UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

Facultad de Veterinaria
Universidad de la República
Uruguay

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE VETERINARIA

EQUIPOS DE CAPTURA DE METANO Y BIENESTAR EN VACAS LECHERAS

Por

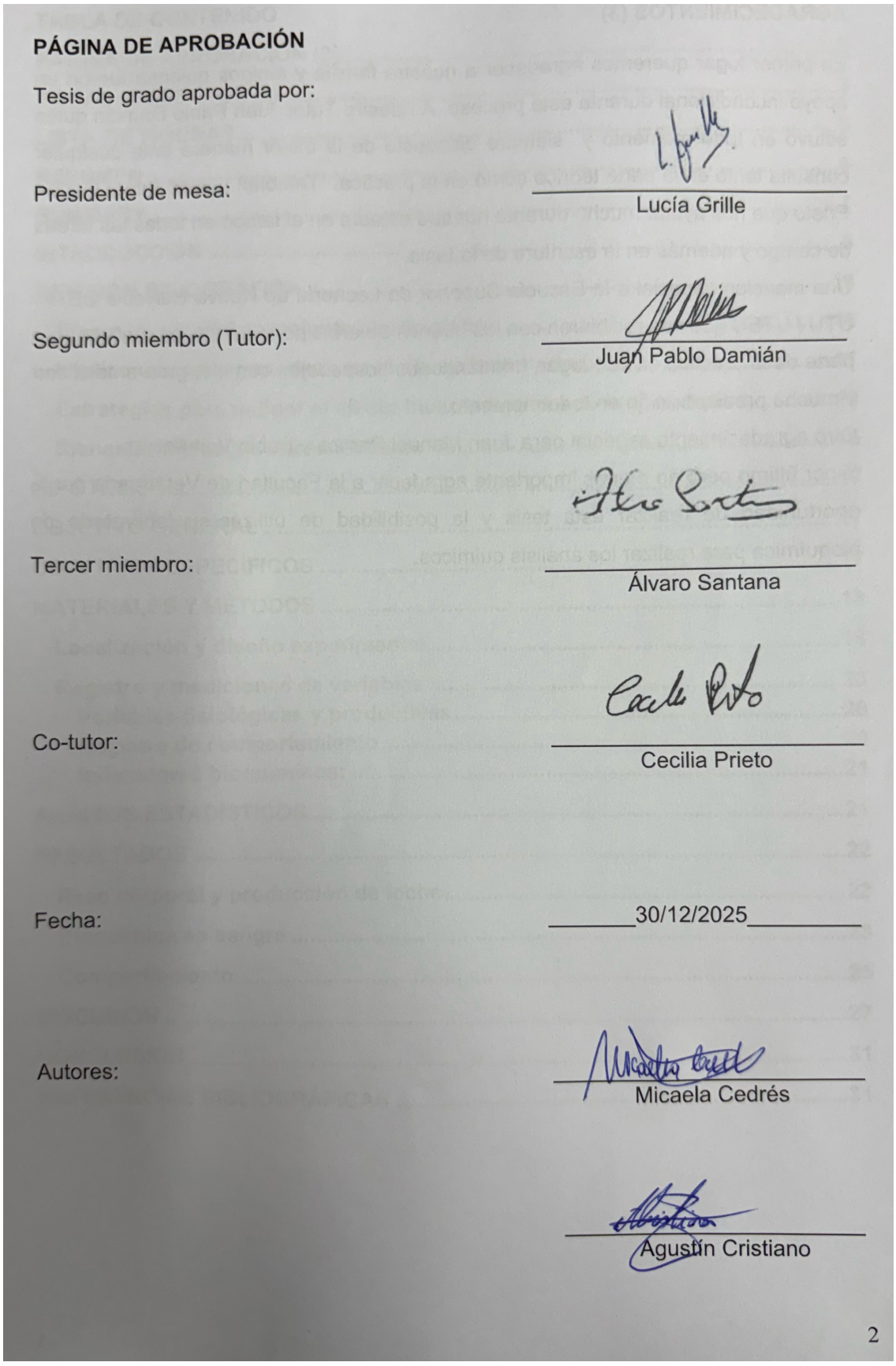
Micaela CEDRÉS MARTÍNEZ
Agustín CRISTIANO BERASAIN

TESIS DE GRADO presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Doctor en Ciencias Veterinarias
Orientaciones**:** Producción Animal
Tecnología, Higiene e Inspección-Control de los Alimentos de Origen Animal

MODALIDAD: Ensayo Experimental

MONTEVIDEO
URUGUAY
2025

PÁGINA DE APROBACIÓN



PÁGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa: Lucía Grille

Segundo miembro (Tutor): Juan Pablo Damián

Tercer miembro: Álvaro Santana

Co-tutor: Cecilia Prieto

Fecha: 30/12/2025

Autores: Micaela Cedrés

Agustín Cristiano

2

AGRADECIMIENTOS (3)

En primer lugar queremos agradecer a nuestra familia y amigos quienes fueron un apoyo incondicional durante este proceso. A nuestro Tutor Juan Pablo Damián quién estuvo en todo momento y siempre dispuesto de la mejor manera ante cualquier consulta tanto en la parte teórica como en la práctica. También a la co-tutora Cecilia Prieto que nos ayudó mucho durante nuestra estadía en el tambo en todas las tareas de campo y además en la escritura de la tesis.

Una mención especial a la Escuela Superior de Lechería de Nueva Helvecia CETP-UTU / UTEC que nos recibieron con las puertas abiertas permitiéndonos realizar gran parte de la práctica en ese lugar, brindándonos hospedaje, comida, gran amabilidad y mucha predisposición en todo momento.

Otro agradecimiento especial para Juan Manuel Ramos y Pablo Voituret.

Y por último pero no menos importante agradecer a la Facultad de Veterinaria por la oportunidad de realizar esta tesis y la posibilidad de utilizar su laboratorio de bioquímica para realizar los análisis quimicos.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN (2) 2
AGRADECIMIENTOS (3) 3
LISTA DE FIGURAS 5
RESUMEN 6
SUMMARY 7
INTRODUCCIÓN 8
REVISIÓN BILIOGRÁFICA 10
Efecto invernadero y calentamiento global 10
Implicancia de la ganadería en el efecto invernadero 11
Estrategias para mitigar el efecto invernadero desde la ganadería 13
Bienestar animal en vacas lecheras 15
HIPÓTESIS 17
OBJETIVO GENERAL 17
OBJETIVOS ESPECÍFICOS 17
MATERIALES Y MÉTODOS 18
Localización y diseño experimental 18
Registro y mediciones de variables 20
Variables fisiológicas y productivas 20
Registro de comportamiento 20
Indicadores bioquímicos: 21
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS 21
RESULTADOS 22
Peso corporal y producción de leche 22
Bioquímica en sangre 23
Comportamiento 25
DISCUSIÓN 27
CONCLUSIÓN 31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Índice de temperatura y humedad mínimo, máximo y promedio, así como la precipitación a lo largo del periodo experimental……..Página 19
Figura 2. Producción de leche (Lts/d) del grupo control (GC: círculos vacíos) y grupo tratado (GT: círculos negros) a lo largo del periodo experimental……..Página 22
Figura 3. Concentración (mg/ml) de indicadores bioquímicos sanguíneos, incluyendo proteínas totales (A), albúmina (B), globulinas (C) y glucosa (D) para el grupo control (GC: círculos vacíos) y grupo tratado (GT: círculos negros). La flecha indica el día (0) que se colocaron los dispositivos al grupo tratado (GT) mientras que al grupo control (GC) no se le colocó ningún dispositivo. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tiempos (P<0,005)…….……Página 24
Figura 4. Porcentaje de tiempo diario (%) en el que se observaron al grupo control (GC: círculos vacíos) y grupo tratado (GT: círculos negros) comiendo (A), rumiando (B) e inactivas (C). La flecha indica el día que se colocaron los dispositivos al grupo tratado (GT) mientras que al grupo control (GC) no se le colocó ningún dispositivo.
……..…….Página 26

RESUMEN

El objetivo de esta tesis fue evaluar si el dispositivo de captura de metano ubicado en la parte frontal de la cabeza de vacas lecheras afecta el bienestar animal y su producción. Para este estudio se utilizaron 20 vacas lecheras en lactación de raza Holstein las cuales fueron bloqueadas por número de lactancias previas, fecha prevista de parto y peso corporal. Posteriormente fueron asignadas al azar a los siguientes grupos experimentales: a un grupo de 10 vacas se les colocó el dispositivo (Grupo tratado) y a un grupo de 10 vacas que fue control no se le colocó el dispositivo (Grupo Control). Con respecto al grupo control (GC), el promedio de los animales en cuanto a peso corporal fue de 590 ± 53,2 kg, días en leche de 141 ± 42,2 días, y número de lactancias 2,7± 0,7 lactancias. El grupo tratado (GT) tuvo un promedio de peso corporal de 598 ± 54,3 kg, días en leche de 141 ± 38,6 días y número de lactancias de 2,6 ± 0,69 lactancias. En este experimento se evaluaron variables fisiológicas (peso corporal) bioquímicas (proteínas totales, globulinas, albúmina y glucosa), el comportamiento de las vacas durante el día (pastando, rumiando e inactivo) y las variables productivas (producción de leche). Se realizaron ANOVA para mediciones repetidas mediante el procedimiento PROC GLIMMIX del SAS, incluyendo como efectos fijos el tratamiento (Grupo tratado vs Grupo Control), el tiempo y la interacción entre ellos. El animal dentro de cada tratamiento fue considerado como efecto aleatorio. Ninguna de las variables evaluadas fue afectada significativamente por la colocación del dispositivo, ya sea considerando el tratamiento como efecto fijo, así como también en la interacción entre tratamiento y tiempo ($p>0.05$). Dado que el uso de este dispositivo no afectó significativamente ninguna de las variables evaluadas, por lo tanto, consideramos que la colocación del dispositivo de captura de metano no interfirió con el bienestar de los animales. Sin embargo, es importante ser cauteloso con los resultados, dado que se evaluó los animales a corto plazo y bajo determinadas condiciones. En conclusión, en base a los resultados obtenidos este estudio evidenció que el uso de dispositivos de captura de metano ubicados en la cabeza de los animales no modificó significativamente los indicadores de bienestar animal, al menos durante el primer mes luego de su colocación.

