

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE VETERINARIA**

**“EFECTOS DEL ESTRÉS CALÓRICO SOBRE LA PRODUCTIVIDAD EN
VACAS PARA CARNE”**

por

**Delia Sofía CAL DIAZ
Rafaela IRAZABAL FERNANDEZ
María Belén PERETTI SARLI**

TESIS DE GRADO presentada como uno de
los requisitos para obtener el título de Doctor
en Ciencias Veterinarias.

Orientación: Producción Animal. Higiene,
Inspección - control y Tecnología de los
Alimentos de Origen Animal

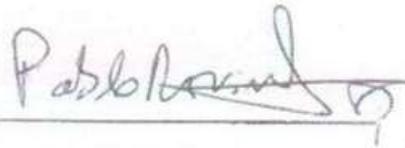
MODALIDAD: Ensayo experimental

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2023**

PAGINA DE APROBACIÓN

Tesis de grado aprobada por:

Presidente de mesa:



Dr. Pablo Rovira

Segundo miembro (Tutor):

Dra. Carolina Viñoles



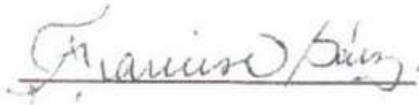
VIÑOLES CAROLINA

Tercer miembro:



Msc. María Noel Viera

Cuarto miembro (Co-tutor)



Dr. Francisco Báez

Fecha:

30 de junio de 2023.

Autores:



Delia Sofía CAL DIAZ



Rafaela IRAZABAL FERNANDEZ



María Belén PERETTI SARLI

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias por el apoyo incondicional, a lo largo de toda la carrera.

A nuestros amigos; los de siempre, los nuevos y los que estuvieron de paso.

A nuestra tutora Carolina Viñoles por su guía y apoyo durante todas las etapas de este proyecto.

A nuestro co-tutor Francisco Báez por su dedicación.

A todo el equipo de la PDU Agroforestal (CUCEL), al Ing. Agr. Guillermo Goncherenko; sin su colaboración nada de esto hubiera sido posible.

Al Sr. José Luis Dutra da Silveira, propietario del Establecimiento “Abuelita” y a todo el personal, quienes desinteresadamente colaboraron en nuestra práctica y nos dedicaron su valioso tiempo.

Gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDO

PAGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
TABLA DE CONTENIDO.....	4
LISTA DE CUADROS.....	6
LISTA DE FIGURAS	7
RESUMEN.....	8
INTRODUCCIÓN.....	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 El rubro cría en Uruguay	12
2.2 Ubicación de la cría	12
2.3 Eficiencia de la cría.....	12
2.4 Factores que afectan la productividad de la cría	14
2.5 Herramientas para aumentar la eficiencia reproductiva de las vacas	15
2.6 Estrés calórico	16
2.7 Índice de temperatura y humedad	17
2.8 Mecanismos de termorregulación.....	17
2.9 Alteración del eje hipotálamo-hipófisis-ovario.....	18
2.10 Sistemas silvopastoriles en Uruguay	20
2.11 Servicios ecosistémicos de los SSP	20
3. HIPÓTESIS	22
4. OBJETIVOS.....	22
4.1 Objetivo General	22
4.2 Objetivos específicos.....	22
5. MATERIALES Y MÉTODOS	23
5.1 Protocolo	23
5.2 Ubicación y duración	23
5.3 Animales.....	23
5.4 Diseño experimental.....	23
5.4.1 Destete temporario	24
5.4.2 Protocolo de Inseminación artificial a tiempo fijo	24
5.5 Esquema de actividades	25
5.6 Determinaciones en la pastura	25
5.7 Determinaciones en los animales.....	26
5.7.1 Peso vivo	26

