceánica. **Fuente:** ‘Global Temperature’, National Aeronautics and Space Administration (NASA), s.f. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>

### 1.1.2. Impacto del cambio climático en Europa.

Europa es un punto crítico climático donde el calentamiento ha sido casi el doble que el global, con un aumento de 2,2 °C (Romanello *et al.*, 2021). En particular, el verano de 2022 fue el más cálido registrado, con olas de calor, sequías e incendios extremos (Rodrigues do Nascimento, 2023), lo que impulsó la adopción de nuevas estrategias nacionales y locales de prevención de calor. Se estima que los países del EU-28, incluido el Reino Unido, producirán cerca del 30 % de las emisiones agrícolas de GEI provenientes de vacas lecheras para 2025, según el modelo *Impacto Regionalizado de la Política Agrícola Común (Common Agricultural Policy Regionalised Impact, CAPRI)*. Por ello, es clave conocer tanto los efectos de mitigación como el impacto del cambio climático en la ganadería (Chang *et al.*, 2021).

El cambio climático ya afecta la salud en Europa, donde la mortalidad por calor ha aumentado un 33 % y se proyectan efectos severos e irreversibles si no se actúa, incluyendo fenómenos extremos, mayor transmisión de enfermedades y riesgos para la seguridad alimentaria y del agua (Romanello *et al.*, 2021).

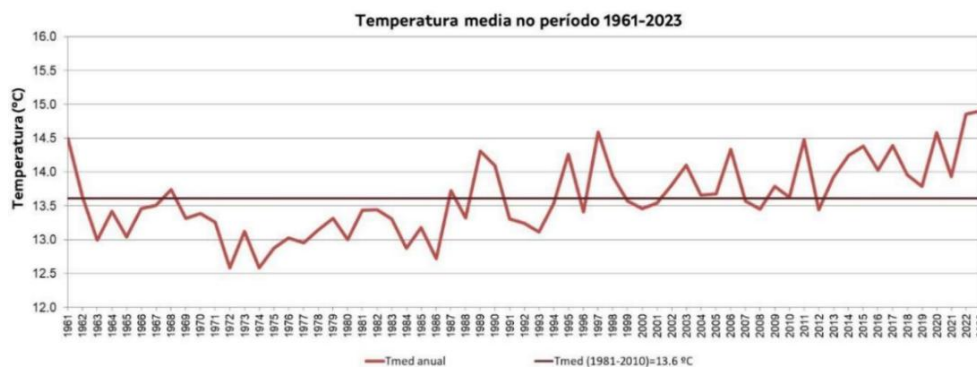
#### 1.1.2.1. Impacto en España.

España está situada en una región que, según los recientes informes del IPCC, presenta evidencias claras de impactos del cambio climático, la región mediterránea. En ella se prevé un aumento de las temperaturas extremas, disminución de precipitación y de la cobertura de nieve, y un incremento de la aridez y de incendios forestales (Rodríguez y Gutiérrez, 2017). El verano de 2023 en España fue el tercero más cálido desde que se tienen registros, con una temperatura media 1.3°C superior al promedio normal, registrándose hasta cuatro olas de calor en la península e Islas Baleares y dos en las Islas Canarias. (AEMET, 2022).

En nuestro país, las evidencias de los impactos del cambio climático se pueden encontrar en prácticamente todos los sectores. Los recursos hídricos muestran ya una reducción de caudales fluviales y se prevé una intensificación de las sequías, lo que comprometerá la cantidad y calidad del agua disponible. En cuanto a los suelos, el aumento de la aridez y de fenómenos extremos incrementará la erosión y reducirá la materia orgánica, afectando negativamente su fertilidad y funcionalidad. La agricultura y la ganadería sufren impactos directos, como las sequías, y efectos indirectos como la menor disponibilidad de agua y el aumento de plagas. Esto compromete la productividad y calidad de los cultivos, y aumenta la vulnerabilidad del sector rural. Las costas, por su parte, enfrentan un aumento del nivel del mar, erosión e inundaciones, agravadas por la presión urbana y la falta de adaptación, poniendo en riesgo ecosistemas costeros, infraestructuras y comunidades humanas (Sanz y Galán, 2021).

### 1.1.2.2. Impacto en Galicia

Según la Agencia Meteorológica Europea, en Galicia, ubicada en el noroeste de Europa, el cambio climático provoca un aumento de las precipitaciones en la zona noroccidental en invierno, aumentando el caudal de los ríos y, por lo tanto, el riesgo de inundaciones costeras. Sin embargo, en la zona sureste de la comunidad, los riesgos más significativos son el descenso de las precipitaciones, con un menor rendimiento de los cultivos y mayor riesgo de incendios forestales. Las conclusiones contenidas en el informe CLIGAL (Informe de Cambio Climático) mostraban un aumento de la temperatura en Galicia de 0,18°C/década para el periodo 1961-2006. Este aumento no tuvo un comportamiento homogéneo, sino que fue más pronunciado a partir de 1972, alcanzando un valor de 0,36°C/década (Xunta de Galicia, 2016). En 2023, Galicia experimentó su año más cálido y húmedo de los últimos sesenta años. La temperatura media fue de 14,9 °C, considerada extremadamente alta (**Figura 4**) (MeteoGalicia, 2023). El invierno de 2023-2024 también fue notablemente cálido, con una temperatura media de 10 °C, lo que lo convierte en el cuarto invierno más cálido registrado desde 1961 (MeteoGalicia, 2024).



**Figura 4.** Evaluación de la temperatura media anual a lo largo del periodo 1961-2023. **Fuente:** ‘Informe Climatológico Año 2023’, por MeteoGalicia, 2023.

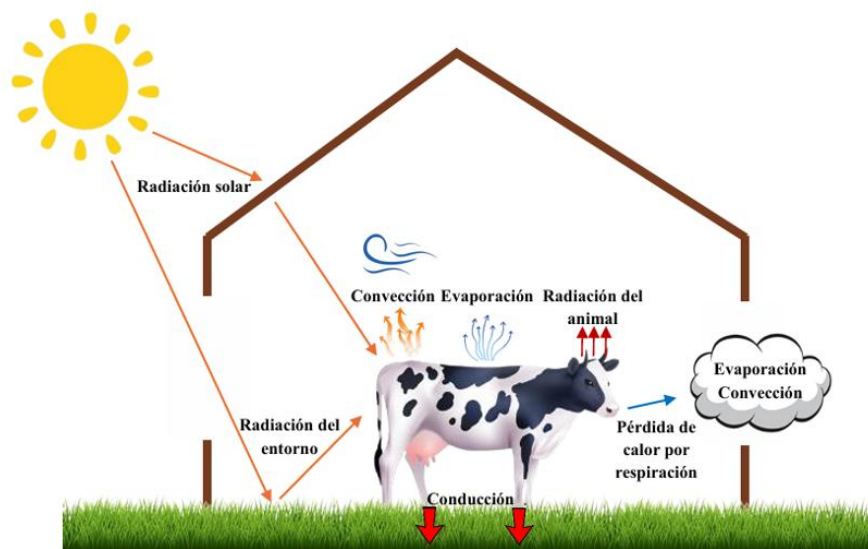
## 1.2. ¿Cómo responde el ganado lechero al aumento de temperatura?

El ganado lechero se ha identificado como susceptible a temperaturas y humedades elevadas debido a su alta carga metabólica de calor. En concreto, las vacas lecheras en lactancia disipan una gran cantidad de calor en los procesos metabólicos asociados con la producción de leche (Ekine-Dzivenu *et al.*, 2020).

El estrés por calor se define como un entorno ambiental que altera el equilibrio entre la acumulación de calor y la capacidad de un animal para disiparlo. Las vacas lecheras son animales homeotermos y necesitan mantener una temperatura corporal constante de alrededor de  $38,8^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Los factores ambientales que afectan directa o indirectamente en el bienestar del ganado debido al estrés por calor incluyen la temperatura ambiente, la humedad relativa y la radiación solar, siendo más significativo cuando este aumento se produce de forma sostenida en el tiempo (Cartwright *et al.*, 2023). La zona de confort o zona termoneutral para una vaca lechera varía ampliamente, desde aproximadamente  $-15^{\circ}\text{C}$  hasta  $+25^{\circ}\text{C}$ . Las temperaturas inferiores a  $-15^{\circ}\text{C}$  se le denomina Temperatura Crítica Inferior (Lower Critical Temperature (LCT)) y superiores a  $25^{\circ}\text{C}$ , Temperatura Crítica Superior (Upper Critical Temperature (UCT)) (Ohnstad, 2012).

La respuesta al estrés por calor en el ganado se puede observar a través de varios signos o mecanismos fisiológicos como un medio para tratar de mantener la homeostasis interna. Estos mecanismos requieren un aumento y una desviación de la energía hacia la protección celular, disminuyendo el aporte energético de otros procesos biológicos importantes (Cartwright *et al.*, 2023). En los homeotermos, la respuesta termorreguladora inicial es mantener y restaurar la temperatura corporal central, permitiendo que el calor se disipe del cuerpo a través del intercambio de calor térmico (**Figura 5**). Inicialmente, se produce un incremento de la frecuencia cardíaca, aumentando el flujo sanguíneo en la superficie corporal, provocando que este se desvíe del tracto digestivo, afectando a la absorción de nutrientes. Además, se inician mecanismos de intercambio de calor insensible o evaporación, que incluyen un aumento de la frecuencia respiratoria y la sudoración. Estos mecanismos permiten eliminar el calor del cuerpo al aumentar la humedad que se evapora de estas superficies al medio ambiente. A su vez, el ganado lechero aumentará su consumo de agua para contrarrestar su pérdida a través de esos mecanismos de

evaporación para evitar la deshidratación. Además, existen mecanismos de intercambio de calor sensibles: la conducción, la radiación y la convección (Tait, 2015; Idris *et al.*, 2021)



**Figura 5.** Representación de mecanismos de disipación del calor en vacas. **Modificado de:** ‘Heat Stress in Cattle’, por Valadez y de la Lama, 2023, *Animal Behaviour and Welfare Cases*.

La cuantificación del estrés térmico a menudo no toma en cuenta la humedad relativa (HR). A medida que la humedad relativa aumenta, la temperatura en la que una vaca lechera presenta signos de estrés térmico disminuye (Ohnstad, 2012). Es por esto por lo que se desarrolló el **Índice de Temperatura y Humedad (THI)**, una medida utilizada para evaluar el nivel de estrés por calor en el ganado lechero. Este índice combina la temperatura ambiental y la humedad relativa para determinar en qué punto el calor y la humedad comienza a afectar negativamente a los animales (Sánchez *et al.*, 2009). Se calcula utilizando la fórmula originalmente propuesta por Thom (1959) y adaptada posteriormente por Mader *et al.* (2006).

$$THI = 0,81 \times T^a + HR \div 100 \times (T^a - 14,4) + 46,4$$

En la **tabla 1** se muestran los índices de temperatura y humedad clasificados según el nivel de estrés térmico que causan en el ganado.

**Tabla 1.** Índices de temperatura y humedad clasificados según nivel de estrés térmico.

		Índice de Temperatura y Humedad (THI)								
		Humedad Relativa (HR%)								
Temperatura (°C)		20	30	40	50	60	70	80	90	100
	22	66	66	67	68	69	69	70	71	72
	24	68	69	70	70	71	72	73	74	75
	26	70	71	72	73	74	75	77	78	79
	28	72	73	74	76	77	78	80	81	82
	30	74	75	77	78	80	81	83	84	86
	32	76	77	79	81	83	84	86	88	90
	34	78	80	82	84	85	87	89	91	93
	36	80	82	84	86	88	90	93	95	97
	38	82	84	86	89	91	93	96	98	100
	40	84	86	89	91	94	96	99	101	104

Sin estrés por calor
Estrés por calor moderado
Estrés por calor severo
Muerte

**Modificado de:** ‘Managing heat stress in dairy cows’, por Ohnstad, 2012. *NADIS – National Animal Disease Information Service*.