SUMMARY

The objective of this thesis was to evaluate whether the methane-capturing device located on the front of the head of dairy cows affects animal welfare and production. For this study, 20 lactating Holstein cows were used, which were blocked by the number of previous lactations, expected calving date, and body weight. They were then randomly assigned to the following experimental groups: a group of 10 cows fitted with the device (Treated Group), and a group of 10 cows without the device as a control (Control Group). In the Control Group (CG), the average body weight was 590 ± 53.2 kg, days in milk were 141 ± 42.2 days, and the number of lactations was 2.7 ± 0.7. The Treated Group (TG) had an average body weight of 598 ± 54.3 kg, days in milk of 141 ± 38.6 days, and number of lactations of 2.6 ± 0.69. In this experiment, physiological variables (body weight), biochemical variables (total proteins, globulins, albumin, and glucose), daily behavior of the cows (grazing, ruminating, inactive), and productive variables (milk yield) were evaluated. Repeated measures ANOVA were performed using the PROC GLIMMIX procedure of SAS, including as fixed effects the treatment (Treated Group vs. Control Group), time, and the interaction between them. The animal within each treatment was considered a random effect. None of the variables evaluated were significantly affected by the placement of the device, either considering treatment as a fixed effect or the interaction between treatment and time ($p > 0.05$). Since the use of this device did not significantly affect any of the variables evaluated, we consider that the placement of the methane-capturing device did not interfere with animal welfare. However, it is important to be cautious with these results, as the animals were evaluated in the short term and under specific conditions. In conclusion, based on the results obtained, this study showed that the use of methane-capturing devices located on the animals' heads did not significantly modify animal welfare indicators, at least during the first month after their placement.

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global, impulsado principalmente por el aumento de gases de efecto invernadero debido a actividades humanas, está provocando cambios sin precedentes en los patrones climáticos globales (Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2021). Estos cambios se evidencian a través del incremento de 1,1 ºC de la temperatura global desde la época preindustrial, generando grandes desafíos en la actualidad, ya que son provocados principalmente por actividades del ser humano que alteran la composición de la atmosfera (Ibárcena & Scheelje 2003; Naciones Unidas, s.f.). El calentamiento global generó cambios en el nivel del mar, mayor intensidad de eventos meteorológicos, daños sobre la salud animal y humana a través de la destrucción de ecosistemas, la aparición y reaparición de enfermedades transmitidas por vectores, el aumento de la prevalencia de enfermedades humanas y el daño sobre la seguridad alimentaria (Sánchez et al., 2020). Estos cambios, que involucran tanto la salud humana, animal y del ecosistema, se enmarcan dentro del concepto “Una Sola Salud”, el cual integra y unifica lo mencionado, dejando claro la estrecha interrelación entre los mismos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, s.f.; Roca et al., 2019 ; Watts et al., 2015).

El gas metano (CH_4) es uno de los gases más importantes del efecto invernadero, aumentando sus concentraciones atmosféricas en un 150% desde la época preindustrial, generado principalmente por un incremento en el número de rumiantes, extracciones y uso de combustibles fósiles, aumento de arrozales, vertederos y desechos (IPCC, 2013). En cuanto a la producción de metano por rumiantes, este es generado por la fermentación ruminal (80%) e intestino (20%), en conjunto con la producción de ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono, eliminados a través de la eructación y materia fecal (Clark, 2009). Se estima que las emisiones de metano de los rumiantes pueden representar entre 40% y 45% del 14,5% del total de gases de efecto invernadero que aporta el sector ganadero (Gerber et al.,2013).

El sector ganadero en 2006 recibió grandes críticas a través de un documento realizado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en el que menciona el daño de la ganadería sobre la contaminación atmosférica, la degradación de la tierra, el suelo, la contaminación y escasez de agua,

así como también la reducción de la biodiversidad (FAO, 2006). Sin embargo, en 2018 se publicó un documento realizado por la misma institución, mencionando a la ganadería como parte de la solución al cambio climático, manteniendo la postura del aporte del sector sobre el calentamiento global, pero brindando herramientas para la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero, como la captura de Carbono (C) a través de un mejor manejo de los pastos, mejorar la eficiencia reproductiva de los animales, aumentar la productividad a través de una buena crianza, reducción del estrés y las enfermedades (FAO, 2018).

Desde el año 1960 en adelante, surge a través de manejos inadecuados de animales en los sistemas de producción de ese momento, un cambio en la percepción del ser humano sobre los animales, queriendo conocer el comportamiento y las necesidades de los mismos, lo que llevó a formar posteriormente la ciencia del bienestar animal (Tarazona et al., 2019). El bienestar animal a lo largo de los años ha tenido diferentes definiciones y modificaciones. Por ejemplo, Broom (1986) define al bienestar animal como “el estado del individuo en relación a sus intentos por adaptarse a su entorno” (Broom, 1986). El Farm Animal Welfare Committee (FAWC) en 1992 menciona que para hablar y evaluar el bienestar animal se debe de contemplar 5 libertades, 1) ausencia de hambre y sed, 2) ausencia de incomodidad física y térmica, 3) ausencia de dolor, lesión o enfermedad, 4) ausencia de miedo y estrés y 5) capacidad de manifestar una conducta normal de la especie (FAWC, 1992, como se cita en Damián & Ungerfeld, 2013). Por lo tanto, para poder evaluar el bienestar animal en animales de producción debemos considerar el uso de diferentes tipos de indicadores, como por ejemplo endócrinos, bioquímicos, hematológicos, fisiológicos, comportamentales, y productivos (Damián & Ungerfeld, 2013). En tal sentido, en esta tesis nos proponemos evaluar si el uso de equipos de captura de metano afectan el bienestar de vacas lecheras en lactación, incluyendo indicadores bioquímicos, fisiológicos, comportamentales y productivos.

REVISIÓN BILIOGRÁFICA

Efecto invernadero y calentamiento global

El calentamiento global, impulsado principalmente por el aumento de gases de efecto invernadero debido a actividades humanas, está provocando cambios sin precedentes en los patrones climáticos globales (IPCC, 2021). Todos estos elementos vinculados al calentamiento global pueden generar cambios en el nivel del mar, mayor intensidad de eventos meteorológicos, e incluso generar la desaparición de especies animales y plantas (Roca et al., 2019).

El sistema climático funciona a través de la absorción de radiación solar del planeta tierra, ingresando por la superficie terrestre para ser irradiada nuevamente hacia el espacio, como radiación térmica, terrestre o infrarroja (IPCC, 1992). Esta radiación térmica es absorbida parcialmente por gases radiactivos conocidos como gases de efecto invernadero (GEI), que incrementan la temperatura de la tierra al no permitir una mayor pérdida de calor (IPCC, 1992).

Esta variación de temperatura y clima conocido como “cambio climático” se ha incrementado por encima de 1,1ºC desde la época preindustrial y permite grandes desafíos en la actualidad, ya que es provocado principalmente por actividades del ser humano que alteran la composición de la atmósfera global (Ibárcena & Scheelje, 2003; Naciones Unidas, s.f). El efecto invernadero genera cambios que involucran tanto la salud humana, animal y del ecosistema, se enmarcan dentro del concepto “Una sola Salud”, el cual integra y unifica lo mencionado, dejando claro la estrecha interrelación entre los mismos (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2021; Roca et al., 2019, Watts et al., 2015). Estos elementos permiten contemplar la importancia del cuidado y mantenimiento para la prevención y control de amenazas que se presentan en la actualidad, como aumentos significativos de sequías, inundaciones, incendios, tormentas intensas, riesgo de extinción de especies animales y plantas; así como también en la contaminación del aire, propagación de vectores de enfermedades, zoonosis e inseguridad alimentaria (FAO, s.f ; Roca et al., 2019; Watts et al., 2015)

En relación al calentamiento global, es importante mencionar que los gases de efecto invernadero (GEI) son compuestos principalmente por dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N2O) y metano (CH_4) (Ordoñez Vargas, Posada-Ochoa & Rosero-Noguera, 2013). Los mismos se obtienen en su mayoría por actividades humanas, como por ejemplo la quema de combustibles, uso de vehículos, industrias, actividades agrícolas, destrucción de bosques naturales, entre otros (Roca et al., 2019). Desde la época industrial, actualmente nos encontramos con un aumento considerable de los GEI, principalmente del CO_2 que incrementó un 40 % su producción a través de combustibles fósiles y cambios del uso de suelos; el CH_4, duplicando su producción y el N2O aumentando un 20% (Rivera & Chará. 2021).

Implicancia de la ganadería en el efecto invernadero

El metano es uno de los gases más importantes dentro del efecto invernadero, debido a su alto poder de calentamiento, proviniendo principalmente de la extracción y uso de combustibles fósiles, arrozales, vertederos y de rumiantes (IPCC, 2013). La producción de metano por rumiantes es generado por la fermentación ruminal (80%) e intestino (20%), en conjunto con la producción de ácidos grasos volátiles y dióxido de carbono, eliminados a través de la eructación y materia fecal (Clark, 2009). Se estima que las emisiones de metano de los rumiantes pueden representar entre 40% y 45% del 14,5% del total de gases de efecto invernadero que aporta el sector ganadero (Gerber et al., 2013).

A nivel nacional, los GEI de mayor emisión son: dióxido de carbono (89%), metano (10%) y óxido nitroso (8%), de acuerdo al último informe Nacional de Gases de Efecto Invernadero publicado en 2023 por el Ministerio de Ambiente (2023). El metano y el óxido nitroso tienen la particularidad de tener un poder potencial de calentamiento de 23 y 296 veces, respectivamente más que el CO_2 y el permanecer en la atmósfera hasta 10 años (metano) y 120 años (óxido nitroso) (IPCC, 2001). Esto se explica a través de equivalencias realizadas con el CO_2 para poder comparar y analizar el poder de calentamiento de cada gas en particular, y para ello se utiliza como unidad al potencial de calentamiento global (CWP) de cada gas (Modernel, 2011). En nuestro país, si contemplamos el CWP de cada gas, aproximadamente el 75% de los GEI

emitidos se deben al sector agrícola, particularmente a la ganadería, proviniendo de la fermentación ruminal para el caso del metano y excretas animales para el óxido nitroso (Ministerio de Ambiente, 2023).