5.7.2 Condición corporal.....	26
5.7.3 Diagnóstico y edad gestacional	26
5.7.4 Temperatura vaginal	26
5.8 Registros meteorológicos	27
5.9 Análisis estadístico	27
6. RESULTADOS	28
6.1 Asignación y composición química del forraje	28
6.2 Temperatura del Globo negro e ITHGN.....	29
6.3 Temperatura vaginal.....	30
6.4 Variables productivas y reproductivas	31
7. DISCUSIÓN	33
7.1 Peso vivo y CC de vacas	33
7.2 Ganancia y peso vivo de terneros	34
7.3 Eficiencia reproductiva	34
8. CONCLUSIONES	36
9. BIBLIOGRAFÍA.....	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición del forraje durante el periodo experimental en el sistema silvopastoril y sol pleno.....	28
Cuadro 2. Resultados estadísticos de los factores fijos evaluados para las diferentes variables en vacas y terneros.....	31
Cuadro 3. Efecto del sistema silvopastoril o sol pleno asociado o no al destete temporario sobre el primer cuerpo lúteo, momento de concepción y la preñez.....	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Eje hipotálamo-hipófisis-ovario con hormonas metabólicas y reproductivas.....	19
Figura 2. Esquema de las actividades realizadas durante el experimento.....	25
Figura 3. Evolución de la asignación de forraje en los grupos de sol pleno y sistema silvopastoril durante el periodo experimental.....	28
Figura 4. Evolución de la temperatura media mensual del globo negro e Índice de Temperatura y humedad del globo negro en los grupos sol pleno, área sin árboles del sistema silvopastoril, área del callejón y debajo de los árboles durante el período experimental.....	29
Figura 5. Evolución del ITH promedio diario durante el periodo de DT en el área SP.....	30
Figura 6. Temperatura vaginal de vacas pastoreando en un sistema silvopastoril o a sol pleno durante el período de servicios.....	30
Figura 7. Evolución de peso vivo y condición corporal de vacas cruzas Braford pastoreando a sol pleno o sistema silvopastoril, durante el periodo de servicio.....	31
Figura 8. Evolución de la ganancia diaria y peso vivo de los terneros pastoreando a sol pleno o sistema silvopastoril, durante el periodo de experimento.....	32

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de los sistemas silvopastoriles (SSP) versus sol pleno (SP) asociados o no al destete temporario (DT) en la productividad de vacas y terneros. Se utilizaron 55 vacas multíparas cruzas Braford de 6 años de edad y $363 \pm 44,6$ kg de peso vivo con ternero al pie, los cuales fueron asignados al azar a uno de 4 tratamientos: SSP + DT (n=9), SSP – DT (n=19), SP + DT (n=13) y SP – DT (n=14). El experimento se realizó del 18/11/20 al 19/3/21 y coincidió con el período de servicios. Cada 28 días se registró disponibilidad de forraje, peso vivo de vacas y terneros, condición corporal de las vacas y momento de preñez. Se registró la temperatura vaginal de las vacas, temperatura del globo negro (GN) y se estimó el índice de temperatura y humedad del globo negro (ITHGN). La asignación inicial de forraje fue de 3,3 kg MS/kg PV (Peso vivo). La temperatura del GN ($28,9^{\circ}\text{C} \pm 1,9$ vs $34,2^{\circ}\text{C} \pm 2,3$) y el ITHGN máximo (71 vs 86) fueron inferiores debajo de los árboles en SSP vs SP; respectivamente. La productividad de terneros y vacas fue superior en SSP vs SP ($P < 0,01$). El peso vivo de los terneros al final del experimento, fue mayor en SSP ($132 \pm 1,8$ kg) respecto a los que pastorearon en SP ($122 \pm 1,7$ kg; $P < 0,01$). La temperatura vaginal se registró entre 1 a 5 pm durante todo el experimento, siendo inferior en vacas SSP ($38,4^{\circ}\text{C} \pm 0,02$) vs SP ($38,6^{\circ}\text{C} \pm 0,02$; $P < 0,05$). Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre grupos en las variables reinicio de actividad ovárica, momento de concepción, y porcentaje de preñez ($P > 0,05$). Concluimos que los SSP permiten aumentar la productividad animal a través de la generación de un microclima que permite atenuar los efectos negativos del estrés calórico.

SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the impact of silvopastoral systems (SPS) versus full sun (FS) associated or not with temporary weaning (TW) on the productivity of cows and calves. Fifty five suckling multiparous Braford cross cows of 6 years of age and 363 ± 44.6 kg of live weight and their calves were used, which were randomly assigned to one of 4 treatments: SPS + TW (n=9), SPS – TW (n=19), FS + TW (n=13) and FS – TW (n=14). The experiment was conducted from 11/18/20 to 3/19/21 and coincided with the mating period. Forage availability, live weight of cows and calves, body condition of cows and date of conception were recorded every 28 days. The vaginal temperature of the cows, the black globe temperature (BG), and the black globe temperature and humidity index (BGTHI) were estimated. The initial forage allowance was 3.3 kg DM/kg LW. The temperature of the BG ($28.9^{\circ}\text{C} \pm 1.9$ vs $34.2^{\circ}\text{C} \pm 2.3$) and maximum ITHGN (71 vs 86) were lower under trees in SPS vs FS; respectively. The productivity of calves and cows was greater in SPS vs FS ($P < 0.01$). The live weight of the calves at the end of the experiment was greater in SSP (132 ± 1.8 kg) compared to those that grazed in FS (122 ± 1.7 kg; $P < 0.01$). Vaginal temperature was recorded between 1 and 5 pm throughout the experiment, being lower in SPS cows ($38.4^{\circ}\text{C} \pm 0.02$) vs FS ($38.6^{\circ}\text{C} \pm 0.02$; $P < 0.05$). However, there were no significant differences between groups in the reproductive variables: first pos-partum ovulation, date of conception, and pregnancy rate ($P > 0.05$). We conclude that the SSP allow to increase animal productivity through microclimate changes that allows to attenuate the negative effects of heat stress.

INTRODUCCIÓN

La producción ganadera es una actividad de relevancia económica y social para el país (Hernández, 2008). Considerando las exportaciones como uno de los principales indicadores para demostrar la trascendencia del sector sobre la economía nacional, aproximadamente el 70 % proviene de lo que genera la agroindustria nacional (Montossi, 2008). Dentro de la misma, la ganadería vacuna y ovina constituye un rubro de fundamental relevancia en la dinámica económica y social del sector agropecuario. La carne ocupa el primer lugar de las exportaciones del país con mayor incidencia de crecimiento en 2021, tanto por mejores precios como por mayores volúmenes exportados (Uruguay XXI, 2021). Actualmente, en nuestro país existen casi 11 millones de vacunos y 6 millones de ovinos (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, MGAP, 2022b). La actividad de cría vacuna tiene como principal componente forrajero las pasturas naturales (Paruelo et al., 2010), lo que determina que los ciclos de gestación y lactancia de la vaca de cría deben ajustarse al aporte de forraje del campo natural, haciendo coincidir los máximos requerimientos de las vacas con los picos de producción de forraje (Soca & Orcasberro, 1992). Esto determina que el entore ocurra a fines de primavera-principios de verano, estación más calurosa del año. La principal limitante de la cría vacuna es la baja eficiencia reproductiva. Esta se manifiesta por el porcentaje de preñez y peso de terneros destetados por vaca entorada, observándose importantes variaciones a lo largo de los años, generalmente asociadas a variaciones climáticas (Montes, 2019).

El efecto del clima sobre los sistemas ganaderos es un tema de creciente preocupación, ante los futuros escenarios de cambio climático, donde se espera un incremento en la temperatura global, así como en la frecuencia con la que ocurren olas de calor y sequías (Vitali et al., 2015). Factores ambientales tales como radiación solar, temperatura y humedad relativa, generan un incremento de la carga calórica animal, que resulta en estrés calórico (Herrera, 2020). El estrés calórico compromete el funcionamiento del eje hipotálamo hipófisis-gonadal, afectando la pulsatilidad de gonadotropinas, lo cual afecta negativamente la aparición de celo, al ocasionar alteraciones en el desarrollo folicular y la calidad ovocitaria, llevando a la inhibición de desarrollo embrionario (Castaño, Rugeles, Bentancur & Ramirez-Lopez, 2014). Como estrategia para atenuar los efectos negativos del estrés calórico sobre la eficiencia reproductiva, se pueden utilizar los SSP. Estos se basan en la producción integrada de árboles, plantas forrajeras y rumiantes (Deniz et al., 2021). Los SSP brindan sombra a los animales, generando un microclima que promueve el confort térmico y el pastoreo más constante durante el día (Fedrigo et al., 2019; Rosselle, Permentier, Verbeke, Driessen & Geers, 2013).