Cuando la temperatura ambiente y los niveles de humedad relativa aumentan más allá del nivel en el que el ganado puede continuar disipando el calor de manera efectiva, la temperatura central del animal supera el rango fisiológico, lo que se denomina hipertermia. Los últimos estudios han establecido que el umbral de THI en el que comienza a observarse efectos de estrés por calor en los animales, como la disminución en la producción de leche, es de aproximadamente **72**. Sin embargo, este umbral no es universal, ya que puede variar en función de factores como la ubicación geográfica o el nivel de producción del ganado y las condiciones en las que se encuentre, ya que la capacidad de las vacas para disipar calor depende tanto de la temperatura como de la humedad ambiental: en ambientes húmedos, el enfriamiento por evaporación (sudoración, jadeo) es menos eficiente, lo que agrava el estrés térmico incluso a temperaturas más bajas (Ekine-Dzivenu *et al.*, 2020). Adicionalmente, se ha demostrado que la selección para una mayor producción de leche aumenta la susceptibilidad del ganado lechero al estrés por calor, lo que probablemente sea un resultado de la carga de calor metabólico de la producción de leche. Esto es especialmente un problema en la raza Holstein, ya que se ha informado que por cada 10 kg/día de aumento en la producción de leche, el umbral de estrés térmico disminuirá en 5°C. Por lo tanto, es obvio que el estrés térmico tiene un efecto negativo extremo en la producción de leche, que es aún más pronunciado en animales de mayor rendimiento (Berman, 2005; Baumgard y Rhoads, 2013).

Un factor clave en la disminución de la producción láctea durante el estrés térmico es la reducción de la ingesta de materia seca, una respuesta adaptativa del animal para limitar la producción de calor metabólico. Esta restricción energética impide cubrir los requerimientos necesarios para mantener niveles normales de producción. Según Tao *et al.*, (2018), el estrés térmico durante la

lactancia puede reducir la producción de leche entre un 25 % y un 40 %, y aproximadamente la mitad de esta disminución se debe a la menor ingesta de alimento. Adicionalmente, cabe destacar que, en condiciones normales de balance energético negativo, común al inicio de la lactación, las vacas movilizan lípidos desde el tejido adiposo, elevando los niveles sanguíneos de NEFA (ácidos grasos no esterificados). Sin embargo, bajo estrés térmico esta respuesta se ve alterada: los niveles de NEFA y la lipólisis disminuyen, a pesar del balance energético negativo, lo que indica que se prioriza el almacenamiento de las grasas, posiblemente mediado por niveles elevados de insulina. Paralelamente, la glucosa, que normalmente se destina a la glándula mamaria para la síntesis de lactosa, es utilizada por otros tejidos durante el estrés por calor como sustrato energético, lo que compromete la producción de lactosa y, en consecuencia, la producción de leche (Baumgard y Rhoads, 2013). Además, para satisfacer esa mayor demanda de glucosa, la vaca sometida a estrés por calor cataboliza, o descompone, el tejido muscular, produciéndose una disminución de la condición corporal provocada por la reducción de masa muscular, no de reservas de grasa como les ocurre a las vacas sometidas a balance energético negativo en entornos termoneutrales (Tomlinson, s.f.).

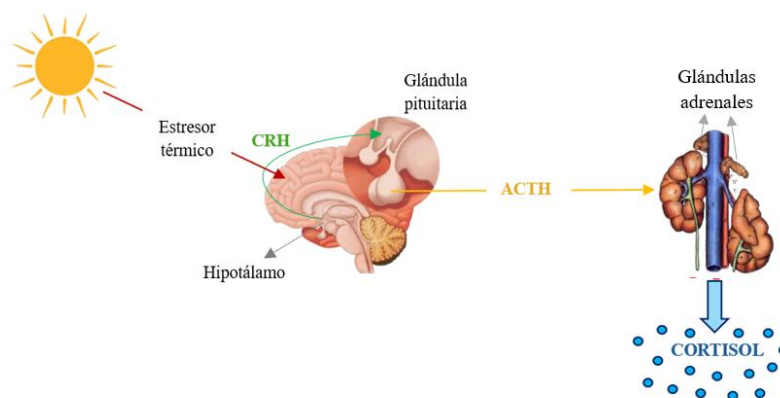
Asimismo, el estrés por calor se considera uno de los principales factores que afectan el rendimiento reproductivo del ganado lechero en todas sus etapas. Con un aumento del THI por encima de 72, se dificulta la detección del estro al reducir sus signos visibles y altera la producción hormonal, lo que afecta la maduración folicular y la ovulación (De Rensis y Scaramuzzi, 2003). También disminuye la tasa de concepción debido a una menor calidad de los ovocitos y un ambiente uterino desfavorable. Durante la gestación, aumenta la mortalidad embrionaria y afecta el desarrollo fetal, resultando en terneros con menor peso al nacer. Los terneros nacidos bajo estas condiciones presentan menor crecimiento, alteraciones metabólicas y menor rendimiento reproductivo (Dash *et al.*, 2016).

---

### 1.2.2. Respuesta endocrina al estrés térmico: el papel del cortisol.

El cortisol, conocido comúnmente como la "hormona del estrés", desempeña un papel importante en cómo el cuerpo responde al estrés térmico. La activación del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA) y el consiguiente aumento de las concentraciones plasmáticas de glucocorticoides son dos de las respuestas más importantes de los animales al estrés (**Figura 6**) (Aggarwal y Upadhyay, 2013). Como mecanismo fisiológico, el estrés *per se* no es inherentemente malo. Por ejemplo, los glucocorticoides, como el cortisol, se liberan en respuesta a situaciones que normalmente no se consideran estresantes, incluyendo el cortejo, la cópula y la caza. Durante el estrés a corto plazo, el cortisol mejora la aptitud física por movilización de energía, por ejemplo, en situaciones de peligro y huida, sin embargo, el estrés crónico severo (períodos prolongados de altas

concentraciones de cortisol) puede afectar negativamente a diversos sistemas fisiológicos de los animales (Möstl y Palme, 2002).



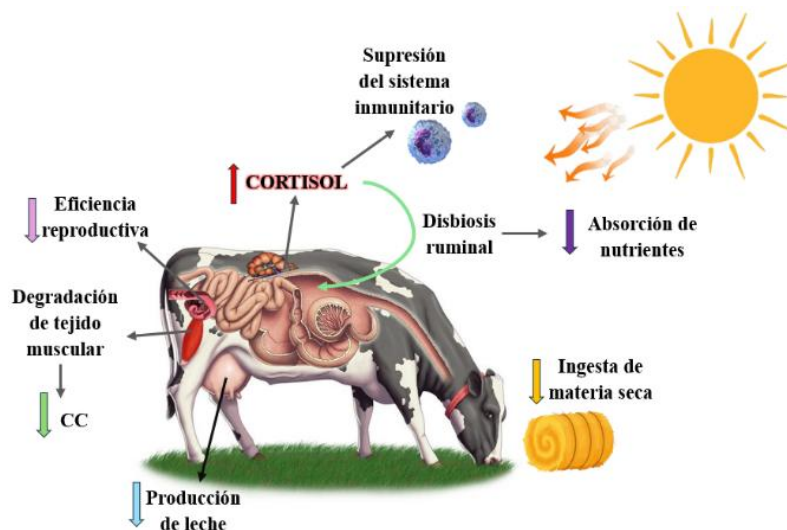
**Figura 6.** Síntesis de cortisol generado por estrés térmico. CRH: hormona liberadora de corticotropina; ACTH: hormona hormona adrenocorticotropa. **Modificado de:** ¿Qué es el cortisol?, por Grupo Health Care, 2022. <https://ghc.com.mx/index.php/2022/12/22/que-es-el-cortisol/>

El incremento de cortisol puede influir significativamente en el equilibrio de la microbiota ruminal de las vacas lecheras, ya que favorece el crecimiento de bacterias nocivas como *Streptococcus* y *Escherichia coli*, al tiempo que reduce las bacterias beneficiosas como *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Estas alteraciones suceden sobre todo cuando el animal se enfrenta a eventos de estrés crónico. Esta disbiosis puede afectar a la salud general de las vacas al provocar alteraciones en los procesos de fermentación y consecuentemente una utilización subóptima de los nutrientes, así como un aumento de enfermedades metabólicas. Los efectos secundarios que produce el aumento de cortisol en la microbiota ruminal pueden persistir mucho después de que los niveles de hormonas del estrés hayan vuelto a la normalidad (Somarriba, 2020).

La elevación de los niveles de cortisol también afecta al sistema inmunitario, uno de los mecanismos desarrollados para defenderse de los desafíos ambientales. La producción de cortisol durante periodos de estrés agudo actúa como un estímulo para el sistema inmunitario, sin embargo, durante el estrés crónico, la secreción de cortisol se ha asociado con la inmunosupresión. El estrés térmico provoca un desequilibrio entre la producción de citoquinas Th1, responsables de la inmunidad celular, y Th2, las cuales tienen función antiinflamatoria. La capacidad de los animales para producir selectivamente citoquinas Th1 (IFN- $\gamma$  e IL-12) y citoquinas Th2 (IL-10, IL-4, IL-13) es un componente importante en la regulación del equilibrio de citoquinas Th1:Th2. La hipertermia se asocia con una disminución de las citoquinas Th1 y un aumento de las citoquinas Th2, suprimiendo así la inmunidad mediada por células, por lo tanto, los animales son más susceptibles a enfermedades cuando sufren episodios de estrés térmico, por lo que mantener el

equilibrio Th1:Th2 podría ser crucial para minimizar el impacto de los desafíos inmunológicos en las épocas de más calor (Bagath *et al.*, 2019).

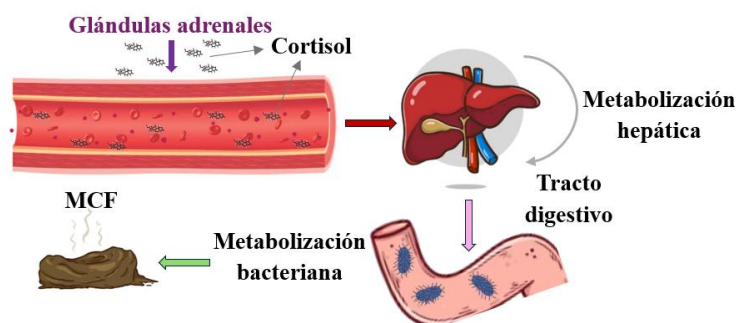
En la **figura 7**, se detallan todos los sistemas fisiológicos del animal que se ven alterados por el estrés por calor y por el aumento del cortisol secundario a este descritos anteriormente.



**Figura 7.** Impacto del estrés térmico en los sistemas fisiológicos en la vaca lechera. **Modificado de:** ‘Heat stress: A serious disruptor of the reproductive physiology of dairy cows’, p 1846, por Dovolou *et al.*, 2023, *Animals*, 13(11).

### 1.2.3. ¿Cómo medir el estrés térmico en los animales?

Los cambios endocrinos pueden ser utilizados para medir el estrés térmico en los animales, en particular, la medición de glucocorticoides, como el cortisol y sus metabolitos (Heimbürge *et al.*, 2019). El cortisol se metaboliza principalmente en el hígado, donde es transformado a compuestos más solubles para facilitar su excreción. Algunos de esos compuestos son excretados en la bilis hacia el intestino delgado, donde se someten a la acción de la microbiota intestinal y finalmente, los metabolitos del cortisol resultantes son expulsados por las heces (**Figura 8**) (Möstl *et al.*, 2005).



**Figura 8.** Metabolización hepática y microbiana del cortisol. MCF: metabolitos del cortisol fecal. **Modificado de:** ‘Hormones as indicators of stress’, pp 67-74, por Möstl, y Palme, (2002), *Domestic Animal Endocrinology*, 23(1–2).

Los metabolitos del cortisol fecal (MCF) se han consolidado como un indicador no invasivo y confiable para evaluar el estrés fisiológico en vacas lecheras, incluso durante periodos de estrés por calor. Estos metabolitos reflejan con precisión los niveles de cortisol a medio plazo, permitiendo identificar estados de mayor carga fisiológica inducidos por distintos factores estresantes, incluida la exposición a altas temperaturas (Ebinghaus *et al.*, 2020).

A diferencia del análisis de cortisol en sangre, el cual requiere la manipulación directa del animal pudiendo provocar estrés adicional, el uso de muestras fecales permite una estimación más fiable de los niveles de cortisol, ya que se ven menos afectados por fluctuaciones puntuales o la actividad pulsátil de la hormona. Por lo tanto, la detección de metabolitos de cortisol fecal refleja una activación más estable del eje HHA en respuesta a condiciones adversas (Palme, 2012; Idris *et al.*, 2024). La relevancia biológica de este método no invasivo se ha demostrado en rumiantes, en un estudio realizado por Palme *et al.* (1999), donde tras la estimulación mediante ACTH se determinaron las concentraciones de cortisol en sangre y metabolitos de cortisol en heces. Las concentraciones de MCF fueron paralelas a las de cortisol en sangre con un retraso de aproximadamente 10 horas, estrechamente relacionado con el tiempo de tránsito intestinal. Por lo tanto, las concentraciones fecales de metabolitos de cortisol reflejan la cantidad total excretada y, por lo tanto, producen mejores estimaciones de la hormona que una sola concentración sanguínea, que cambia rápidamente, concluyéndose que la medición de MCF es una herramienta no invasiva útil para medir la función adrenocortical en rumiantes (Möstl y Palme, 2002; Vogt *et al.*, 2023).