La actividad pecuaria en 2006 fue nombrada como uno de los sectores de mayor repercusión en problemas medioambientales a nivel mundial, responsable del 18% de las emisiones de GEI medida como CO_2 equivalente y del 9% de CO_2 de origen antropogénico, que corresponde a lo generado por actividades humanas (FAO, 2006). Este sector representa mas del 50% de las emisiones generadas por la silvicultura y agricultura y si contemplamos las actividades agrícolas representa el 80% de las mismas (FAO, 2006). Pero es importante mencionar que los productos pecuarios como la carne, leche y huevos aportan un 34% de la proteína consumida en el mundo y se mantiene una demanda en crecimiento a lo largo de los años debido a cambios o preferencias alimenticias de la población, así como el aumento de los ingresos que impulsan un mayor consumo (FAO, 2006; FAO, 2018). Por estas y otras razones en 2013 si bien se mantiene el análisis realizado sobre la importancia de la ganaderia y actividad pecuaria en el calentamiento global, se menciona que la ganadería y más la extensiva puede colaborar de manera importante a la mitigación de GEI (FAO, 2013). Esto evidencia la importancia que representa la producción ganadera, considerando además, que la misma en el territorio nacional contribuye con un 3,4% del Producto Interno Bruto (PIB), además se destinan al sector 6.467mil millones de hectáreas (ha), es decir un 40% del total nacional y contiene 11.572.000 animales bovinos (Becoña, 2012; Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca, 2023).

El gas metano es producido como subproducto de la fermentación microbiana de carbohidratos fibrosos en el rumen, a través de la cual se forman entre otras cosas CH_4, CO_2 y ácidos grasos volátiles (acetato, propionato y butirato), los cuales son la fuente principal de energía del rumiante (Immig, 1996). Es conocido que la fermentación ruminal, es un proceso que ocurre en el rumen, el cual se caracteriza por contener un ambiente anaerobio, donde los componentes vegetales como la celulosa, hemicelulosa y almidón son degradados por microorganismos (bacterias, protozoarios y hongos) obteniendo monómeros que son fermentados en productos más simples. Durante la fermentación se generan grandes cantidades de H_2, sin embargo la presión parcial de H_2 se mantiene baja sobre el rumen gracias a las

bacterias metanogénicas, que lo utilizan para formar CO_2 y CH_4, permitiendo una mayor rotación de carbono, una mayor oxidación de los productos finales y un mayor crecimiento de organismos (Immig,1996). Dependiendo de la dieta que consuman los rumiantes, pueden llegar a perder una proporción de energía digestible en forma de metano entre un 2% a un 12% (Capper & Bauman, 2013).

Estrategias para mitigar el efecto invernadero desde la ganadería

Para mitigar las emisiones de metano de los rumiantes, se han desarrollado diferentes opciones basadas en animales. A modo de ejemplo, se han explorado las siguientes opciones:

a) la selección de animales a través de la genética, realizada por Congio, Bannink, Mogollón y colaboradores del proyecto metano latinoamérica, a través de cruzamientos de razas bovinas como por ejemplo Holstein y Gyr logrando una disminución de un 37,6% de la producción de CH_4 por unidad de producción de leche (Congio et al., 2021). Otro estudio realizado en Nueva Zelanda por Piñares-Patiño en 2013, en 1255 ovinos, donde se medían las emisiones de metano a través de cámaras de respiración, reportaron la existencia de variaciones genéticas entre los animales para la emisión de metano (Piñares-Patiño et al., 2013). La heredabilidad genética para la producción de CH_4 fue de 0,23, realizado por Zetouni et al. (2018).

b) ajustar las intensidades de pastoreo con cargas animales bajas sobre las pasturas permitió una disminución de un 13,8 % de un factor convertidor de metano (Ym), que es la energía bruta del metano como porcentaje de GEI (Congio et al., 2021). Como ejemplo, se realizó un estudio en vacunos de carne, de leche y ovinos donde el 87% promedio de la dieta estaba compuesta por forrajes como Orochloa, Alfalfa, Lotus, Avena, Festuca, Pennisetum y Tréboles (Congio et al., 2021). Cuando estas dietas se utilizan con estrategias de manejo eficientes, como el pastoreo rotacional, o se complementan mediante la inclusión de suplementos proteicos o concentrados energéticos (por ejemplo, harina de semilla de algodón), pueden reducir entre un 22% y un 37% las emisiones de metano además de mejorar la productividad (Congio et al., 2021).

c) la inclusión de subproductos de cultivos en la dieta o extractos naturales de plantas como estrategias para mitigación de metano entérico.

En Perú, el Insituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) realizó un estudio donde evaluó el efecto de suplementar con concentrados fibrosos a vacas lecheras durante el periodo seco (Roque et al., 2014). El mismo demostró que aquellas vacas a las que se les administró 4 kg de concentrado fibroso por día tuvieron una disminución en las emisiones de metano entérico, mayor ganancia de peso, mejor condición corporal y mayor producción de leche en comparación con vacas alimentadas con forrajes tradicionales (Roque et al., 2014).

d) mediante el uso de aditivos, como el ácido láurico, ácido mirístico, aceite de linaza y fumarato de calcio, los cuales lograron una disminución en el emisión de CH_4 (g/d) en un 10% (Van Zijderveld et al., 2011). Otro aditivo utilizado fue la monensina, la cual permite una mayor eficiencia en la utilización del alimento lo que podría reducir la producción de CH_4 de origen digestivo emitido por los animales y el manejo del estiércol (Capper & Bauman, 2013; Congio et al., 2021; Gerber et al., 2013; Karakurt & Aydiner, 2012). En la actualidad, el uso de la monensina está prohibido en la Unión Europea debido a su carácter de antibiótico promotor de crecimiento, que desarrolla resistencias tanto en animales como en humanos (Cepero Briz, 2005). Suecia fue el primer país en tomar esta medida, a partir de 1986 (Cepero Briz, 2005). En Uruguay, a partir de noviembre de 2024 se estableció el decreto 332/024 el cual prohíbe la importación, fabricación, comercialización y uso de alimentos para animales de las especies productivas que contengan antibióticos con la finalidad de promover el crecimiento (Uruguay, 2024).

e) Utilización de máscaras para mitigar la emisión de metano:

Existen elementos o equipos que pueden ser usados como máscaras que permiten ser ubicados en la cabeza del bovino con el objetivo de captar y neutralizar las emisiones de metano. A modo de ejemplo, Zero Emissions Livestock Project (ZELP), una empresa británica, desarrolló una máscara portátil que va colocada en la cabeza de las vacas y convierte el metano exhalado en dióxido de carbono y vapor de agua. Se prevee que estos dispositivos pueden capturar más de la mitad de las emisiones de metano generadas por las vacas lecheras (Infocampo, 2020).

Bienestar animal en vacas lecheras

Según Broom (1986) “el bienestar es el estado del individuo en relación a sus intentos por adaptarse a su entorno”, de modo que los cambios en los sistemas y/o entornos pueden afectar el bienestar animal. Por otro lado, para evaluar el bienestar animal, el consejo Británico asesor en temas de animales de granja propuso el concepto de las 5 libertades (Farm Animal Welfare Communitte [FAWC], 1992). Estas libertades para considerar el estado de bienestar de un animal son: 1) ausencia de hambre y sed, 2) ausencia de incomodidad física y térmica, 3) ausencia de dolor, lesión o enfermedad, 4) ausencia de miedo y estrés, 5) capacidad para mostrar la conducta normal de la especie (FAWC, 1992). Para poder entender y facilitar de manera mas práctica la evaluación del bienestar animal se creó un modelo con 5 dominios, caracterizándose principalmente por aspectos vinculados a la emoción animal, es de decir aquellas experiencias subjetivas que tienen los animales como la presencia o ausencia de estados físicos internos y aquellas circunstancias externas que generan experiencias negativas o positivas (Mellor, 2017). Este modelo representa las principales áreas de evaluación, contemplando a la nutrición, el entorno, la salud, el comportamiento y el estado mental (Mellor, 2017). Si nos centramos de manera individual sobre cada modelo podemos decir que los tres primeros se enfocan en perturbaciones internas relacionadas con la alimentación, el ambiente y la salud, mientras que el cuarto dominio aborda restricciones externas como el confinamiento o la interacción con otros animales y por último el estado mental está compuesto por aquellas experiencias subjetivas del animal como las emociones y sensaciones que surgen de los primeros cuatro dominio y permiten evaluar el bienestar general (Mellor, 2017). El bienestar animal se puede evaluar mediante indicadores conductuales, fisiológicos, bioquímicos, productivos y de salud (Arnott et al., 2017; Broom, 1991; Broom & Fraser, 2007; Von Keyserlingk et al., 2009; Grille et al., 2019, Pons et al., 2023).

En los sistemas de producción de leche se mencionan varios aspectos donde el bienestar animal puede llegar a estar afectado, por ejemplo, las instalaciones donde el material, la suciedad y el drenaje de los pisos, paredes y puertas pueden llegar a causar numerosos daños sobre el animal, como dificultad para moverse, lesiones traumáticas, riesgos de enfermedades respiratorias y mastitis (Tarazona et al., 2019). Otro ejemplo importante es la interacción humana-animal, la cual puede generar

lesiones y estrés en aquellos lugares donde se agrupan animales sin conocer el comportamiento normal de la especie y su biología (Tarazona et al., 2019).
Existen diversos indicadores que permiten medir el bienestar animal (Huertas et al., 2013). Algunos indicadores indirectos, los cuales se basan en registros del medio ambiente que rodea al animal (Manteca, 2009). Y los indicadores directos (aquellos basados en el animal) clasificados en fisiológicos, bioquímicos, comportamentales y relacionados a la producción por ejemplo las proteínas de fase aguda y la glucosa(Huertas et al., 2013; Manteca, 2009). Por otro lado, se encuentran los indicadores
Estas sustancias se liberan al torrente sanguíneo tras una situación de estrés y pueden ser medidas en sangre, orina, materia fecal, saliva o leche, proporcionando así una orientación sobre el estado fisiológico del animal (Huertas et al., 2013; Damián et al., 2015). Para determinar los indicadores comportamentales es muy importante conocer lo normal de un animal, de tal manera de poder detectar comportamientos anormales (Huertas et al., 2013). Durante el día, los animales destinan más del 90% del tiempo en rumiar, comer y descansar, siendo claros indicadores de bienestar (Arnott et al., 2017; Charlton & Rutter, 2017) . Al enfrentarse a situaciones estresantes o incómodas, pueden presentar cambios en su comportamiento llevando a comprometer su bienestar (Anderson, 2003). Además, en cuanto a indicadores directos vínculados a la producción, se encuentra la producción de leche, dado que cuando su bienestar está comprometido la producción de leche disminuye (Grille et al., 2019; Morales-Piñeyrúa et al., 2022).

Debido a que la colocación de un dispositivo desconocido en la cabeza de las vacas lecheras puede resultar negativo para estos animales, es que en este estudio nos proponemos determinar si los dispositivos de captura de metano ubicados en la parte frontal de la cabeza de las vacas lecheras afectan el bienestar animal utilizando indicadores productivos, comportamentales, bioquímicos y fisiológicos.

HIPÓTESIS

El uso del dispositivo de captura de metano ubicado en la parte frontal de la cabeza de vacas lecheras, durante la etapa de lactancia, afecta su bienestar y su producción durante el primer mes luego de la colocación del mismo.

OBJETIVO GENERAL

Determinar si el dispositivo de captura de metano colocado sobre la cabeza de vacas lecheras afecta negativamente el bienestar animal y su producción.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar si el dispositivo de captura de metano colocado sobre la cabeza de vacas lecheras afecta:

-Las variables fisiológicas y bioquímicas (peso vivo, y concentración de proteínas totales, globulinas, albúmina y glucosa en sangre)

-El comportamiento de las vacas (comiendo, rumiando e inactivo)

-La producción de leche individual (Lts/día)

MATERIALES Y MÉTODOS

El protocolo de este experimento fue aprobado por la Comisión de Ética en el Uso de Animales (CEUA-FVET-1179, No. Exp. 111900-000919-20), Facultad de Veterinaria, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Localización y diseño experimental

El trabajo experimental a campo se realizó del 19 de octubre de 2020 al 25 de noviembre de 2020 en el tambo tecnológico de la Escuela Superior de Lechería de Nueva Helvecia CETP-UTU / UTEC (Federico Fischer Km 123.500, 70201 Nueva Helvecia, Departamento de Colonia). El mismo comprende unas 135 hectáreas. Con respecto a la infraestructura, este tambo cuenta con una sala de ordeño tipo “espina de pescado” con 12 órganos y retiradores automáticos conectados a un software dairy plan C21 (GEA Farm Technologies, Aktiengesellschaft, Bönen, Germany) el cual permite obtener la identificación del animal, la producción de leche individual y asignarle de manera automática e individual a cada animal la alimentación correspondiente durante en el ordeño. El ordeño se realizaba dos veces al día, 6:30 H y 16:30 H y se les suministraba 4 kg de maíz molido diarios por vaca, 2 kg en la mañana y 2 kg en la tarde. Esta suplementación se realizaba en la sala de ordeño, a cada vaca de forma individual. Con respecto al manejo pastoril del tambo, ambos grupos pastorearon conjuntamente durante todo el período experimental y se utilizaba el manejo 3R (recorrida, rotación y remanente) del INIA La Estanzuela, con pasturas compuestas por *Festuca arundinacea, Dactylis Perseo, Avena Sativa y Cichorium intybus*. Estas pasturas formaban parte de parcelas diarias delimitadas con piolas eléctricas determinadas por los requerimientos de materia seca (kg) por animal por día (aproximadamente 16 kg de materia seca) dejando un remanante de 4 cm por parcela.

Para este estudio se utilizaron vacas lecheras en lactación de raza Holstein, las cuales fueron bloqueadas por número de lactancias previas (mínimo 2) , fecha prevista de parto (Abril de 2020) y peso corporal. Posteriormente fueron asignadas al azar a los siguientes grupos experimentales: un grupo de 10 vacas que se les colocó el dispositivo (Grupo tratado - GT) el día 0 (27/10) y un grupo de 10 vacas que fue control y no utilizó dispositivo alguno (Grupo Control - GC). Con respecto al grupo control

(GC), el promedio de los animales en cuanto a peso corporal fue de 590 ± 53,2 kg, días en leche de 141 ± 42,2 días, y número de lactancias 2,7± 0,7 lactancias. El grupo tratado (GT) tuvo un promedio de peso corporal de 598 ± 54,3 kg, días en leche de 141 ± 38,6 días y número de lactancias de 2,6 ± 0,69 lactancias.

Los datos de temperatura y humedad, así como de la precipitación fueron obtenidos de la estación meteorológica del INIA La Estanzuela, Colonia. El índice de temperatura-humedad (ITH) fue determinado según Mader et al. (2006). El ITH mínimo (mín), promedio y máximo (máx), así como la precipitación durante el período experimental es mostrada en la Figura 1

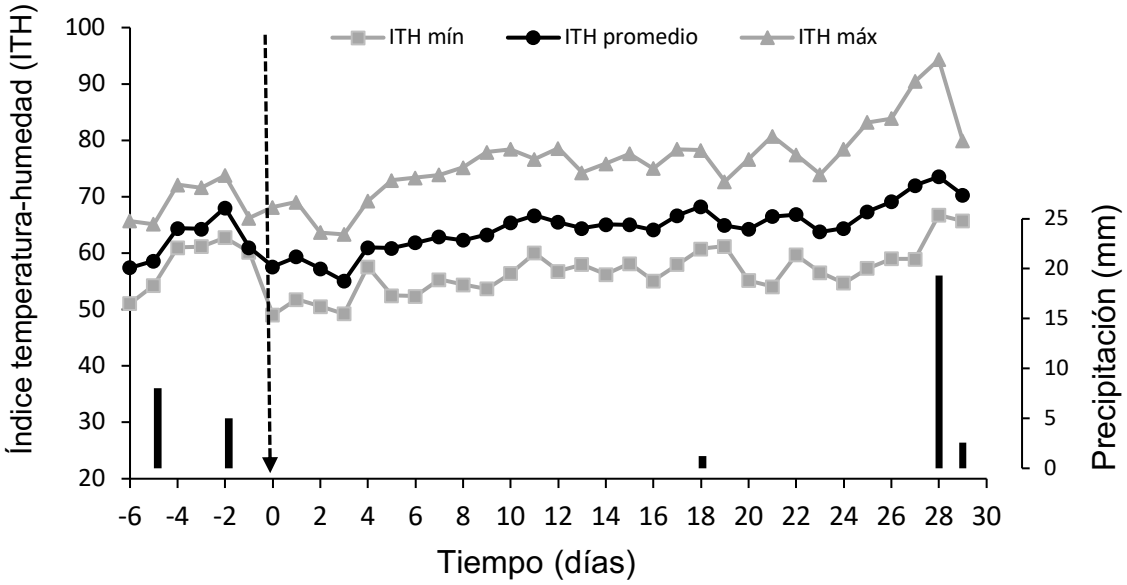


Figura 1. Índice de temperatura y humedad mínimo, máximo y promedio, así como la precipitación a lo largo del periodo experimental.

ITH min: Índice de temperatura y humedad mínimo (cuadrados) . **ITH promedio**: Índice de temperatura y humedad promedio (círculos) . **ITH máx**: Índice de temperatura y humedad máximo (triángulos).

La flecha indica el día de colocación de dispositivos al grupo tratado (GT).

Registro y mediciones de variables

Variables fisiológicas y productivas

· *Peso corporal:* Para el peso corporal se utilizó la balanza marca Terko, modelo 3515 y se evaluó siete días antes (día -7) de la colocación de los dispositivos al Grupo Tratado (día 0) y el día 29 posterior a la misma.

· *Producción de leche:* La producción de leche se obtuvo de forma individual los días -6, 2, 7, 14, 21 y 28 a través de medidores Metatron (GEA Farm Technologies, Aktiengesellschaft, Bönen, Germany) integrados en el software Dairy Plan C21 (GEA Farm Technologies, Aktiengesellschaft, Bönen, Germany) instalado en el tambo.

Registro de comportamiento

· *Comportamiento en base a collares:* UTEC disponía de sensores "CowScout" de la empresa GEA (GEA Farm Technologies, Aktiengesellschaft, Bönen, Germany) que fueron colocados en el cuello de los animales de ambos grupos en el collarín que disponían para detección de celo y gestión sanitaria. Con esta tecnología se pudieron evaluar datos comportamentales tales como: tiempo comiendo, rumiando e inactivo. Esta información se obtuvo a través de los collares que mediante la posición de la cabeza del animal y acelerómetros detectan patrones de movimientos específicos relacionados a la ingesta, rumia e inactividad, calculando el tiempo diario (horas) que estuvo realizando cada actividad. Luego de obtener las horas que realizaba las actividades cada animal, se sumaban las mismas y se expresaban en 24 horas como porcentaje. Toda esta información se registraba de manera continua durante el día a través de la computadora del tambo. Para ello no se modificó la rutina ni el funcionamiento del Tambo. Se tomaron los datos de todos los días desde el día -6 hasta el día 28 posterior a la colocación de los dispositivos. El acceso a éstos se realizaba desde el tambo ya que estos datos se descargaban automáticamente cuando el animal ingresaba a éste.