Es importante considerar a la hora de interpretar los resultados de MCF que factores como el manejo en la explotación, el tipo de interacción humano-animal, condiciones de alojamiento, camas, limpieza o alimentación pueden influir directamente en los niveles de cortisol. En este sentido, también es importante tener en cuenta en qué etapa fisiológica se encuentra el animal, ya que, por ejemplo, el parto en las vacas se desencadena y va acompañado por una activación del eje HHA. Una mayor calidad en las interacciones y un ambiente confortable pueden contribuir significativamente a reducir el estrés en los animales, reflejándose en menores concentraciones de MCF y, por lo tanto, resultados más fiables (Palme, 2012; Ebinghaus *et al.*, 2020).

El cortisol y sus metabolitos, además de en sangre y en heces, pueden medirse en otras muestras biológicas, como salvia, pelo, orina y leche. Las ventajas y desventajas de cada procedimiento quedan reflejadas en la **Tabla 2**.

**Tabla 2.** Ventajas y desventajas de las diferentes muestras biológicas en las que se puede medir el cortisol y sus metabolitos.

<b>Muestra biológica</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<b><i>Heces</i></b> (Palme, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-No invasiva.</li> <li>-Refleja la actividad del eje HHA de forma más estable y prolongada.</li> <li>-Científicamente validada para detectar incrementos de concentración de cortisol (con desfase de 10-12h).</li> <li>-Menor influencia de fluctuaciones momentáneas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Influida por factores como manejo, interacción humano-animal, condiciones de alojamiento, limpieza y alimentación.</li> <li>-Interpretación puede ser compleja si no se controla el ambiente.</li> </ul>
<b><i>Sangre</i></b> (Palme, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alta precisión y reflejo inmediato del nivel de cortisol en el momento del muestreo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requiere manipulación directa del animal.</li> <li>-Puede inducir respuestas de estrés adicionales que alteran los resultados.</li> <li>-Afectada por actividad pulsátil de la hormona en sangre.</li> </ul>
<b><i>Saliva</i></b> (Heimbürge <i>et al.</i> , 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mínimamente invasiva.</li> <li>-Fácil y rápida recolección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-La muestra puede alterarse con alimento o agua.</li> <li>-Aumento de salivación puede alterar resultados.</li> </ul>
<b><i>Pelo</i></b> (Heimbürge <i>et al.</i> , 2019)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Facilidad en la toma de muestra.</li> <li>-Refleja niveles acumulativos de cortisol a largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Influido por factores como edad, sexo, gestación, estación del año, región corporal y color del pelo (mayor concentración de metabolitos de cortisol en pelo blanco).</li> <li>- No útil para detectar cambios agudos.</li> </ul>
<b><i>Leche</i></b> (Palme, 2012)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mínimamente invasiva.</li> <li>-Fácil de obtener durante la lactancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Solo útil durante la producción de leche.</li> </ul>
<b><i>Orina</i></b> (Möstl y Palme, 2002)	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Reflejo casi inmediato del nivel de metabolitos del cortisol en el momento del muestreo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Requiere manipulación directa del animal.</li> <li>-Puede inducir respuestas de estrés adicionales que alteran los resultados.</li> </ul>

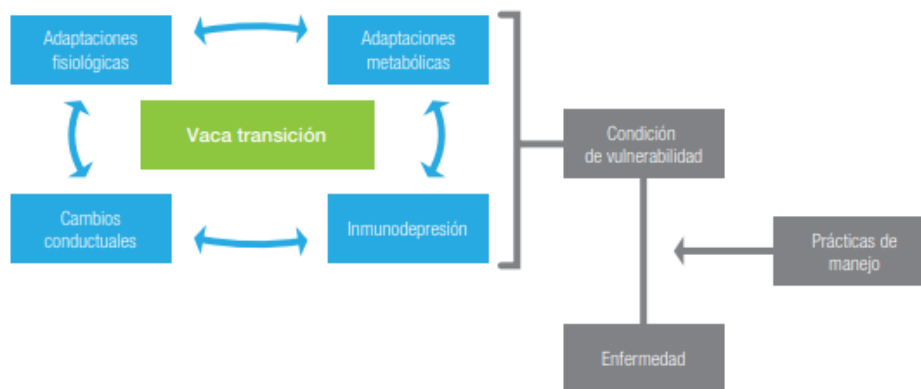
### 1.3. Importancia del periodo de transición en vacuno lechero

El período de transición en vacas lecheras (**Figura 9**), definido como el intervalo comprendido entre las 3 semanas antes del parto y las 3 semanas posteriores, representa la fase de mayores transformaciones fisiológicas y metabólicas en la vida productiva del animal (Abuelo *et al.*, 2019).



**Figura 9.** Etapas del ciclo productivo de una vaca lechera. **Fuente:** ‘Período de transición: Importancia en la salud y bienestar de vacas lecheras’, por Sepúlveda Varas y Wittwer Menge, 2017, Universidad Austral de Chile.

Durante este tiempo, las vacas enfrentan un intenso estrés nutricional y metabólico, consecuencia de las adaptaciones requeridas para el desarrollo fetal, el parto, la síntesis de calostro y el inicio de la lactancia, a lo que se suman factores de manejo y ambientales que actúan como estresores adicionales (**Figura 10**). Esta etapa es determinante para la salud y el bienestar del ganado lechero, ya que el manejo aplicado durante la transición incide directamente en el desempeño productivo y reproductivo durante la lactancia subsiguiente (Sepúlveda y Wittwer Menge 2017). La inmunosupresión característica del periodo seco (cuando no hay producción de leche) adquiere especial relevancia en este contexto, dado que el sistema inmunitario se encuentra comprometido en un escenario de elevadas demandas metabólicas asociadas al inicio de la producción láctea. Asimismo, el balance energético negativo típico de esta fase afecta negativamente la salud, la eficiencia reproductiva y el rendimiento productivo de las vacas. Estos factores contribuyen al incremento de los descartes en los primeros 60 días de lactancia, ya que se ha estimado que aproximadamente el 25% de las vacas descartadas lo son durante los dos primeros meses de producción láctea (Godden *et al.*, 2003).



**Figura 10.** Efecto de los cambios fisiológicos, metabólicos, inmunes y conductuales durante el periodo de transición de la vaca lechera. **Fuente:** ‘Período de transición: Importancia en la salud y bienestar de vacas lecheras’, por Sepúlveda Varas y Wittwer Menge, 2017, Universidad Austral de Chile.

## 1.4. Objetivos:

### 1.4.1. Objetivo general:

El principal propósito de este proyecto es determinar si las vacas lecheras en Galicia experimentan estrés térmico y demostrar que, mediante la medición de los metabolitos de cortisol fecal, es posible cuantificar dicho estrés, asociado al aumento de cortisol fisiológico de las vacas lecheras en el periodo de transición, a las condiciones de manejo y al diseño de las explotaciones.

### 1.4.2. Objetivos específicos:

1. Determinar los metabolitos del cortisol fecal como biomarcador de variaciones en el eje endocrino de las vacas lecheras en periodo de transición sometidas a estrés térmico.
2. Medir y cuantificar el THI para poder determinar la presencia o ausencia de estrés térmico durante el periodo de transición.
3. Evaluar las condiciones de las instalaciones y el manejo para identificar su impacto en el estrés y bienestar de las vacas lecheras.

## 2. Material y métodos

### 2.1. Situación climatológica en Galicia en la época de estudio

Con el fin de contextualizar adecuadamente los resultados obtenidos en el presente trabajo, resulta fundamental analizar las condiciones meteorológicas registradas en Galicia durante los meses en los que se ha desarrollado el estudio: enero, febrero, marzo, abril, junio, julio, agosto y septiembre de 2023. Todos los datos fueron recopilados de la página web MeteoGalicia (2023).

#### 2.1.1. Temperaturas

A continuación, se describen los datos relativos a las temperaturas registradas en los meses del estudio. En el siguiente análisis se utilizarán los criterios de la **Tabla 3** para asignar una categoría a los diferentes meses según la temperatura registrada.

**Tabla 3.** Categorización en función de los percentiles de la temperatura según los valores medios de los años 1981-2010.

Temperaturas	
Categoría	Percentil
Extremadamente frío	$T < \text{mínimo en 1981-2010}$
Muy frío	$\text{mínimo en 1981-2010} \leq T < 20\%$
Frío	$20\% \leq T < 40\%$
Normal	$40\% \leq T \leq 60\%$
Cálido	$60\% < T \leq 80\%$
Muy cálido	$80\% < T \leq \text{máximo en 1981-2010}$
Extremadamente cálido	$T > \text{máximo en 1981-2010}$

**Modificado de:** MeteoGalicia (2023), [https://meteo-estaticos.xunta.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estaciones/anuais/2023\\_gl.pdf](https://meteo-estaticos.xunta.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estaciones/anuais/2023_gl.pdf)

Durante 2023, los meses de enero y febrero presentaron temperaturas medias normales para la época, con anomalías mínimas (+0,1 °C y -0,1 °C, respectivamente). En marzo, las condiciones anticiclónicas provocaron temperaturas elevadas, resultando en una anomalía de +1,2 °C. Abril fue más cálido de lo habitual, con una temperatura media de 14,2 °C, muy superior al promedio histórico. El verano inició con un mes de junio especialmente caluroso, con una anomalía media de +2,1 °C, y máximas y mínimas también por encima del promedio. Julio se mantuvo dentro de los valores normales, con una ligera anomalía de +0,2 °C. Agosto fue muy cálido, marcado por situaciones anticiclónicas y aire cálido, con una temperatura media de 21,5 °C y anomalías significativas en máximas y mínimas. Finalmente, septiembre también fue muy cálido, con una

anomalía media de +1,3 °C, especialmente notable en las temperaturas mínimas, ya que apenas se registraron noches frías.

En la **Tabla 4** se presenta la categoría asignada a cada mes teniendo en cuenta temperaturas mínimas, medias y máximas de acuerdo con los criterios de la tabla 3.

**Tabla 4.** Calificación mensual en función de las temperaturas mínimas, medias y máximas con respecto al periodo de referencia 1981-2010.

Categorización mensual según las anomalías del año 2023			
MES	Tª MÍNIMA	Tª MEDIA	Tª MÁXIMA
ENERO	Normal	Normal	Normal
FEBRERO	Muy frío	Normal	Muy cálido
MARZO	Muy cálido	Muy cálido	Cálido
ABRIL	Muy cálido	Muy cálido	Muy cálido
JUNIO	Extremadamente cálido	Muy cálido	Muy cálido
JULIO	Normal	Normal	Normal
AGOSTO	Muy cálido	Muy cálido	Muy cálido
SEPTIEMBRE	Muy cálido	Muy cálido	Cálido

Modificado de: MeteoGalicia (2023), [https://meteo-estaticos.xunta.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estacions/anuais/2023\\_gl.pdf](https://meteo-estaticos.xunta.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estacions/anuais/2023_gl.pdf)

### 2.1.2. Precipitaciones

En el caso de las precipitaciones (al igual que en la temperatura) se utilizarán los percentiles obtenidos de las series regionales en el periodo 1981-2010 (**Tabla 5**).

**Tabla 5.** Categorización en función de los percentiles de precipitación según los valores medios de los años 1981-2010

Precipitaciones	
Categoría	Percentil
Extremadamente seco	$P < \text{mínimo en 1981-2010}$
Muy seco	$\text{mínimo en 1981-2010} \leq P < 20\%$
Seco	$20\% \leq P < 40\%$
Normal	$40\% \leq P \leq 60\%$
Húmedo	$60\% < P \leq 80\%$
Muy húmedo	$80\% < P \leq \text{máximo en 1981-2010}$
Extremadamente húmedo	$P > \text{máximo en 1981-2010}$

Modificado de: MeteoGalicia (2023), [https://meteo-estaticos.xunta.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estacions/anuais/2023\\_gl.pdf](https://meteo-estaticos.xunta.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estacions/anuais/2023_gl.pdf)

En enero, las lluvias fueron superiores a lo normal (+96%), considerándose un mes muy húmedo. Febrero, en contraste, fue muy seco, con una anomalía del -75%. En marzo, las precipitaciones se mantuvieron cerca de la media (+9%), por lo que se clasificó como ligeramente húmedo. Abril fue un mes seco (-37%), con valores por debajo de lo habitual. Tras la primavera, junio registró lluvias muy por encima de lo normal (+110%), siendo un mes muy húmedo. En julio, las precipitaciones fueron escasas (-40%), clasificándose como seco. Agosto presentó una anomalía del -29%, pero dentro de la variabilidad esperada, por lo que se considera un mes normal. Finalmente, septiembre fue más húmedo de lo habitual, con un exceso del 48% respecto al valor climatológico medio.