Indicadores bioquímicos:

Se tomaron muestras de 5 mL sangre de la vena coccígea después del ordeño de la mañana los días -5, 1, 8, 15, 22 y 29. Las muestras fueron tomadas en tubos al vacío (vacutainer, Becton Dickinson, EUA) con y sin anticoagulante para cada animal, identificadas con número del animal y fecha de extracción y almacenadas en freezer (-20°C) hasta la determinación en el Laboratorio. A partir de estas muestras se obtenía el suero o plasma por centrifugación durante 10 min a 2500 x g (RCF). Posteriormente se realizó la determinación de proteínas totales y albúmina mediante kits comerciales (Biosystem, Barcelona, España) en el laboratorio de Bioquímica de la Facultad de Veterinaria. Se estimó la concentración de globulinas por diferencia entre proteínas totales y albúmina (Grille et al., 2019) A su vez, se analizó glicemia a través de muestras de plasma mediante kit comercial (Biosystem, Barcelona, España).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

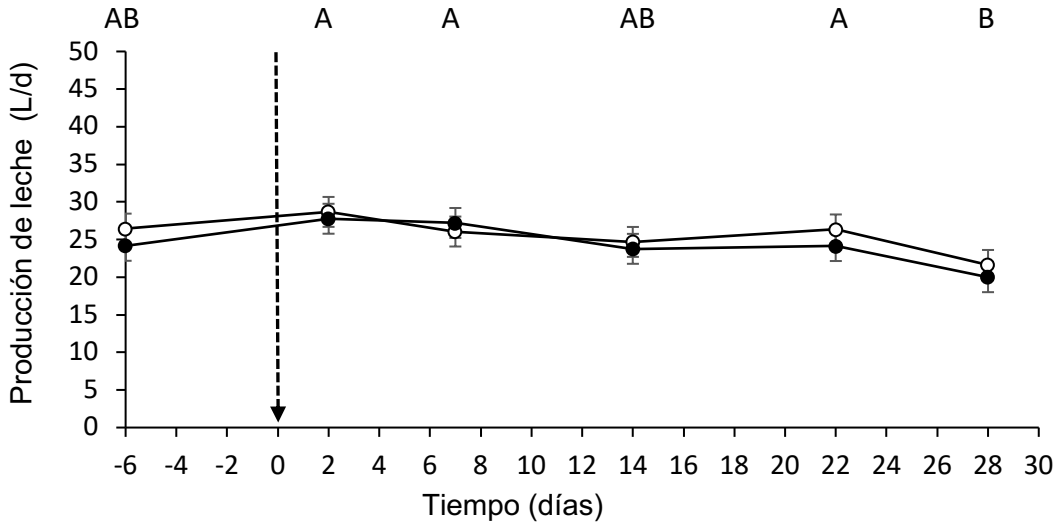
Se realizaron ANOVA para mediciones repetidas mediante el procedimiento PROC GLIMMIX del SAS, incluyendo como efectos fijos el tratamiento, el tiempo y la interacción entre ellos. El animal dentro de cada tratamiento fue considerado como efecto aleatorio. Para las variables de comportamiento, los días previos a la colocación del dispositivo fueron incluidos como covariable, mientras que en las muestras de sangre el día -5 y en la producción de leche el día -6 fueron considerados como covariables en el modelo. Esto permitió comparar valores previos de los animales a la colocación de dispositivos con la respuesta posterior a la misma. Se utilizó una estructura de covarianza de orden 1. Las comparaciones pos-hoc se realizarán con el test de Tukey. Se consideró significancia a un nivel alfa del 5%.

RESULTADOS

Peso corporal y producción de leche

No hubo efecto significativo del tratamiento sobre el peso corporal (GC: 590,0 ± 17,2 Kg vs GT: 600,3 ± 17,2 Kg, $F_{(1,18)}$=0,18, p=0,679). No hubo un efecto significativo del tiempo ($F_{(1,18)}$=1,21, p=0,285) ni de la interacción entre tratamiento y tiempo ($F_{(1,18)}$=1,01, p=0,328) en el peso corporal.

La producción de leche no se afectadó por el tratamiento (GC: 26,3±1,5 Lt/d vs GT: 23,6±1,5 Lt/d, $F_{(1,18)}$=1,70, p=0,209), ni por la interacción entre tratamiento y tiempo ($F_{(4,72)}$=0.31, p=0,872), pero sí hubo un efecto significativo del tiempo ($F_{(4,72}$)=8,53, p<0,0001), la cual disminuyó hacia el día 28, donde se presentó el menor valor de producción para el total de los animales. (Fig 2).



La flecha indica el día que se colocaron los dispositivos al grupo tratado (GT) mientras que al grupo control (GC) no se le realizó nada.
Letras diferentes indican diferencias significativas entre tiempos (P<0,005)

Figura 2. Producción de leche (Lts/d) del grupo control (GC: círculos blancos) y grupo tratado (GT: círculos negros) a lo largo del periodo experimental.

Bioquímica en sangre

El tratamiento no afectó a ninguno de los indicadores bioquímicos sanguíneos analizados: proteínas totales (GC: 79,7±0,9 mg/mL vs. GT: 78,9±0,9 mg/mL, $F_{(1,18)}$=1.70, p=0,524), albúmina (GC: 26,0±0,5 mg/mL vs. GT: 26,1±0,5 mg/mL, $F_{(1,18)}$=0.09, p=0,874), globulina (GC: 53,3±1,2 mg/mL vs. GT: 53,2±1,2 mg/mL, $F_{(1,18)}$=0.47, p=0,955) y glucosa (GC: 57,0±0,9 mg /dL vs GT: 58,6±0,9 mg/dL, $F_{(1,18)}$=0.75, p=0,233). No hubo interacción significativa entre el tratamiento y el tiempo en ninguno de ellos. Las concentraciones de albúmina ($F_{(4,72)}$=3.22, p=0.02) y glucosa ($F_{(4,72)}$=12.09, P<0.0001) variaron con el tiempo (Fig 3), pero no así las concentraciones de proteína total ($F_{(4,72)}$=0.37, P=0.37y globulina ($F_{(4,72)}$=1.32,P=0.26) (Fig 3).

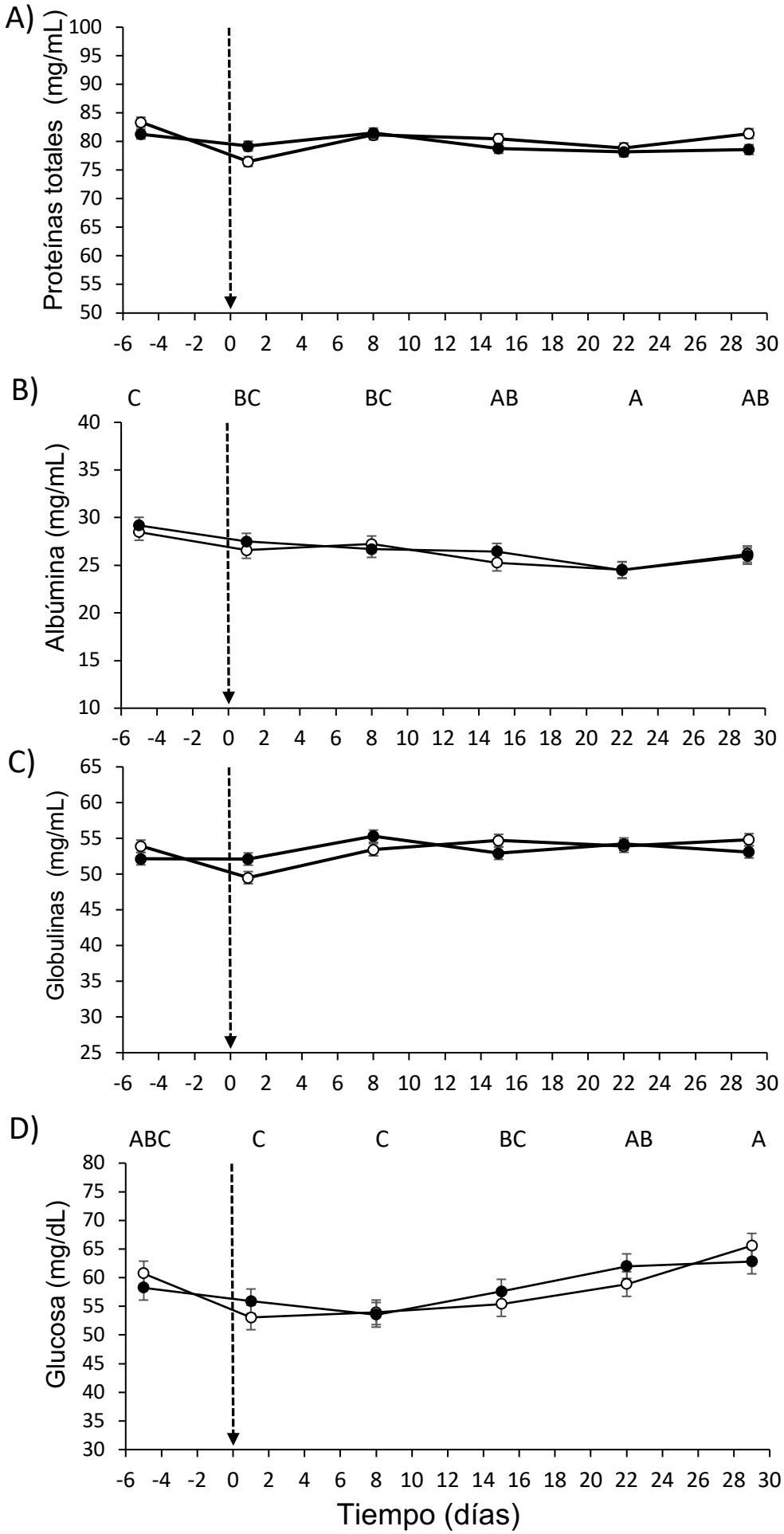

A)
Proteínas totales (mg/mL)
100
95
90
85
80
75
70
65
60
55
50
-6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
B)
C BC BC AB A AB
Albúmina (mg/mL)
40
35
30
25
20
15
10
-6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
C)
Globulinas (mg/mL)
65
60
55
50
45
40
35
30
25
-6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
D)
ABC C C BC AB A
Glucosa (mg/dL)
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
-6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
Tiempo (días)

Figura 3. Concentración (mg/ml) de indicadores bioquímicos sanguíneos, incluyendo proteínas totales (A), albúmina (B), globulinas (C) y glucosa (D) para el grupo control (GC: círculos vacíos) y grupo tratado (GT: círculos negros). La flecha indica el día (0) que se colocaron los dispositivos al grupo tratado (GT) mientras que al grupo control (GC) no se le colocó ningún dispositivo. Las letras diferentes indican diferencias significativas entre tiempos (P<0,005).