## 2.2. Selección de las granjas

Para este estudio se seleccionaron cuatro explotaciones ganaderas: Granja A, Granja B, Granja C, y Granja D. Estas se sitúan en el municipio de Castro de Rei, en la provincia de Lugo. La Granja A presenta una alta densidad de animales, de los cuales 102 son vacas en lactación, con una producción de 36.8 kg/leche/vaca/día. Se tomaron muestras fecales de 4 animales en invierno y 5 en verano. La explotación tiene una orientación norte-sur y dispone de un sistema de refrigeración tanto natural como forzada. La Granja B presenta una orientación este-oeste y cuenta únicamente con un sistema de ventilación natural con apertura y cierre de compuertas. Cuenta con 93 vacas en lactación con una media de producción de 36.5 kg de leche/vaca/día. Se tomaron muestras de 4 animales en invierno y 4 en verano. La Granja C, con una orientación este-oeste, emplea un sistema de ventilación natural regulable mediante compuertas situadas en los extremos norte y sur del edificio. En ella se alojan 227 vacas en lactación con una producción de 33.2 kg leche/vaca/día y se tomaron muestras de heces de 5 vacas en invierno y 5 en verano. Y, por último, la Granja D, donde se recogieron muestras de heces de 5 animales en invierno y 5 en verano, cuenta con sistemas de ventilación natural y forzada, y presenta una orientación este-oeste, además de 183 vacas en lactación con una producción media de 42 kg leche/vaca/día.

Las muestras se tomaron en dos épocas del año distintas: en invierno (INV), entre los meses de enero y abril de 2023, y en verano (VER) entre los meses de junio y septiembre de 2023. Además, se recolectaron en 4 etapas del periodo de transición diferentes: un mes antes del parto (1 MAP), una semana antes del parto (1 SAP), una semana post parto (1 SPP) y un mes post parto (1MPP). Por lo tanto, en total fueron tomadas 148 muestras de heces. Antes del inicio del estudio, se realizó un examen clínico metódico de las vacas en cada granja, prestando especial atención a la condición corporal, la temperatura corporal, el tórax, el abdomen y la glándula mamaria. Los animales seleccionados para su inclusión en el presente estudio fueron determinados tras el examen preliminar.

En el periodo de transición, las vacas presentan requerimientos nutricionales exigentes, ya que experimentan cambios fisiológicos y metabólicos significativos para adaptarse al parto y al inicio de la lactancia. Los datos de composición de la ración se muestran en la **Tabla 6**.

**Tabla 6.** Composición de la ración de vacas secas y en lactación. Datos obtenidos del análisis y formulación realizada por el Centro Veterinario Meira.

	Periodo seco	Periodo de transición
<b>CMS</b> (kg/vaca/día)	14-12	34-36
<b>MS</b> (g/kg)	685.3	481
<b>FB</b> (g/kgMS)	253.2	172.8
<b>aFNDmo</b> (g/kgMS)	480	324.4
<b>FDA</b> (g/kgMS)	308.2	209.6
<b>LDA</b> (g/kgMS)	47.5	32.6
<b>PB</b> (g/kgMS)	143.6	157
<b>CNF</b> (g/kgMS)	131.4	280.7
<b>Almidón</b> (g/kgMS)	66	232
<b>EE</b> (g/kgMS)	27.8	35.3
<b>Cenizas</b> (g/kgMS)	91.4	76.8
<b>IEB</b> (MJ/kg MS)	143.6	486.01
<b>UFL</b> (MJ/kg MS)	52	43

**Abreviaturas:** CMS: Consumo de materia seca; MS: Materia seca; FB: Fibra bruta; aNDFmo: Fibra detergente neutro analizada utilizando una amilasa termoestable y expresada incluyendo la ceniza residual; FDA: Fibra detergente ácida; LDA: Lignina detergente ácida; PB: Proteína bruta; CNF: Carbohidratos no fibrosos; EE: Contenido de extracto etéreo; IEB: Ingesta de Energía Bruta. UFL: Unidad forrajera de leche.

### 2.3. Recogida de muestras y análisis de los metabolitos del cortisol fecal

Se recolectaron alrededor de 200 gramos de muestra de heces del recto, con ayuda de una mano enguantada, entre las 9 am y las 11 am. Las muestras fueron almacenadas en un recipiente de plástico hermético, correctamente identificados. Posteriormente fueron conservadas en hielo y trasladadas al Laboratorio de Fisiología Animal de la Universidad Complutense de Madrid, donde se almacenaron a -20 °C hasta su procesamiento. Cada muestra fecal fue procesada individualmente. Primero, se secaron durante 2 horas a 100°C y se pulverizaron. Posteriormente, se pesaron 0.5 g del polvo fecal en un tubo de plástico de 7 ml, al que se añadieron 5 ml de metanol al 80 %. Los tubos fueron agitados durante 1 hora y, posteriormente, las muestras se centrifugaron a 500 × g por 15 minutos. El sobrenadante, que contenía los metabolitos de cortisol, fue recuperado y almacenado en crioviales a -20 °C hasta el momento del análisis hormonal. La concentración de metabolitos fecales se determinó a través de un inmunoensayo enzimático

específico de grupo (11-oxoetiocolanolona EIA), diseñado por Palme y Möstl (1997) para detectar metabolitos derivados del cortisol en las heces. Dado que el cortisol se metaboliza extensamente antes de su excreción, este EIA no mide el cortisol intacto, sino metabolitos con estructuras comunes, como los 11,17-dioxoandrostanes. El anticuerpo utilizado en los pocillos de este EIA (11-oxoetiocolanolona) fue diseñado para reconocer estos metabolitos, permitiendo una detección sensible y específica de la actividad adrenocortical. Se trata de un ensayo competitivo, en el que los metabolitos presentes en la muestra compiten con un conjugado marcado con enzima (peroxidasa) por los sitios de unión del anticuerpo. Tras un periodo de incubación que permite esta competición, se realizaron los lavados para eliminar el material no unido. A continuación, se añadió el sustrato cromogénico, que reacciona con la enzima unida al conjugado, generando un cambio de color. Posteriormente se realizó la lectura con espectrofotómetro a una longitud de onda de 450 nm, obteniéndose valores de absorbancia para cada muestra. En este tipo de ensayo, la cantidad de luz absorbida es inversamente proporcional a la concentración de metabolitos de cortisol presentes: a mayor concentración, menor absorbancia. Para determinar la concentración exacta de los metabolitos, se elaboró una curva estándar a partir de soluciones de concentración conocida. A partir de dicha curva, se obtuvo la concentración de metabolitos de cortisol fecal (MCF) en cada caso. Los resultados se expresaron en nanogramo de metabolito por gramo de heces secas (ng/g de heces secas), tras aplicar los correspondientes factores de dilución. El rango de detección del ensayo fue 6,6–4000 pg/ml, empleándose un extracto con concentración de 50 pg/ml como control. Los coeficientes de variación intraensayo e interensayo fueron 2.8% y 4.0%, respectivamente.

#### 2.4. Recopilación de datos del clima

Para obtener y registrar los datos de temperatura y humedad en la región del estudio se utilizó un dispositivo Multi-Use Compact PDF Temperature and Humidity USB Data Logger (Multicomp Pro) colocado en las cuatro explotaciones a 2 metros de altura en la zona de lactación (**Figuras 11 y 12**). Dicho dispositivo mide temperaturas desde -30°C hasta los 70°C con una precisión de  $\pm 0.5$ , y la humedad desde 0% hasta 100% con una exactitud de  $\pm 3\%$  HR. Los datos son recopilados cada hora y son utilizados para el cálculo del THI con la siguiente fórmula (Mader *et al.*, 2006):

$$THI = 0,81 \times T^a + HR \div 100 \times (T^a - 14,4) + 46,4$$

Se calcularon los THI en las cuatro granjas en las dos distintas épocas del año establecidas en el estudio, de enero a abril y de junio a septiembre.



**Figura 11.** Dispositivo Multi-Use Compact PDF Temperature and Humidity USB Data Logger (Multicomp Pro).

**Figura 12.** Ubicación del dispositivo de medición de temperatura y humedad (cuadrado rojo) en zona de lactación.

## 2.5. Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante un ANOVA de medidas repetidas con diseño mixto, utilizando el programa SPSS (versión 28).

El THI se consideró como variable repetida (con cuatro niveles), y se analizaron sus variaciones en función de la localidad (A, B, C y D) y la estación del año, que se trataron como factores entre sujetos.

Se estudiaron tanto los efectos principales como las posibles interacciones entre estos factores. Dado que se detectó una violación del supuesto de esfericidad (prueba de Mauchly,  $p < 0,001$ ), se aplicó la corrección de Greenhouse-Geisser para ajustar los resultados.

Para analizar el tamaño del efecto, se usó el estadístico eta cuadrado parcial ( $\eta_p^2$ ). Las comparaciones entre localidades se ajustaron con el método de Bonferroni para evitar errores por múltiples pruebas. Además, se analizaron tendencias en el tiempo mediante contrastes polinómicos, y se calcularon intervalos de confianza del 95% con medias ajustadas. Todas las pruebas fueron bilaterales con un nivel de significación del 5% ( $p\text{-valor} < 0,05$ ). Finalmente, se comprobó que se cumplían los supuestos del análisis mediante el estudio de residuos y la prueba de Levene, que confirmó la homogeneidad de varianzas entre grupos.

### 3. Resultados

#### 3.1. Resultado 1: relación entre el THI con la estación y con la etapa fisiológica en cada granja

En la **Tabla 7a**, se exponen los valores de THI medios, además del límite superior e inferior medidos en las diferentes etapas fisiológicas en verano y en invierno de cada granja.

**Tabla 7a. Valores medios ( $\pm$  error estándar) de THI e intervalos de confianza al 95% para las diferentes combinaciones de Estación, Granja y Etapa.**

Estación	Granjas	THI-Etapa	Media	Desv. Error	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
INV	A	1 MAP	63.598	2.399	58.811	68.385
		1 SAP	59.583	1.964	55.665	63.502
		1 SPP	65.295	1.856	61.592	68.998
		1 MPP	66.773	1.835	63.113	70.434
	B	1 MAP	57.349	1.772	53.813	60.885
		1 SAP	56.821	1.450	53.927	59.715
		1 SPP	56.741	1.371	54.006	59.476
		1 MPP	62.486	1.355	59.782	65.189
	C	1 MAP	57.467	1.517	54.439	60.495
		1 SAP	57.697	1.242	55.219	60.175
		1 SPP	59.479	1.174	57.137	61.821
		1 1MPP	56.712	1.160	54.396	59.027
	D	1 MAP	61.284	2.628	56.040	66.528
		1 SAP	57.428	2.151	53.135	61.721
		1 SPP	63.208	2.033	59.151	67.742
		1 MPP	63.732	2.010	59.722	67.742
VER	A	1 MAP	70.304	1.772	66.769	<b>73.840</b>
		1 SAP	<b>72.235</b>	1.450	69.341	<b>75.129</b>
		1 SPP	<b>74.477</b>	1.371	<b>71.742</b>	<b>77.212</b>
		1 MPP	<b>71.567</b>	1.355	68.863	<b>74.270</b>
	B	1 MAP	69.776	1.696	66.391	<b>73.161</b>
		1 SAP	<b>74.244</b>	1.389	71.473	<b>77.015</b>
		1 SPP	<b>72.561</b>	1.312	69.942	<b>75.179</b>
		1 MPP	70.374	1.297	67.785	<b>72.962</b>
	C	1 MAP	<b>71.952</b>	1.772	68.417	<b>75.488</b>
		1 SAP	<b>77.256</b>	1.450	<b>74.362</b>	<b>80.150</b>

**Tabla 7a.** Continuación.

	1 SPP	<b>75.435</b>	<b>1.371</b>	<b>72.700</b>	<b>78.178</b>
	1 MPP	<b>72.064</b>	1.355	69.360	<b>74.768</b>
D	1 MAP	70.044	2.628	64.800	<b>75.288</b>
	1 SAP	71.404	2.151	67.111	<b>75.697</b>
	1 SPP	<b>75.094</b>	2.033	71.037	<b>79.151</b>
	1 MPP	<b>75.722</b>	2.010	<b>71.712</b>	<b>79.732</b>

**Abreviaturas:** INV (invierno); VER (verano); 1 MAP (1 mes antes del parto); 1 SAP (1 semana antes del parto); 1 SPP (1 semana post-parto); 1 MPP (1 mes post-parto); THI (Índice de temperatura y humedad).

Los datos nos permiten señalar que el THI es consistentemente mayor en verano que en invierno en todas las granjas y etapas fisiológicas, lo que indica la presencia estrés térmico en verano. Precisamente es en esta estación donde registramos valores de THI medios superiores en la semana previa al parto (1 SAP) y en el post-parto (1 SPP y 1 MPP) en las granjas A, B y D, lo que nos indica que este intervalo representa un riesgo elevado de estrés térmico. Finalmente, en la granja C encontramos que todos los valores de la media de THI superan el rango basal de 72 en todas las etapas donde se hicieron mediciones. Claramente, esta es la granja que ofrece mayores condiciones para que los animales en fase de transición puedan presentar estrés térmico en verano.

En la **Tabla 7b**, se representa si existen diferencias estadísticamente significativas entre los THI medidos en invierno y verano en las diferentes etapas fisiológicas de los animales dentro de cada granja.

**Tabla 7b. Prueba multivariante intra-sujeto entre las diferentes etapas fisiológicas y estación del año donde se ha medido el THI.**

Granja	THI-etapa	Estación (I)	Estación (J)	Significación
A	1 MAP			<b>0.028</b>
	1 SAP		Invierno - verano	<b>&lt;0.001</b>
	1 SPP			<b>&lt;0.001</b>
	1MPP			<b>0.039</b>
B	1 MAP			<b>&lt;0.001</b>
	1 SAP		Invierno - verano	<b>&lt;0.001</b>
	1 SPP			<b>&lt;0.001</b>
	1MPP			<b>&lt;0.001</b>
C	1 MAP			<b>&lt;0.001</b>
	1 SAP		Invierno - verano	<b>&lt;0.001</b>
	1 SPP			<b>&lt;0.001</b>

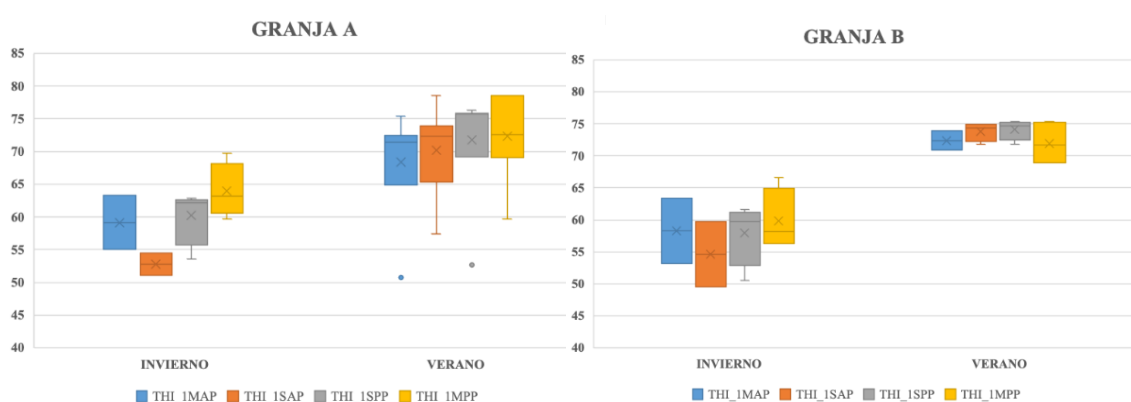
**Tabla 7b.** Continuación.

	1MPP		<0.001
<b>D</b>	1 MAP		<0.001
	1 SAP	Invierno - verano	<0.001
	1 SPP		<0.001
	1MPP		<0.001

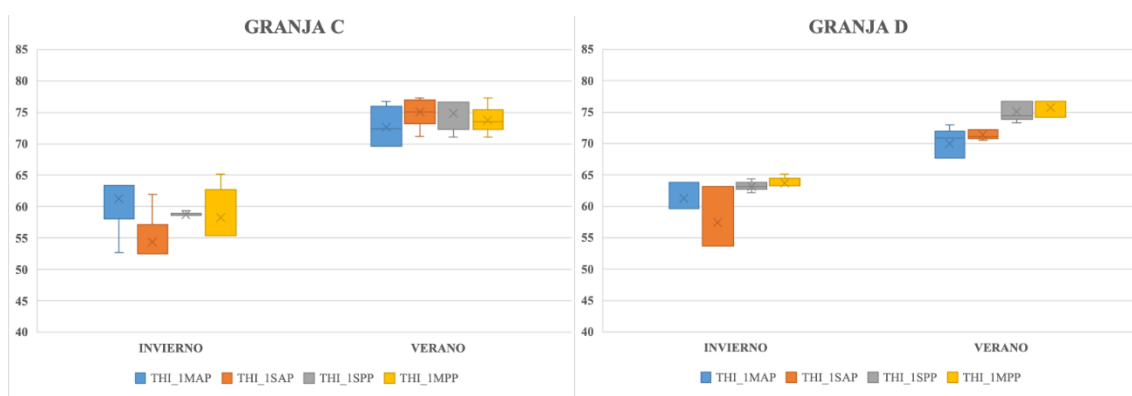
**Abreviaturas:** INV (invierno); VER (verano); MAP (1 mes antes del parto); SAP (1 semana antes del parto); SPP (1 semana post-parto); MPP (1 mes post-parto); THI (Índice de temperatura y humedad).

La prueba multivariante intra-sujetos mostró diferencias estadísticamente significativas en el THI entre las estaciones de invierno y verano en todas las etapas fisiológicas evaluadas (MAP, SAP, SPP, MPP) y en todas las granjas analizadas. En las granjas B, C, D fueron diferencias altamente significativas ( $p < 0.001$ ) en todas las etapas, mientras que en la granja A fue menor, pero aun relevante ( $p < 0.05$ ).

Estos resultados indican un efecto estacional marcado sobre el THI que debe ser considerado en el manejo y bienestar durante el periodo de transición. Estos resultados nos permiten identificar los momentos críticos donde los animales son más sensibles a los cambios de estación en base al THI, además, abordar la necesidad de ajustar el manejo a ciertas etapas y estaciones para proteger el bienestar animal. En las siguientes gráficas (**Figuras 13 y 14**), podemos observar de forma visual cómo varían el THI en función de la estación, de la etapa fisiológica y de las granjas.



**Figura 13.** Comparación del THI en las diferentes etapas y estaciones, en las granjas A y B.



**Figura 14.** Comparación del THI en las diferentes etapas y estaciones, en las granjas C y D.

### 3.2. Resultado 2: relación entre la concentración de metabolitos del cortisol fecal medidos en las diferentes granjas, en las 4 etapas fisiológicas, en invierno y verano

La **Tabla 8a** muestra los valores medios obtenidos para cada etapa fisiológica según la granja considerada en las 2 estaciones estudiadas.

**Tabla 8a: Valores medios ( $\pm$  error estándar) e intervalos de confianza al 95% para las diferentes combinaciones de Estación, Granja y Etapa.**

Estación	Granja	Etapa	Media	desv. error	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
INV	A	1 MAP	277,363	77,445	119,199	435,528
		1 SAP	430,220	71,774	283,637	576,802
		1 SPP	216,266	44,274	125,846	306,686
		1 MPP	169,957	73,861	19,114	320,801
	B	1 MAP	395,947	86,586	219,114	572,780
		1 SAP	205,838	80,246	41,953	369,722
		1 SPP	183,685	49,500	82,592	284,778
		1 MPP	189,957	82,579	21,309	358,605
	C	1 MAP	324,052	77,445	165,888	482,216
		1 SAP	251,320	71,774	104,737	397,902
		1 SPP	294,035	44,274	203,615	384,456
		1 MPP	153,254	73,861	2,410	304,098
	D	1 MAP	721,197	77,445	563,032	879,361
		1 SAP	604,844	71,774	458,261	751,426

**Tabla 8a.** Continuación.

		1 SPP	234,311	44,274	143,891	324,732
		1MPP	215,776	73,861	64,932	366,619
<b>VER</b>	<b>A</b>	1 MAP	595,412	77,445	437,247	753,576
		1 SAP	327,364	71,774	180,782	473,947
		1 SPP	256,156	44,274	165,735	346,576
		1MPP	549,149	73,861	398,305	699,992
	<b>B</b>	1 MAP	232,383	86,586	55,549	409,216
		1 SAP	130,953	80,246	-32,932	294,837
		1 SPP	246,864	49,500	145,771	347,957
		1 MPP	59,968	82,579	-108,681	228,616
	<b>C</b>	1 MAP	254,155	77,445	95,991	412,319
		1 SAP	140,576	71,774	-6,006	287,159
		1 SPP	189,388	44,274	98,968	279,809
		1MPP	93,200	73,861	-57,644	244,044
	<b>D</b>	1 MAP	568,490	77,445	410,326	726,655
		1 SAP	646,270	71,774	499,687	792,853
		1 SPP	287,321	44,274	196,901	377,741
		1 MPP	377,189	73,861	226,345	528,032

**Abreviaturas:** INV (invierno); VER (verano); MAP (1 mes antes del parto); SAP (1 semana antes del parto); SPP (1 semana post-parto); MPP (1 mes post parto).

Puede apreciarse que algunos grupos muestran alta variabilidad, reflejadas en intervalos de confianza amplios, posiblemente atribuible a diferencias individuales en los procesos de homeorresis.

El momento fisiológico (o etapa) en el que se recogen las muestras fecales y se analizan los niveles de MCF ofrecen valores medios distintos, reflejando que el estado fisiológico es una variable significativa en el momento de valorar los resultados. Asimismo, observamos como la granja D presenta niveles más elevados que el resto de las granjas en el periodo previo al parto (MAP y SAP) en ambas estaciones del año.

En la **Tabla 8b** se presentan los resultados del ANOVA mixto, donde se analiza el efecto de las diferentes variables y su interacción sobre los niveles de MCF.

**Tabla 8b. Resultados del ANOVA de medidas repetidas (modelo mixto): efectos de Etapa, Estación, Granja y su interacción sobre los niveles de MCF.**

Efecto	F	Significación
<b>Etapa</b>	13.167	<b>&lt;0.001</b>
<b>Estación</b>	1.527	0.213
<b>Granja</b>	27.878	<b>&lt;0.001</b>
<b>Etapa x Estación x Granja</b>	6.293	<b>0.002</b>

Los resultados nos indican que las variables **Etapa** y **Granja** afectan significativamente los niveles de MCF. Por otro lado, la **Estación** no tiene un efecto significativo sobre el mismo. No obstante, encontramos una interacción significativa entre los tres factores, lo que sugiere que la combinación de **Etapa**, **Estación** y **Granja** influye conjuntamente en los niveles de MCF. La significación de esta interacción indica que el efecto de la **Estación** sobre los niveles de cortisol depende de la **Etapa** y de la **Granja**, es decir, la influencia de la estación no es uniforme, sino que varía según la combinación específica de **Etapa** y **Granja**. Para afirmar que la estación del año modifica los niveles de cortisol de forma general, sería necesario que el efecto principal de estación fuera significativo, lo cual no ocurre en el análisis ( $F = 1.527, p = 0.213$ ). Sin embargo, la interacción significativa sugiere que en algunas etapas y/o en algunas granjas, la estación sí tiene un efecto relevante sobre el cortisol, pero no en todas las situaciones por igual.

En la **Tabla 8c** se muestra la comparación de las concentraciones de MCF medidas en las diferentes etapas fisiológicas dentro de cada granja y en cada estación.