Comportamiento

El GT tendió a rumiar menos (GC: 36,3±0,5% vs GT: 34,9±0,5 %, $F_{(1,18)}$=4.06, p=0,060) y tendió a comer con más frecuencia (GC: 39,9±0,6% vs GT: 40,6±0,6%, $F_{(1,18)}$=3.28, p =0.087) que el GC (Figura 4). No hubo efecto del tratamiento en el comportamiento inactivo ($F_{(1,18)}$=0.05, p=0.83). Hubo efecto tiempo en las variables de comportamiento evaluadas: rumiando: $F_{(28,504)}$=12.56; comiendo: $F_{(28,504)}$=18.60; inactiva: $F_{(28,504)}$=17.14; p<0.0001), pero no hubo interacción entre tratamiento y tiempo (Fig 4).

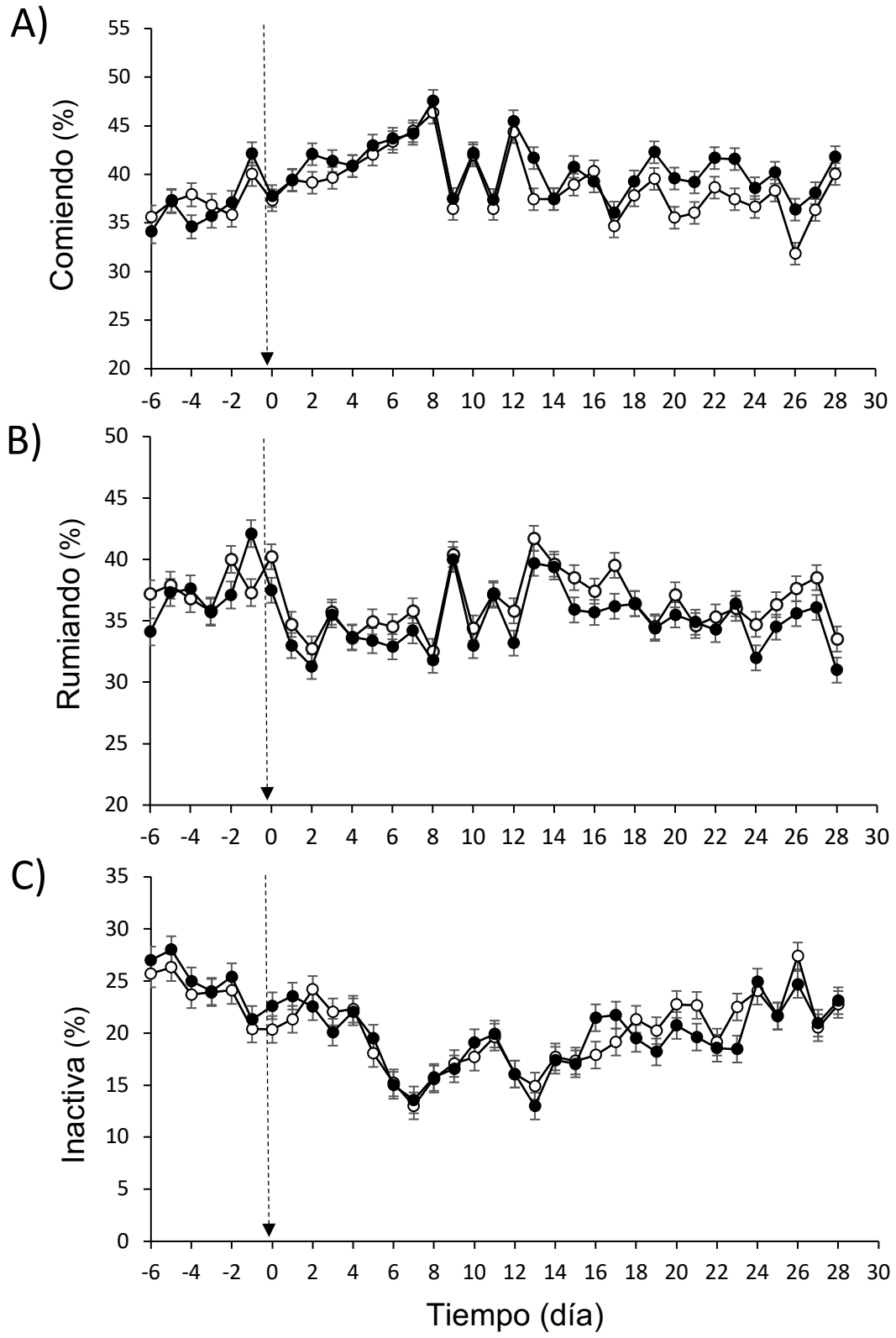

A)
Comiendo (%)
55
50
45
40
35
30
25
20
-6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
B)
Rumiando (%)
50
45
40
35
30
25
20
-6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
C)
Inactiva (%)
35
30
25
20
15
10
5
0
-6 -4 -2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30
Tiempo (día)

Figura 4. Porcentaje de tiempo diario (%) en el que se observaron al grupo control (GC: círculos blancos) y grupo tratado (GT: círculos negros) comiendo (A), rumiando (B) e inactivas (C). La flecha indica el día que se colocaron los dispositivos al grupo tratado (GT).

DISCUSIÓN

En base al conjunto de resultados obtenidos, en este estudio se evidenció que el uso de dispositivos de captura de metano ubicados en la cabeza de los animales no modificó significativamente los indicadores de bienestar animal, al menos durante el primer mes luego de su colocación. Sin embargo, consideramos que se debería evaluar durante un periodo de mayor tiempo y en diferentes estaciones, ya que las vacas se encontraron en primavera donde la temperatura ambiental es adecuada. En verano donde las temperaturas ambientales son elevadas y podrían repercutir en los animales del GT, ya que el dispositivo podría generar una mayor liberación de calor y en consecuencia se podría elevar la frecuencia respiratoria, disminuir el tiempo comiendo y afectar el organismo en general, complementando el estrés térmico (Giannone et al., 2023). Más allá de estas consideraciones, en las condiciones realizadas en este estudio, el equipo de captura de metano ubicado en la cabeza de los animales no afectó su bienestar, sea evidenciado en los indicadores de comportamiento, indicadores en sangre, peso corporal, así como tampoco en la producción de leche.

El peso corporal de los animales no mostró variaciones significativas. Esto coincide con el estudio de Verdon, Langworthy y Rawnsley (2021), en el cual se colocó un dispositivo que emitía señales sonoras o eléctricas para un cercado virtual sobre el cuello de vacas lecheras de razas Holstein, Jersey y Jersey x Holstein. Además, este trabajo de Verdon y colaboradores coincide con los obtenidos en este estudio en el patrón de comportamiento digestivo, así como en el locomotor, donde tampoco se encontraron diferencias significativas entre los grupos. Otro aspecto importante a tener en cuenta, es que los animales no presentaron comportamientos anormales

frente al dispositivo, como puede ser afecciones que generen dolor, molestias, estereotipias que repercutan en el consumo animal.

En relación a la producción de leche, durante un mes de registro, no se encontraron diferencias entre grupos. Este resultado también coincide con el estudio mencionado anteriormente de Verdon, Langworthy y Rawnsley (2021), en el cual la producción no se vió afectada por el tratamiento. Aunque el enfoque del estudio estaba dirigido hacia otros fines, a pesar del uso del collar y las señales emitidas y recibidas, al igual que en nuestro trabajo, la producción de leche no fue afectada. Este indicador productivo también se encuentra en el mismo sentido de la falta de diferencias significativas en el peso corporal y comportamiento. Sin embargo, hubo efecto del tiempo para el conjunto de animales, es decir, hubo una disminución en la producción de leche en ambos grupos al final del experimento. Como esta caída en la producción de leche se evidenció en ambos grupos, no podemos atribuirlo a que es debido al uso del dispositivo en sí mismo. La caída en la producción al final del experimento puede estar asociado a temperaturas climáticas elevadas, como se puede observar en la Figura 1. La disminución de la producción de unos 25,23 litros a 20,81 litros promedio de producción diaria se evidenció desde el día 22 (18/11) al día 28 (24/11) del experimento. Podemos mencionar que durante esos días se presentaron temperaturas máximas promedio de 28,7°C y un ITH promedio máximos de 82,76. Si se consideran los valores de referencia propuestos por Mader et al. (2006), el cual establece que valores diarios promedio entre 79 y 83 estaríamos en un estado de riesgo de estrés calórico, es posible que los animales estuvieran experimentando algún grado de estrés térmico. En los días 25 y 26 del experimento tenemos registrado que fueron días intensos de calor y el día 26 los animales estuvieron en un potrero el cual no contaba con sombra. Por lo tanto, es posible atribuir la caída de producción al final de experimento a un estrés térmico de los animales, lo cual ya ha sido reportado tanto en nuestro país como en otros, por ejemplo un trabajo realizado en China por Zeng y colaboradores (2023) donde menciona que el estrés térmico genera una disminución en la producción de leche debido a una limitación en el metabolismo y transporte de oxígeno (Morales-Piñeyrúa et al., 2022; Zeng et al., 2023; Cheng et al., 2024). Además, se ha evidenciado que la disminución de la producción de leche se da días posteriores (normalmente se presenta entre 1 y 2 días posteriores) al aumento de la temperatura ambiente (Collier et al., 1981; Morales-Piñeyrúa et al., 2022). Por

esta razón podemos decir que en nuestro experimento la caída en la producción de leche de ambos grupos se podría deber a el aumento de la temperatura ambiental.
Con respecto a las variables bioquímicas estudiadas, como las proteínas totales, albúmina, globulina y glucosa, todas las variables se encontraron dentro del rango normal de la especie y del estado fisiológico establecido por Cozzi et al., (2011) (proteínas totales 74-92 mg/ml, globulina 51-78 mg/ml, glucosa 47-69 mg/ml). Si bien en otros estudios estas variables han sido modificadas por estrés y elementos que afectan el bienestar, como por ejemplo en un trabajo realizado en terneros por Kim, Nejad y Lee (2023), donde el valor de glucosa disminuye frente a estrés por calor extremo, así como tambien en un estudio realizado por Abera, Mummed, Eshetu, Pilla y Wondifraw (2021), se menciona la disminución en valores de proteínas totales y glucosa frente situaciones de estrés calórico en terneros. En nuestro estudio, al no encontrar diferencias en ninguna de ellas, es otra evidencia que desde el punto de vista interno del animal, la colocación del dispositivo no interfirió con el bienestar.
Por otra parte, en cuanto a los datos comportamentales (rumiando, comiendo, inactivo), los mismos se encontraron en valores normales ya sea para tiempo comiendo (GT: 40,6±0,6) y rumiando (GT:34,9±0,5), de acuerdo con los valores mencionados por Alonso y Artía (2020), en pastoreo, donde la actividad de ingesta de alimento ocupa entre un 20-50% del día y la sumatoria entre la ingesta de alimento y la rumia ocupan en promedio un 60% diario. Sin embargo, si comparamos entre grupos, el GT tuvo una mayor frecuencia comiendo y por lo tanto tendieron a rumiar menos (34,9±0,5%) que el GC (36,3±0,5 %) lo que puede referenciar por un lado a un tamaño de bocado más chico debido a una posible limitación por parte del dispositivo que llevaría a que los animales recogan menor alimento por bocado y esto genera un mayor tiempo diario comiendo y por lo tanto una menor rumia o un cierto grado de incomodidad o disconformidad del animal al dispostivo debido a que el parámetro de la rumia es un indicador de bienestar animal importante que frente a un daño sobre la salud animal, altos índices térmicos o disminución de consumo de alimento se puede ver afectado (Wadhwani y col, 2024). También una disminución en la rumia genera una disminución en la producción de leche como menciona Wadhwani y colaboradores (2024), sin embargo, no hubo disminución en la producción lactea para el GT y si se contempla el tiempo de rumia diario, se encuentra en valores normales de 504 ± 93 minutos (35% del día) mencionado por Wadhwani y colaboradores (2024)

lo que permite concluir que no se le puede atribuir la disminución del tiempo de rumia a una afección sobre el bienestar animal.

Además, esta diferencia no se reflejó en el resto de los parámetros evaluados. Si el bienestar animal se hubiese visto comprometido, es esperable que se hubieran observado alteraciones en alguno de los indicadores.

Si bien el dispositivo que simula el equipo de captura de metano no afectó significativamente el bienestar de las vacas, es importante destacar que este estudio se evaluó solo durante un mes. Nuestra hipótesis era que los primeros días iban hacer los más importantes debido a la colocación del dispositivo que genera una novedad de algo desconocido para el animal. Dado que no encontramos efectos claros, en estos primeros días ni durante todo el trabajo, es improbable que los animales se vean afectados a largo plazo. Sin embargo, hay un trabajo realizado por Buijs, Weller y Budan (2023), donde demostraron que el uso de dispositivos portátiles de 4 kg de peso colocados en el cuello y cabeza de vacas lecheras afectó varios parámetros del bienestar animal, entre ellos heridas en la piel de los animales, la disminución de consumo de ración , la producción de leche, entres otros. Este estudio se llevó a cabo en dos periodos de 3 semanas cada uno, es decir 6 semanas en total en un total de 44 vacas. Si bien en este trabajo menciona afecciónes sobre el bienestar animal, consideramos importante mencionar la diferencia de peso de este dispositivo con el de nuestro trabajo (4kg vs 1,2 kg), ya que un mayor peso genera mayor presión sobre la piel así como también el hecho de que el dispositivo de 4kg se situaba obstruyendo las fosas nasales y el nuestro se situaba de manera mas libre sobre el animal.

Entre otros factores a considerar, se debería analizar también las razas. Dado que existen diferencias de comportamiento acorde a la raza, y por lo tanto, es posible especular que algunas razas puedan ser más reactivas que otras a ciertos dispositivos ubicados en la cabeza. Lanier, Grandin, Green, Avery y McGee (2001), mencionan que las vacas raza Holstein presentan un comportamiento mucho más calmo, y un temperamento menos reactivo comparado con la raza Aberdeen Angus. Probablemente, diferente hubiese sido el comportamiento en este tipo de animales, más en aquellos que no están acostumbrados a la interacción y manipulación frecuente con el humano.

CONCLUSIÓN

En conclusión, el dispositivo de captura de metano ubicado sobre la cabeza de vacas lecheras Holstein no afectó ninguno de los parámetros evaluados de bienestar animal durante el experimento. Sin embargo, consideramos importante su evaluación en otras estaciones del año y en otras razas de animales, ya que se trata de un dispositivo que podría ser otra herramienta a tener en cuenta en el sector ganadero frente a un tema importante y actual que es el calentamiento global.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abera, M., Mummed, Y.Y., Eshetu, M., Pilla, F., & Wondifraw, Z. (2021). Physiological, biochemical, and growth parameters of fogera cattle calves to heat stress during different seasons in sub-humid part of Ethiopia. *Animals, 11*(4), 1062. 10.3390/ani11041062

Alonso Antúnez, L., & Artía Garbarino, C. (2020). Efecto del cambio brusco desde un sistema mixto (doble pastoreo más dieta totalmente mezclada) a un sistema único con dieta totalmente mezclada en verano, sobre el comportamiento y producción de leche en vacas con parto en primavera [Tesis de grado, Facultad de Veterinaria, UDELAR].Colibri. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/27315/1/FV-34084.pdf

Anderson, N. (2003). Dairy cattle behavior: Cows interacting with their workplace. *The American Association of Bovine Practitioners Proceedings*, *36*, 10-22. https://doi.org/10.21423/aabppro20034991

Arnott, G., Ferris, C.P., & O'Connell N.E. (2017). Review: welfare of dairy cows in continuously housed and pasture-based production systems. *Animal, 11*(*2),* 261-273. https://doi.org/10.1017/S1751731116001336.

Becoña Lopez, G.M. (2012). *Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de cría vacuna del Uruguay* [Tesis de grado, Facultad de Agronomía, UDELAR]. Colibrí. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1860/1/0102bec.pdf

Becton Dickinson (BD). *Tubos para extracción de sangre BD Vacutainer*. https://www.bd.com/es-es/products-and-solutions/products/product-families/bd-vacutainer-blood-collection-tubes

Biosystem. (s.f.). *Product*. https://biosystems.global/es/product-list

Broom, D.M. (1986). Indicators of poor welfare. *British Veterinary Journal 142*, 524-526. https://doi.org/10.1016/0007-1935(86)90109-0

Broom, D.M. (1991). Animal welfare: concepts and measurement. *Journal of Animal Science, 69*, 4167-4175. https://doi.org/10.2527/1991.69104167x.

Broom, D.M., & Fraser A.F. (2007). Domestic Animal Behaviour and Welfare (4th ed., Vol.1). Cabi.

Bujis, S., Weller, J., & Budan, A. (2023). When the measurement affects the objet-impact of a multi-part head/ neck mounted wearable device on dairy cow behaviour, health and productivity. *Applied Animal Behaviour Science*, *263*, 105937. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105937

Capper, J.C., & Bauman, D.E. (2013). The role of productivity in improving the environmental sustainability of ruminant production systems. *Annual Reviews of Animal Biosciences*, *1*, 469-489. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-031412-103727

Cepero Briz, R. (2005). Retirada de los antibióticos promotores de crecimiento en la Unión Europea: causas y consecuencias. En *Actas del Congreso de la Asociación Española de Ciencia Avícola*, https://www.wpsa-aeca.es/aeca_imgs_docs/24_01_30_MEXICO05-RCB.pdf

Charlton G.L., & Rutter S.M. (2017). The behaviour of housed dairy cattle with and without pasture access: a review. *Applied Animal Behaviour Science, 192*, 2–9. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2017.05.015

Cheng, L., Thorup, V.M., Kudahl, A.B., & Østergaard, S. (2024). Effects of heat stress on feed intake, milk yield, milk composition, and feed efficiency in dairy cows: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, *107*(5), 3207-3218. https://doi.org/10.3168/jds.2023-24059

Clark, H., (2009). Methane emissions from ruminant livestock; are they important and can we reduce them? *New Zealand Grassland Association*, *71*, 73-76. https://www.nzgajournal.org.nz/index.php/ProNZGA/article/view/2774/2402

Collier, R.J., Eley, R.M., Sharma, A.K., Pereira, R.M., & Buffington, D.E. (1981). Shade management in subtropical environment for milk yield and composition in holstein and jersey cows. *Journal of Dairy Science*, *64*(5), 844-849. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(81)82656-2

Congio, G.F., Bannink A., & Mayorga Mogollón, O.L. (2021). Latin America Methane Prohect Collaborators., & Nikolov Hristov, A.. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock system in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis. *Journal Cleaner Production 312, 127693*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127693

Cozzi, G., Ravarotto, L., Gottardo, F., Stefani, A.L., Contiero, B., Moro, L., Brscic, M., & Dalvit, P. (2011). Short communication: Reference values for blood parameters in Holstein dairy cows: effects of parity, stage of lactation, and season of production. *Journal of Dairy Science, 94*(8), 3895-3901. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3687

Damián, J. P., Bausero, M., & Bielli, A. (2015). Acute stress, hypothalamic-hypophyseal-gonadal axis and testicular function-a review. *Annals of Animal Science, 15*(1), 31.

Damian, J.P., & Ungerfeld, R. (2013). Indicadores de bienestar animal en especies productivas: una revision crítica. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, *21*(2), 103-113.