**Tabla 8c. Comparaciones pareadas de medias de MCF entre distintas Etapas, Estaciones y Granjas (prueba Intra-Sujeto).**

Estación	Granja	Etapa (I)	Etapa (J)	Diferencia de medias (I-J)	Significación
INV	A	1 MAP	1 SAP	-152.856	1.000
			1 SPP	61.097	1.000
			1 MPP	107.406	1.000
		1 SAP	1 SPP	213.953	0.105
			1 MPP	260.262	0.177
			1 SPP	1 MPP	46.309
	B	1 MAP	1 SAP	190.109	0.821
1 SPP			212.262	0.329	

**Tabla 8c.** Continuación.

		1 SAP	1 SPP	22.153	1.000
			1 MPP	15.881	1.000
		1 SPP	1 MPP	-6.272	1.000
	<b>C</b>	1 MAP	1 SAP	72.732	1.000
			1 SPP	30.017	1.000
			1 MPP	170.798	0.591
		1 SAP	1 SPP	-42.716	1.000
			S MPP	98.066	1.000
		1 SPP	1 MPP	140.781	0.574
	<b>D</b>	1 MAP	1 SAP	116.353	1.000
			1 SPP	486.885	<b>&lt;0.001</b>
			1 MPP	505.421	<b>&lt;0.001</b>
		1 SAP	1 SPP	370.532	<b>&lt;0.001</b>
			1 MPP	389.068	<b>0.011</b>
		1 SPP	1 MPP	18.536	1.000
<b>VER</b>	<b>A</b>	1 MAP	1 SAP	268.047	0.134
			1 SPP	339.256	0.007
			1 MPP	46.263	1.000
		1 SAP	1 SPP	71.209	1.000
			1 MPP	-221.993	0.365
		1 SPP	1 MPP	-292.993	<b>0.007</b>
	<b>B</b>	1 MAP	1 SAP	101.430	1.000
			1 SPP	-14.481	1.000
			1 MPP	172.415	0.804
		1 SAP	1 SPP	-115.911	1.000
			1 MPP	70.985	1.000
		1 SPP	1 MPP	186.896	0.3
	<b>C</b>	1 MAP	1 SAP	113.579	1.000
			1 SPP	64.767	1.000
			1 MPP	160.955	0.711
		1 SAP	1 SPP	-48.812	1.000
			1 MPP	47.376	1.000
		1 SPP	1 MPP	96.188	1.000
	<b>D</b>	1 MAP	1 SAP	-77.780	1.000
			1 SPP	281.169	<b>0.036</b>

**Tabla 8c.** Continuación.

	1 SAP	1 SPP	358.949	<b>0.001</b>
		1 MPP	269.081	0.149
	1 SPP	1 MPP	-89.868	1.000

**Abreviaturas:** INV (invierno); VER (verano); MAP (1 mes antes del parto); SAP (1 semana antes del parto); SPP (1 semana post-parto); MPP (1 mes post parto).

La valoración de estos datos nos indica, en línea con la tabla 8a y 8b, que, aunque no existen diferencias significativas entre las estaciones invierno y verano, si podemos hallar diferencias numéricas en varias combinaciones. Así, por ejemplo, en la Granja A observamos que 1 mes antes del parto en invierno los valores medios de MCF son de 277.36 ng/g de heces, mientras que, en la misma etapa fisiológica, pero ya en verano, los niveles se incrementan hasta 595.41 mg/g (**Tabla 8a**). No obstante, el análisis multivariante no señala que estos cambios atribuibles a exclusivamente a la estación presenten carácter significativo (**Tabla 8b**).

En la **Tabla 8c**, si consideramos la variable etapa, los resultados nos muestran que la granja D presenta diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes etapas fisiológicas en ambas estaciones, observándose esas diferencias entre el periodo previo al parto (MAP y SAP) y el post parto (SPP y MPP).

En resumen, existen diferencias estadísticamente significativas en los valores de MCF entre las etapas para las distintas granjas, especialmente marcadas en Granja D (valores consistentemente altos en el preparto). Aunque la estación no mostró un efecto significativo en el análisis, se evidenció una tendencia al aumento de MCF en verano en comparación con el invierno analizado en la misma etapa, particularmente en la Granja A.

El análisis entre las diferentes granjas estudiadas queda reflejado en la **Tabla 9a**:

**Tabla 9a. Comparaciones pareadas de medias de MCF entre distintas Etapas, Estaciones y Granjas (prueba Inter-Sujeto).**

Estación	Etapas	Granja (I)	Granja (J)	Diferencias de medias (I-J)	Significación
INV	1 MAP	A	B	-118.584	1.000
			C	-46.688	1.000
			D	-443.833	<b>0.002</b>
		B	C	71.895	1.000
			D	-325.250	0.053

Tabla 9a. Continuación.

	<b>1 SAP</b>	A	B	224.382	0.275	
			C	178.900	0.529	
			D	-174.624	0.574	
		B	C	-45.482	1.000	
			D	-399.006	<b>0.005</b>	
		C	D	-353.524	<b>0.009</b>	
		<b>1 SPP</b>	A	B	32.581	1.000
				C	-77.769	1.000
				D	-18.045	1.000
	B		C	-110.351	0.642	
			D	-50.627	1.000	
	C		D	59.724	1.000	
	<b>1MPP</b>	A	B	-20.000	1.000	
			C	16.703	1.000	
			D	-45.819	1.000	
B		C	36.703	1.000		
		D	-25.819	1.000		
C		D	-62.522	1.000		
<b>VER</b>	<b>1 MAP</b>	A	B	363.029	<b>0.024</b>	
			C	341.257	<b>0.024</b>	
			D	26.922	1.000	
		B	C	-21.772	1.000	
			D	-336.107	<b>0.042</b>	
		C	D	-314.335	<b>0.045</b>	
		<b>1 SAP</b>	A	B	196.412	0.468
				C	186.788	0.454
				D	-318.905	<b>0.023</b>
	B		C	-9.624	1.000	
			D	-515.317	<b>&lt;0.001</b>	
	C		D	-505.693	<b>&lt;0.001</b>	
	<b>1 SPP</b>	A	B	9.292	1.000	
			C	66.767	1.000	
			D	-31.165	1.000	
B		C	57.475	1.000		

**Tabla 9a.** Continuación.

	C	D	-97.932	0.77
<b>1 MPP</b>	A	B	489.181	<b>&lt;0.001</b>
		C	455.949	<b>&lt;0.001</b>
		D	171.960	0.661
	B	C	-33.233	1.000
		D	-317.221	<b>0.045</b>
	C	D	-283.989	0.065

**Abreviaturas:** INV (invierno); VER (verano); MAP (1 mes antes del parto); SAP (1 semana antes del parto); SPP (1 semana post-parto); MPP (1 mes post parto).

Las diferencias significativas entre granjas se observan en el preparto (MAP y SAP) tanto en invierno como en verano. Por el contrario, las fases post-parto (SPP y MPP) no ofrecen diferencias entre granjas en términos generales, a excepción del mes post-parto, cuyos valores de MCF son diferentes en la granja A frente a la B y la C, o en el mismo tiempo entre las granjas B y D, pudiéndose considerar hechos puntuales.

En resumen, las diferencias inter-granjas en los niveles MCF son más pronunciadas antes del parto (MAP y SAP) y tienden a desaparecer después del parto (SPP y MPP); la Granja D destaca por tener los niveles de MCF más altos en la mayoría de los casos donde hay diferencias significativas y, finalmente, la estación del año también influye, observándose más diferencias significativas entre granjas en verano en comparación con invierno.

## 4. Discusión y conclusiones

### 4.1. Discusión

El **ganado de vacuno lechero** es un pilar fundamental tanto en la economía gallega, como en la de España. El bienestar de las vacas lecheras es uno de los soportes de la producción de leche, siendo crucial para mantener un rendimiento productivo óptimo. Uno de los factores decisivos de la vida de una vaca en producción de leche, es el manejo que recibe dentro del período llamado transición, ya que tiene repercusiones en la salud, bienestar y determina su vida productiva en futuras lactaciones (Sepúlveda y Wittwer Menge 2017). Durante las últimas dos décadas se ha llevado a cabo una amplia investigación con el propósito comprender mejor la biología de la vaca en este periodo crítico, con el fin de abordar los requisitos nutricionales y **determinar estrategias de manejo** para hacer frente a los cambios metabólicos y fisiológicos que ocurren durante el período de transición (Redfern *et al.*, 2021), con el objetivo de disminuir el impacto y el **estrés nutricional y metabólico** asociado a esta etapa.

El **periodo de transición** se define como la fase que discurre entre el final de la gestación y el principio de la lactación y constituye un reto tanto para los animales como para los productores lácteos. El término transición hace referencia al proceso en el que una vaca no produce leche (vaca seca), tiene lugar el parto y, a continuación, comienza a producir. Tradicionalmente, abarcaba las tres semanas previas y las tres semanas posteriores al parto. A medida que aprendimos más sobre la fisiología de las vacas, este periodo se amplió a los 60 días anteriores al parto y los 30 días posteriores (Abuelo *et al.*, 2019).

La transición preparto se ha catalogado como uno de los momentos más críticos (Castillo *et al.*, 2005), ya que durante esta fase se presentan de manera dramática los cambios en el consumo de materia seca y en el estado hormonal y metabólico de los animales, además, se produce el desarrollo del eje HHA del ternero, el cual liberará CRH, provocando un aumento de **cortisol** materno, haciendo que se desencadene el parto. Posteriormente, con el parto, se marca el fin de la condición metabólica de gestación al de producción de leche con todas las adecuaciones fisiológicas asociadas, que deben de ser ajustadas en un período muy breve de solo horas (Sepúlveda y Wittwer Menge 2017). Ese aumento abrupto en la tasa metabólica, asociado con el parto y el inicio de la lactancia, con el desarrollo mamario y la producción de calostro, conduce a una mayor carga de **estrés** que contribuye a una mayor susceptibilidad a enfermedades metabólicas e infecciosas (Alhussien *et al.*, 2023). Finalmente, en la transición postparto, las vacas deben adaptarse a esos cambios asociados a la exigencia productiva. La mayoría de las disfunciones metabólicas, nutricionales, alimenticias, sanitarias, y productivas ocurren dentro de este período, por lo que es crucial establecer pautas de manejo adecuadas para disminuir el

impacto negativo de los problemas secundarios al periodo de transición (Sepúlveda y Wittwer Menge 2017).

Las vacas en periodo de transición están expuestas a múltiples **factores endógenos** que pueden desencadenar estrés. Adicionalmente, son especialmente sensibles a diversos **factores ambientales** que pueden actuar como estresores y afectar negativamente su salud, bienestar y productividad. Los factores más comunes y relevantes están relacionados con la calidad del ambiente, sobrepoblación y la competencia por recursos (agua y alimento), además de la mala ventilación, cubículos mal diseñados y limpieza deficiente. El acceso limitado o la mala calidad de agua y alimento durante la transición agravan el estrés metabólico y afectan el sistema inmunológico. Además, cambios constantes en el entorno, variaciones en los horarios de alimentación y ordeño, traslados frecuentes o manejo brusco también son estresores relevantes durante la transición (Odeaón y Romera, 2017).

El cambio de dieta que se produce entre el parto y el postparto también puede desencadenar **estrés metabólico** en las vacas, ya que se modifica la ración de una pobre en energía a una con alta densidad energética (Abuelo, 2025).

El aumento de la temperatura ambiental, especialmente cuando se combina con aumento de la humedad relativa, también es un agente estresor importante, ya que el **estrés por calor** incrementa el balance energético negativo, común en esta etapa fisiológica del animal. Las vacas en periodo de lactancia disipan una gran cantidad de calor en los procesos asociados a la producción de leche, siendo más vulnerables al **estrés por calor** (Ekine-Dzivenu *et al.*, 2020). Este no solo afecta a la producción láctea, también a la eficiencia reproductiva (De Rensis y Scaramuzzi, 2003), ingesta de alimento, crecimiento y al sistema inmunitario del animal, haciendo que sean más susceptibles a patologías (Bagath *et al.*, 2019). Además, en eventos extremos de calor, puede producirse la muerte de los animales (Idris *et al.*, 2021).

Se han informado las consecuencias del **cambio climático en Galicia**, como el aumento de las temperaturas y una variación de las precipitaciones, tal y como se refleja en el Informe Climatológico de Galicia (Xunta de Galicia, 2016) y los últimos informes climatológicos realizados por MeteGalicia (2023), donde se muestra que la temperatura media anual en la Comunidad Autónoma se califica como “extremadamente alta”.

Por ello el **estrés por calor** en el ganado de vacuno lechero de Galicia representa un obstáculo significativo para la productividad general de las vacas. Uno de los propósitos de este estudio ha sido demostrar con la medición de las temperaturas y los porcentajes de humedad relativa transformados en un índice de **THI**, que estos niveles alcanzan el umbral donde se considera que el ganado sufre estrés por calor (**THI>72**) (Ekine-Dzivenu *et al.*, 2020), aunque algunos estudios

sitúan ese umbral en **THI>68** (Baumgard y Rhoads, 2013). En nuestras mediciones, hemos constatado cómo todos los límites superiores de THI medidos en verano en Lugo superan el valor de **72**, alcanzándose incluso valores de **80,150**, demostrando que los animales estuvieron sometidos a **estrés térmico moderado-severo** en los meses de más calor, de acuerdo con la bibliografía y estudios consultados.

Se han desarrollado diferentes herramientas para medir el estrés térmico en los animales, como observar si muestran conductas de aclimatación y adaptación al calor: la sudoración o, en mayor medida, el aumento de la frecuencia respiratoria. Ambos son mecanismos de termorregulación ante eventos de estrés térmico para mantener la homeostasis interna y podrían servir de orientación para saber si un animal sufre estrés por calor (Idris *et al.*, 2021). Sin embargo, se han implementado mecanismos más precisos para medir la respuesta de los animales ante eventos térmicos estresantes: la medición de glucocorticoides, más concretamente el cortisol, ya que la exposición del ganado a altas temperaturas conduce a un aumento de esta hormona (Idris *et al.*, 2024). En este estudio, hemos querido determinar los **metabolitos de cortisol fecal** como un biomarcador de estrés térmico en vacuno lechero en Galicia. Seleccionamos esta muestra biológica ya que esta se puede obtener de manera **no invasiva**, a diferencia de la muestra sanguínea, en la cual es necesario manipular a los animales para obtenerla, pudiendo generar estrés adicional. Además, en muestras fecales, los niveles de hormonas circulantes se integran durante un cierto periodo de tiempo y representan la secreción acumulada de hormonas en comparación con las estimaciones obtenidas en muestras de sangre (Palme, 2012).

Todos estos factores estresantes tienen un efecto aditivo, lo cual significa que cuando varios de ellos inciden sobre el mismo tiempo, la respuesta de estrés resultante será mayor que si el animal fuese expuesto a un solo factor (Odeaón y Romera, 2017). Por ello, situaciones como el periodo de transición sumado a un manejo incorrecto y al estrés térmico pueden ser situaciones especialmente difíciles para el ganado vacuno lechero.

Los resultados obtenidos en el estudio reflejan los cambios del eje endocrino producido en el periodo de transición, siendo más acusado en el **periodo de parto**. Este aumento de los niveles de MCF son resultado de todas las alteraciones fisiológicas y metabólicas propias de esta etapa, por lo que ese incremento es esperado. Sin embargo, en la granja D, se encuentran diferencias muy acusadas entre los MCF medidos en las diferentes etapas del periodo de transición tanto dentro de la propia granja como en comparación con el resto. Es probable que estas diferencias se deban a aspectos ambientales y de manejo, que, sumado al estrés fisiológico generado, hacen que haya un aumento en los niveles de MCF más allá de lo fisiológicamente normal.

En ese sentido, debemos de considerar que los niveles de MCF obtenidos en las vacas de esta explotación pueden atribuirse a características propias del temperamento de los animales, ya que,

en particular, se trata de vacas con un comportamiento más agresivo y nervioso, siendo incluso reactivas ante el manejo humano. Esto hace a los animales más sensibles a los cambios tanto endógenos como del medio que les rodea, por ello, cualquier modificación en el entorno, de manejo o condiciones ambientales, activa su eje HHA, haciendo que el organismo responda liberando cortisol. Asimismo, aunque dispone de sistemas de ventilación forzada y la densidad de animales es adecuada, la granja D se encuentra en una zona ligeramente deprimida del terreno, lo que favorece la acumulación de calor y dificulta la ventilación natural, alterando el confort térmico de los animales. Además, la orientación de la nave, dispuesta en sentido este-oeste, compromete tanto la exposición lateral como cenital, reduciendo la circulación de aire, lo que intensifica aún más la retención de calor en el interior (García Castro, 2020). Cabe destacar que, en esta granja, las vacas producen una media de 42 kg leche/vaca/día, siendo la explotación con mayor rendimiento productivo dentro de las estudiadas, haciendo a estos animales más susceptibles al estrés térmico, dado que, a mayor producción, menor es el umbral en el que los animales comienzan a sufrir estrés por calor (Berman, 2005; Baumgard y Rhoads, 2013).

Las variaciones que observamos en las mediciones de MCF del resto de granjas pueden atribuirse a los aspectos tanto fisiológicos como ambientales previamente mencionados, siendo estas diferencias mucho más marcadas en los meses en que los animales están sometidos a estrés térmico. Por ejemplo, en el caso de la granja A, la cual presenta concentraciones más elevadas de MCF en verano que en invierno, la **alta densidad de vacas** en la explotación contribuye al estrés, ya que se aumenta la competencia por los recursos y disminuye el espacio por animal dentro de la nave. Además, al haber un mayor número de animales, el calor metabólico producido por las vacas aumenta, y se reduce el flujo de aire.

La implementación de **mecanismos para mitigar los efectos del estrés por calor** es fundamental para reducir los impactos negativos de este sobre el rebaño.

A nivel de infraestructura de la explotación, la **orientación** ideal de la nave en zonas con humedades relativas altas, como Galicia, es **Nordeste-Suroeste**, ya que protege de la exposición lateral y cenital de los vientos predominantes y reduce la incidencia solar en verano, además, la incorporación de un sistema de ventilación con compuertas permite regular la ventilación natural (García Castro, 2020). Se recomienda que los techos sean elevados para permitir una correcta ventilación, además de impedir una acumulación de calor excesiva. Es recomendable hacer uso de láminas con material reflectante en los techos para reflejar la luz solar y evitar que estos absorban calor excesivo (Ekine-Dzivenu *et al.*, 2020).

La modificación del entorno implica tecnologías de reducción del calor que alteran las condiciones ambientales para prevenir el estrés por calor, incluyendo estrategias que mejoran el

intercambio de calor entre el ganado y el medio ambiente, como los nebulizadores, aspersores o ventiladores.

El intercambio de calor por evaporación es una herramienta utilizada para disminuir la temperatura corporal del ganado, ya que consiste en rociar al animal con pequeñas gotas de agua para que, al evaporarse, estas absorban calor. Sin embargo, estos métodos son útiles en ambientes con baja humedad relativa, por lo que, en regiones como Galicia, el uso de intercambio de calor por conducción da mejores resultados, ya que estos sistemas funcionan mediante la transferencia directa de calor del animal hacia una superficie fría, independiente de la humedad del ambiente (Habimana *et al.*, 2023).

Para mitigar los efectos del estrés térmico sobre la ingesta de materia seca, se debe ofrecer a los animales alimentos altamente digestibles, palatables y de calidad.

Una menor proporción de fibra fermentable, compensadas con fuentes de fibra de alta calidad y digestibilidad pueden minimizar el impacto negativo del estrés térmico, ya que se ha observado que aquellos forrajes de menor calidad tienden a permanecer más tiempo en el rumen, lo que resulta en una mayor producción de calor (Brown-Crowder, 2020; Martínez Díez *et al.*, 2025). Un estudio de Habimana *et al.* (2023) menciona que el suministro de almidón degradable, como los granos de cereales (grano de trigo y grano de maíz), reduce la cantidad de calor producido durante la digestión. Aunque la disminución de la relación forraje-concentrado puede ayudar a mitigar los efectos del estrés térmico, debemos mostrar especial atención a las acidosis subagudas que se pueden generar, por lo que añadir a la ración bicarbonato de sodio puede ayudar a la regulación del pH ruminal. Asimismo, incorporar grasas protegidas contribuye a cumplir las necesidades energéticas sin generar calor metabólico adicional (Martínez Díez *et al.*, 2025). Otros aditivos alimentarios que se han utilizado en condiciones de estrés térmico para mantener la salud del rumen a partir de cambios en la dieta son las levaduras, que mejoran la degradación de la fibra, y los cultivos de hongos y, que mejora la utilización de la energía (Habimana *et al.*, 2023).

Proporcionar agua limpia y de calidad a los animales es un mecanismo de mitigación del calor importante. El componente principal de la leche es el agua, representado el 87%, por lo que es importante mantener a los animales normohidratados tanto para disminuir el impacto que produce el calor como para mantener la producción de leche, además, las vacas lecheras de alta producción presentan una mayor renovación hídrica, por lo que tienen mayores necesidades de agua en comparación con otros grupos de animales (Brown-Crowder, 2020).

## 4.2. Conclusiones

En base a los objetivos planteados en el presente Trabajo Fin de Grado podemos concluir:

1. Las mediciones de metabolitos del cortisol fecal constituyen un biomarcador no invasivo que ha permitido determinar variaciones en el eje endocrino de las vacas en fase de transición, tanto dentro de una misma explotación, como en comparación con otras. Además, ha permitido la observación de dichas variaciones según las condiciones ambientales asociadas a la estacionalidad.
2. En base a las mediciones del Índice de Temperatura y Humedad (THI), se demuestra que las vacas estuvieron sometidas a estrés térmico en los meses de verano, agravando el estado de estrés en un momento fisiológicamente sensible para las vacas de producción lechera.
3. Aspectos como el diseño y la orientación de las instalaciones (Nordeste-Suroeste), el manejo, la densidad de animales y las estrategias de mitigación del calor han de ser considerados para garantizar la reducción del estrés y mejorar el bienestar animal en vacas de producción lechera.

## 5. Bibliografía

1. Abuelo, A. (2025). ADSA Foundation Scholar Award: Shakin' off the rust – Oxidative stress and redox status as underlying factors of immune dysfunction in periparturient cows and preweaned calves. *Journal of Dairy Science*. Advance online publication. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-26707>
2. Abuelo, A., Hernández, J., Benedito, J. L., y Castillo, C. (2019). Redox biology in transition periods of dairy cattle: Role in the health of periparturient and neonatal animals. *Antioxidants*, 8(1), 20. <https://doi.org/10.3390/antiox8010020>
3. Agencia Estatal de Meteorología. (2023,). *Avance del verano de 2023: El pasado verano tan solo fue superado en temperatura media por los de 2022 y 2003*. AEMET. Recuperado de: [https://www.aemet.es/es/noticias/2023/09/avance\\_verano\\_2023](https://www.aemet.es/es/noticias/2023/09/avance_verano_2023)
4. Aggarwal, A., y Upadhyay, R. (2012). Heat Stress and Animal Productivity. En *Springer eBooks*. <https://doi.org/10.1007/978-81-322-0879-2>
5. Alhussien, M. N., Dang, A. K., y Bu, D. (2023). Editorial: Strategies for mitigating the transition period stress in dairy cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, Article 1157526. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1157526>
6. Bagath, M., Krishnan, G., Devaraj, C., Rashamol, V. P., Pragna, P., Lees, A. M., y Sejian, V. (2019). The impact of heat stress on the immune system in dairy cattle: A review. *Research in Veterinary Science*, 126, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.08.011>
7. Baumgard, L. H., y Rhoads, R. P., Jr. (2013). Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics. *Annual Review of Animal Biosciences*, 1, 311–337. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103644>
8. Berman, A. (2005). Estimates of heat stress relief needs for Holstein dairy cows. *Journal of Animal Science*, 83(6), 1377–1384. <https://doi.org/10.2527/2005.8361377x>
9. Brown-Crowder, I. (2020). *Feeding strategies to combat heat stress in dairy cattle*. Progressive Dairy. <https://www.agproud.com/articles/44937-feeding-strategies-to-combat-heat-stress-in-dairy-cattle>
10. Cartwright, S. L., Schmied, J., Karrow, N., y Mallard, B. A. (2023). Impact of heat stress on dairy cattle and selection strategies for thermotolerance: A review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, Article 1198697. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1198697>
11. Castillo, C., Hernández, J., Bravo, A., López-Alonso, M., Pereira, V., y Benedito, J. L. (2005). Oxidative status during late pregnancy and early lactation in dairy cows. *The Veterinary Journal*, 169(2), 286–292. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.02.001>
12. Chang, J., Ciaias, P., Gasser, T., Smith, P., Herrero, M., Havlík, P., y Zhu, D. (2021). Climate warming from managed grasslands cancels the cooling effect of carbon sinks in