Farm Animal Welfare Council. (1992). *Five Freedoms*. http://publicaccess.staffsmoorlands.gov.uk/portal/servlets/AttachmentShowServlet?ImageName=175452

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2006). *Livestock's long shadow environmental issues and options*. FAO. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/36ade937-4641-46ed-aac4-6162717d8a7f/content

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). *Tackling climate change through livestock a global assessment of emission and mitigation opportunities*. FAO. https://www.fao.org/4/i3437e/i3437e.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2018). *Soluciones Ganaderas para el cambio climático*. FAO https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4c38936f-8175-4752-bb66-32710168079e/content

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). *Joint tripartite (FAO, OIE, WHO) and UNEP statement tripartite and UNEP support OHHLEP´s definition of "One Health"*. FAO. https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/54a0f96f-066e-4a16-a186-1a4bbd9d9303/content

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (s.f). *Que es "Una sola salud?"*. FAO. https://www.fao.org/one-health/overview/one-health-overview/es

GEA. (s.f.). *Farm Technologies*. https://www.gea.com/es/dairy-farming/

Gerber, P.J., Hristov, A.N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meiner, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A.T., Yang, W.Z., Tricarico, J.M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J., & Oosting, S. (2013). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous oxide emissions from livestock: a review. *Animal*, *7*(Suppl 2), 220-234. https://doi.org/10.1017/S1751731113000876

Giannone, C., Bovo, M., Ceccarelli, M., Torreggiani, D., & Tassinari, P. (2023). Review of the heat stress- induced responses in dairy cattle. *Animals*, *13*(22), 3451. https://doi.org/10.3390/ani13223451

Lanier, J.L., Grandin, T., Green, R., Avery, D., & McgGee, K. (2001). A note on hair whorl position and cattle temperament in the auction ring. *Applied Animal Behaviour Science*, *77*(2), 93-101. https://doi.org/10.1016/s0168-1591(01)00132-0

Grille, L., Adrien, M., Olmos, M., Chilibroste, P., & Damián J.P. (2019). Diet change from a system combining total mixed ration and pasture to confinement system (total mixed ration) on milk production and composition, blood biochemistry and behavior of dairy cows. *Animal Science Journal, 90*(11), 1484-1494. https://doi.org/10.1111/asj.13288

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. (1992). *Cambio Climático: Las evaluaciones del IPCC de 1990 y 1992. IPCC*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/ipcc_90_92_assessments_far_full_report_sp.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. (2013). *Cambio Climático 2013: Bases físicas. IPCC*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático. (2021). *Cambio Climático 2021: Bases Físicas. IPCC*. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM_Spanish.pdf

Huertas, S.M., Piaggio, J., Gil, A., César, D., & de Torres, E. (2013). *Bienestar animal en bovinos lecheros: Proyecto FPTA-244. Evaluación del bienestar animal en la productividad de bovinos lecheros*. INIA. https://bienestaranimal.org.uy/wp-content/uploads/2022/06/fpta-51_2013-1.pdf

Ibárcena Escudero, M., & Scheelje Bravo, J.M, (2003, Setiembre). *El Cambio climático principales causantes, consecuencias y compromisos de los países involucrados*. XII Congreso Forestal Mundial, Québec City, Cánada. https://www.fao.org/4/xii/0523-b2.htm

Imming, I. (1996). The rumen and hindgut as source of ruminant methanogenesis. *Environmental Monitoring and Assessment 42*, 57-72. https://doi.org/10.1007/bf00394042

Infocampo. (2020). *Argentinos inventan una máscara que captura el metano del eructo de las vacas*. https://www.infocampo.com.ar/argentinos-inventan-una-mascara-que-captura-el-metano-del-eructo-de-las-vacas/

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Climate Change 2001: The scientific basis.* IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf

Karakurt, I., Aydin, G., & Aydiner, K. (2012). Sources and mitigation of methane emissions by sectors: a critical review. *Renewable Energy, 39*, 40-48. https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.09.006

Kim, W.S., Nejad, J.G., Park, K.K., & Lee, H.G. (2023). Heat stress effects on physiological and blood parameters, and behavior in early fattening stage of beef steers. *Animals*, *13*(7), 1130. https://doi.org/10.3390/ani13071130

Mader, T.L., Davis, M.S., & Brown Brandl, T. (2006). *Environmental factors influencing heat stress in feedlot cattle*. *Journal of Animal Science, 84*, 712–719. https://digitalcommons.unl.edu/animalscifacpub/608

Manteca Vilanova, X.(2009). *Etología Veterinaria*. Multimedica Ediciones Veterinarias.

Mellor, D.J. (2017). Operational details of the five domains model and its key applications to the assessment and management of animal welfare. *Animals*, 7, 60. https://doi.org/10.3390/ani7080060

Ministerio de Ambiente. (2023). *Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Serie 1990-2020*. https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2024-01/INGEI_Serie_1990-2020.pdf

Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.(2023). *Anuario estadistico agropecuario 2023*. DIEA. https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUARIO2023WEB.pdf

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. (2019). *Informe Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2017*. INGEI.

https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2021-04/Folleto%20INGEI%20Serie%201990-%202017.pdf

Modernel Hristoff, P.D. (2011). *Emisiones de gases de efecto invernadero en invernada vacuna del Uruguay* [Tesis de grado, Facultad de Agronomía, UDELAR]. Colibrí. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1823/1/0065mod.pdf

Morales Piñeyrúa, J.T., Damián, J.P., Banchero, G., & Sant'Anna, A. (2022). Producción y comportamiento de vacas holando bajo estrés calórico en un sistema de ordeñe voluntario. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *Jornadas Uruguayas de Buiatría 2022* (Vol. 49, pp. 136-138). CMVP.

Naciones Unidas. (s.f.). *Cambio Climático*. https://www.un.org/es/global-issues/climate-change.

Ordoñez Vargas, W.F., Posada-Ochoa, S.L., & Rosero-Noguera, R. (2023). Emisiones de gases de efecto invernadero por aplicación de excrementos bovinos al suelo. *Información Tecnológica*, *34*(1), 101-116. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000100101

Piñares Patiño, C.S., Hickey, S.M., Young, E.A., Dodds, K.G., MacLean, S., Molano, G., Sandoval, E., Kjestrup, H., Harland, R., Hunt, C., Pickering, N.K., & McEwan, J.C. (2013). Heritability estimates of methane emissions from sheep. *Animal, 7*(2), 316-321. http://dx.doi.org/10.1017/S1751731113000864

Pons, M.V., Adrien, M.L., Mattiauda, D.A., Breijo, M.A., Meikle, A., Chilibroste, P., & Damián, J.P. (2023). Welfare of dairy cows in mixed feeding systems under two differente conditions of confinement: Behavioral, biochemical and physiological indicators. *Applied Animal Behaviour Science, 265*, 105995. https://doi.org/10.1016/j.applanim.2023.105995

Tadich, N., Gallo, C., & Alvarado, M. (2000). Efectos de 36 horas de transporte terrestre con y sin descanso sobre algunas variables sanguíneas indicadoras de estrés en bovinos. *Archivos de medicina veterinaria*, *32*(2), 171-183. https://dx.doi.org/10.4067/S0301-732X2000000200004

Tarazona, M., Ceballos, C., Broom, M. (2019). Human Relationships with domestic and other animals: one health, one welfare, one biology. *Animals*, *10*, 43. http://dx.doi.org/10.3390/ani10010043.

Rivera, J.E. & Chará, J. (2021). CH4 and N2O emissions from cattle excreta: a review of main drivers and mitigation strategies in grazing systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 657936. http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2021.657936

Roca Villanueva, B., Beltrán Salvador, M., & Gómez Huelgas, R. (2019). Cambio Climático y Salud. *Revista Clinica Española, 219(5)*, 260–265. https://doi.org/10.1016/j.rce.2019.01.004

Roque, B., Canales, A., Bautista, J.L., Araníbar, M.J., Amadeo, F., Ávalos, L., Rojas, R.D., Catacora, N.L., Sumari, R., Huanca, T., Catacora, P., & Pinares, C. (2014). Mitigación de las emisiones de metano entérico en vacas lecheras mediante la suplementación de concentrado fibroso. En *Reunión científica anual de la asociación peruana de producción animal* (Vol. 37, pp. 80-88). UNAMBA. https://www.agrovetmarket.com/pdf/memorias.pdf#page=95

Sánchez Mendoza, B., Flores Villalva, S., Rodríguez Hernandez, E., Anaya Escalera, A.M., & Contreras Contreras, E.A, (2020). Causes and consequences of climate change in livestock production and animal health: Review. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 11*(supl 2), 126-145. https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742

Schirman, K., Chapinal, N., Wearly, D.M., Heuwieser, W., & Von Keyserlingk, M.A.G. (2012). Rumination and its relationship to feeding and lying behavior in Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science*, *95*(6), 3212-3217. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4741

Uruguay. (2024, diciembre 09). Decreto N° 332/024: Prohibición de la importación, fabricación, comercialización y uso de alimentos para animales que contengan antibióticos como promotores de crecimiento. https://medios.presidencia.gub.uy/legal/2024/decretos/11/mgap_449.pdf

Van Zijderveld, S.M., Fonken, B., Dijkstra, J., Gerrits, W.J.J., Perdok, B., Fokkink, W., & Newbold, J.R. (2011). Effects of a combination of feed additives on methane production, diet digestibility, and animal performance in lactating dairy cows. *American Dairy Science Association, 94,* 1445-1454. https://doi.org/10.3168/jds.2010-3635

Verdon, M., Langworthy, A., & Rawnsley, R. (2021). Virtual fencing technology to intensively graze lactating dairy cattle. 2: Effects on cow welfare and behavior. *Journal of Dairy Science,* 104(6), 7084-7094. https://doi.org/10.3168/jds.2020-19797

Von Keyserlingk, M.A.G., Rushen, J., De Passillé, A.M., & Weary, D.M. (2009). Invited review: the walfare of dairy cattle-key concepts and the role of science. *Journal of Dairy Science, 92*, 4101-4111.

Wadhwani, K.N., Thakkar, N.K., Islam, M.M., Lunagariya, P.M., & Patel, J.H. (2024). Rumination Assessment: A Managemental Tool for Dairy Cattle. *Indian Journal of Animal Production and Management,* 39 (2), 88-101. https://doi.org/10.48165/ijapm.2023.37.2.2

Warriss, P.D., Brown, S.N., Knowles, T.G., Kestin, S.C., Edwards, J.E., Dolan, S.K., & Phillips, A.J. (1995). Effects on cattle of transport by road for up to 15 hours. *Veterinary Record*, *136*(13), 319-323. https://doi.org/10.1136/vr.136.13.319.

Watts, N., Adger, W.N., Agnolucci, P., Blackstock, J., Byass, P., Cai, W., Chaytor, S., Colbourn, T., Collins, M., Cooper, A., Cox, P.M., Depledge, J., Drummond, P., Ekins, P., Galaz, V., Grace, D., Graham, H., Grubb, M., & Haines, A., (2015). A Health and Climate change: policy responses to protect public health. *The Lancet Commissions, 386*(10006), 1861-1914. http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60854-6

Zeng, J., Cai, J., Wang, D., Liu, H., Sun,H., & Liu J. (2023). Heat stress affects dairy cow health status through blood oxygen availability. *Journal of Animal Science and Biotechnology, 14 (1), 112. https://doi.org/10.1186/s40104-023-00915-3*

Zetouni, L., Kargo, M., Norberg, E., & Lassen, J. (2018). Genetic correlations between methane production and fertility, health, and body type traits in Danish Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, *101*(3), 2018. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13402