- sparingly grazed and natural grasslands. *Nature Communications* 12(1): 118. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20406-7>
13. Dash, S., Chakravarty, A. K., Singh, A., Upadhyay, A., Singh, M., y Yousuf, S. (2016). Effect of heat stress on reproductive performances of dairy cattle and buffaloes: A review. *Veterinary World*, 9(3), 235–244. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2016.235-244>
  14. De Rensis, F., y Scaramuzzi, R. J. (2003). Heat stress and seasonal effects on reproduction in the dairy cow—a review. *Theriogenology*, 60(6), 1139–1151. [https://doi.org/10.1016/S0093-691X\(03\)00126-2](https://doi.org/10.1016/S0093-691X(03)00126-2)
  15. Dovolou, E., Giannoulis, T., Nanas, I., y Amiridis, G. S. (2023). Heat stress: A serious disruptor of the reproductive physiology of dairy cows. *Animals*, 13(11), 1846. <https://doi.org/10.3390/ani13111846>
  16. Ebinghaus, A., Knierim, U., Simantke, C., Palme, R., y Ivemeyer, S. (2020). Fecal cortisol metabolites in dairy cows: A cross-sectional exploration of associations with animal, stockperson, and farm characteristics. *Animals*, 10(10), 1787. <https://doi.org/10.3390/ani10101787>
  17. Ekine-Dzivenu, C. C., Mrode, R., Oyieng, E., Komwihangilo, D., Lyatuu, E., Msuta, G., Ojango, J. M. K., y Okeyo, A. M. (2020). Evaluating the impact of heat stress as measured by temperature-humidity index (THI) on test-day milk yield of small holder dairy cattle in a sub-Saharan African climate. *Livestock Science*, 242, 104314. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104314>
  18. García Castro, J. M. (2020). Recomendaciones para la construcción de establos para vacuno de leche. *Campo Galego*. Recuperado de: <https://www.campogalego.es/recomendaciones-para-la-construccion-de-establos-para-vacuno-de-leche/>
  19. Godden, S. M., Stewart, S. C., Cady, R., Eicker, S. W., Fetrow, J. F., Rapnicki, P., Weiland, W., y Spencer, H. (2003). The relationship between herd rbST supplementation and other factors and risk for removal for cows in Minnesota Holstein dairy herds. *Proceedings of the Four-State Nutrition Conference*, 55–64. MidWest Plan Service.
  20. Grupo Health Care. (2022). ¿Qué es el cortisol? Recuperado de: <https://ghc.com.mx/index.php/2022/12/22/que-es-el-cortisol/>
  21. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2019). *Resumen para responsables de políticas: Informe especial sobre el calentamiento global de 1,5 °C* (p. 4). IPCC. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15\\_Summary\\_Volume\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf)
  22. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2021). *Resumen para responsables de políticas. Sexto informe de evaluación del IPCC: Grupo de trabajo I –*

- Bases físicas.* IPCC. Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf)
23. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2014). *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen del Quinto Informe de Evaluación (AR5), Grupo de trabajo II.* Recuperado de: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure\\_es-1.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGIIAR5-IntegrationBrochure_es-1.pdf)
  24. Habimana, V., Nguluma, A. S., Nziku, Z. C., Ekine-Dzivenu, C. C., Morota, G., Mrode, R., y Chenyambuga, S. W. (2023). Heat stress effects on milk yield traits and metabolites and mitigation strategies for dairy cattle breeds reared in tropical and sub-tropical countries. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, Article 1121499. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1121499>
  25. Heimbürge, S., Kanitz, E., y Otten, W. (2019). The use of hair cortisol for the assessment of stress in animals. *General and Comparative Endocrinology*, 270, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2018.09.016>
  26. Idris, M., Sullivan, M., Gaughan, J. B., Keeley, T., y Phillips, C. J. C. (2024). Faecal cortisol metabolites, body temperature, and behaviour of beef cattle exposed to a heatload. *Animal*, 18(4), 101112. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2024.101112>.
  27. Idris, M., Uddin, J., Sullivan, M., McNeill, D. M., y Phillips, C. J. C. (2021). Non-invasive physiological indicators of heat stress in cattle. *Animals*, 11(1), 71. <https://doi.org/10.3390/ani11010071>
  28. Jackson, R. (2020). Eunice Foote, John Tyndall and a question of priority. *Notes and Records* 74(1): 105-118. <https://doi.org/10.1098/rsnr.2018.0066>
  29. Mader, T. L., Davis, M. S., & Brown-Brandl, T. (2006). Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle. *Journal of Animal Science*, 84(3), 712–719. <https://doi.org/10.2527/2006.843712x>
  30. Martínez Díez, E. N., Castillo Rodríguez, C., Muiño Otero, R., García Herradón, P., Rico Fernández, A., Benedito Castelote, J. L., y Fernández Bermúdez, J. (2025). El impacto del estrés por calor en el ganado de leche en Galicia: Adaptándonos al cambio climático. *Vaca Pinta*, (52), 122–128.
  31. Meteogalicia (2023). Informe climatológico anual 2023. Recuperado de [https://meteogalicia.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estacions/anuais/2023\\_gl.pdf](https://meteogalicia.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estacions/anuais/2023_gl.pdf)
  32. Meteogalicia (2024). Informe climatológico invierno 2023-2024. Recuperado de [https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estacions/informesestacions/anuais/2023/202304\\_es.pdf](https://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/clima/informes/estacions/informesestacions/anuais/2023/202304_es.pdf)
  33. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente (Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, Centro

- Nacional de Educación Ambiental). (2016). Cambio Climático. Informe de síntesis: Guía resumida del 5º informe de evaluación del IPCC. Madrid.
34. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico (2021). *Cambio Climático: Bases físicas. (Guía Resumida del Sexto Informe de Evaluación del IPCC, Grupo I)*. Madrid. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/ipcc-guia-resumida-gt1-bases-fisicas-ar6\\_tcm30-533081.pdf](https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/ipcc-guia-resumida-gt1-bases-fisicas-ar6_tcm30-533081.pdf)
  35. Möstl, E., Rettenbacher, S., y Palme, R. (2005). Measurement of corticosterone metabolites in birds' droppings: An analytical approach. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1046(1), 17–34. <https://doi.org/10.1196/annals.1343.004>
  36. Möstl, E., y Palme, R. (2002). Hormones as indicators of stress. *Domestic Animal Endocrinology*, 23(1–2), 67–74. [https://doi.org/10.1016/S0739-7240\(02\)00146-7](https://doi.org/10.1016/S0739-7240(02)00146-7)
  37. Naciones Unidas. (s.f.). *¿Qué es el cambio climático?* Recuperado de <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
  38. National Aeronautics and Space Administration (NASA) (s.f). *Global temperature: Vital signs of the planet*. NASA Climate Change. Recuperado de <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/?intent=121>
  39. Odeón, M. M., y Romera, S. A. (2017). Estrés en ganado: Causas y consecuencias. *Revista Veterinaria*, 28(1). Recuperado de [https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1669-68402017000100014](https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1669-68402017000100014)
  40. Ohnstad, I. (2012). *Managing heat stress in dairy cows*. NADIS – National Animal Disease Information Service. Recuperado de: <https://www.nadis.org.uk/disease-a-z/cattle/managing-heat-stress-in-dairy-cows/>
  41. Palme, R. (2012). Monitoring stress hormone metabolites as a useful, non-invasive tool for welfare assessment in farm animals. *Animal Welfare*, 21(3), 331–337. doi:10.7120/09627286.21.3.331
  42. Palme, R. y Mostl, E. (1997) Measurement of Cortisol Metabolites in Feces of Sheep as a Parameter of Cortisol Concentration in Blood. *Journal Mammalian Biology*, 62, 192-197.
  43. Palme, R., Robia, C., Messmann, S., Hofer, J., y Möstl, E. (1999). Measurement of faecal cortisol metabolites in ruminants: a non-invasive parameter of adrenocortical function. *Wiener Tierärztliche Monatsschrift*, 86(7), 237–241.
  44. Redfern, E. A., Sinclair, L. A., y Robinson, P. A. (2021). Dairy cow health and management in the transition period: The need to understand the human dimension. *Research in Veterinary Science*, 137, 94–101. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2021.04.029>
  45. Rodrigues do Nascimento, F. (2023). Global Environmental Change, Climate Crisis and Desertification. *Global Environmental Changes, Desertification and Sustainability*.

- Springer Briefs in Latin American Studies. Springer, Cham, 9-16.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-031-32947-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-031-32947-0_2)
46. Rodríguez, E., y J. M. Gutiérrez (2018). *Escenarios-PNACC 2017: Nueva colección de escenarios de cambio climático regionalizados del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)*. <http://escenarios.adaptecca.es/doc/pnacc.pdf>
  47. Romanello, M., van Daalen, K., Antó, J. M., Dasandi, N., Drummond, P., Hamilton, I. G., Jankin, S., Kendrovski, V., Lowe, R., Rocklöv, J., Schmoll, O., Semenza, J. C., Tonne, C., y Nilsson, M. (2021). Tracking progress on health and climate change in Europe. *The Lancet Public Health*, 6(11), e858–e865. [https://doi.org/10.1016/S2468-2667\(21\)00207-3](https://doi.org/10.1016/S2468-2667(21)00207-3)
  48. Sánchez, J. P., Misztal, I., Aguilar, I., Zumbach, B., y Rekaya, R. (2009). Genetic determination of the onset of heat stress on daily milk production in the US Holstein cattle. *Journal of Dairy Science*, 92(8), 4035–4045. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1626>
  49. Sanz, M. J. y E. Galán, E. (2020). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Recuperado de: [https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/impactosyriesgosccespanawebfinal\\_tm30-518210\\_0.pdf](https://adaptecca.es/sites/default/files/documentos/impactosyriesgosccespanawebfinal_tm30-518210_0.pdf)
  50. Sepúlveda Varas, P., y Wittwer Menge, F. (2017). *Período de transición: Importancia en la salud y bienestar de vacas lecheras*. Universidad Austral de Chile. Recuperado de: <https://consorciolechero.cl/wp-content/uploads/2021/10/2-periodo-de-transicion.pdf>
  51. Somarriba Soley, M. A. (2020). *The effects of stress on the microbial ruminal environment in beef cattle and its relationship to feed efficiency and methane emissions* (Tesis doctoral). University of Edinburgh, Royal (Dick) School of Veterinary Studies. Recuperado de: [https://era.ed.ac.uk/bitstream/handle/1842/38197/Somarriba\\_SoleyMA\\_2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://era.ed.ac.uk/bitstream/handle/1842/38197/Somarriba_SoleyMA_2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
  52. Tait, L. A. (2015). *Heat load alleviation in beef cattle: Water application during continuous high temperature exposure* (Tesis doctoral, The University of Queensland). UQ eSpace. Recuperado de: <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:373569>
  53. Tao, S., Orellana, R. M., Weng, X., Marins, T. N., Dahl, G. E., y Bernard, J. K. (2018). Symposium review: The influences of heat stress on bovine mammary gland function. *Journal of Dairy Science*, 101(6), 5642–5654. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13727>
  54. Thom, E. C. 1959. The Discomfort Index. *Weatherwise* 12: 57-60.
  55. Tomlinson, D. (s.f.). *Estrategias de verano: Gestión del estrés por calor con Rumen First™ Nutrition*. Zinpro. Recuperado de: [https://www.zinpro.com/es\\_es/resource-center/blog/summer-strategies-managing-heat-stress-with-rumen-first-nutrition/](https://www.zinpro.com/es_es/resource-center/blog/summer-strategies-managing-heat-stress-with-rumen-first-nutrition/)

56. Valadez, M., y de la Lama, G. M. (2023). Heat Stress in Cattle. *Animal Behaviour and Welfare Cases*. CABI. <https://doi.org/10.1079/abwcases.2023.0005>
57. Vogt, A., König von Borstel, U., Waiblinger, S., Palme, R., y Barth, K. (2023). Fecal cortisol metabolites reflect transport stress in 3-month-old dairy calves pre- and postweaning: A pilot study. *Journal of Dairy Science*, 106(3), 2124–2136. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22341>
58. Xunta de Galicia. (2016). *Informe de cambio climático de Galicia 2012-2015*. Subdirección Xeral de Meteoroloxía e Cambio Climático. Recuperado de: [https://cambioclimatico.xunta.gal/c/document\\_library/get\\_file?file\\_path=/portal-cambioclimatico/Documentos\\_xeral/INFORMECC2.pdf](https://cambioclimatico.xunta.gal/c/document_library/get_file?file_path=/portal-cambioclimatico/Documentos_xeral/INFORMECC2.pdf)

## Financiación

Este traballo de fin de grao realizouse ao abeiro desta axuda:

Convenio de colaboración entre a Xunta de Galicia e a Universidade de Santiago de Compostela polo que se regula o Campus de Especialización “Campus terra”. Proxecto concedido (2022 PU017) “Estudo do cambio climático sobre a saúde e benestar, eficiencia reproductiva e calidade do leite nas explotacións lácteas da provincia”.



XUNTA  
DE GALICIA

CONSELLERÍA DE CULTURA,  
EDUCACIÓN, FORMACIÓN  
PROFESIONAL E UNIVERSIDADES



Xacobeo 21-22