El balance energético de la vaca de cría durante el ciclo gestación-lactancia, es determinante de su éxito productivo y reproductivo (Soca, Carriquiry, Claramunt & Do Carmo, 2016). Vacas con condición corporal > 4 tiene una producción de leche compatible con altas tasas de ganancia de sus terneros y tasas de preñez superiores a 75 %, asociado a altas concentraciones de hormonas metabólicas circulantes (insulina, IGF-I; (Soca et al., 2016). Cuando la condición corporal de las vacas es deficiente, se utilizan estrategias para mejorar su balance energético y acortar el período de anestro posparto. Una tecnología muy utilizada

para lograr este objetivo es el DT, que consiste en interrumpir temporalmente el amamantamiento del ternero a través de la colocación de una tablilla nasal (Soca, Carriquiry, Claramunt, Ruprechter & Meikle, 2014). Esta herramienta, promueve aumentos en las concentraciones circulantes de hormonas metabólicas, dando señales positivas al cerebro para que se reinicien los ciclos estrales (Soca et al., 2014). Además, los SSP permite atenuar los efectos negativos del estrés calórico, y aumentar la ingesta de los animales, por lo cual las vacas podrían recuperar su condición corporal, y las concentraciones de hormonas metabólicas como el IGF-I (Baumgard & Rhoads, 2013). Dado que una alta proporción del IGF-I existente en el fluido folicular proviene del plasma sanguíneo, es probable que el ovocito de vacas cuyos terneros son sometidos a DT, esté acompañado de mayores concentraciones de esta hormona. En estudios realizados *in vitro*, se ha determinado que el IGF-I, tiene un efecto termoprotector muy relevante sobre el ovocito (Rodrigues et al., 2016). Por lo tanto, el aumento del IGF-I podría proteger al ovocito de las altas temperaturas y mejorar la eficiencia reproductiva de las vacas (Rodrigues et al., 2016; Sudo et al., 2007). Sin embargo, no existen reportes sobre el efecto positivo de los SSP o del DT aplicado durante las olas de calor del verano.

Debido a la falta de información sobre los efectos que produce el estrés calórico en la producción y reproducción en vacas de cría en pastoreo; resulta relevante evaluar si los SSP son una estrategia de atenuación adecuada para favorecer la productividad de estos sistemas. Además, sería relevante evaluar si el DT, aplicado alrededor de la ocurrencia de la primera ola de calor del verano, tiene un impacto benéfico en las concentraciones circulantes de hormonas metabólicas y en la eficiencia reproductiva de vacas con acceso a sombra de árboles.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 El rubro cría en Uruguay

El informe Anual de Comercio Exterior (2021) expresa que la carne bovina fue el producto con mayor incidencia en el crecimiento de 2021 en Uruguay. Las ventas mostraron un fuerte incremento en precios y volúmenes exportados, ubicando a la carne primera en el ranking de productos exportados (21% del total exportado), asociada a un incremento del 74% frente al 2020 en las ventas de ganado en pie. Por esto, se considera que la producción ganadera constituye uno de los rubros principales de la economía del país. La ganadería ocupa 15.283 miles de hectáreas (MGAP, 2022b), de las cuales 8.660 miles de hectáreas (57%) están asociadas a sistemas criadores. La actividad de cría vacuna se enfoca en la producción de terneros como principal producto, complementada con la comercialización de vacas de descarte y en algunos casos vacas preñadas o vaquillonas (Saravia, César, Montes, Taranto & Pereira, 2011).

2.2 Ubicación de la cría

La cría vacuna tiene como base nutricional a las pasturas naturales (Paruelo et al., 2010), prevaleciendo en zonas con suelos de menor productividad relativa, como el Basalto y el Cristalino (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 2021). De todas formas el valor nutritivo de las pasturas naturales no resulta pobre en la mayoría de los casos, siendo de mayor relevancia factores limitantes como la cantidad de forraje disponible y la distribución estacional del mismo (Carámbula, 1997). Por este motivo, la asignación de forraje durante el ciclo de gestación-lactancia es un aspecto clave para obtener una adecuada productividad del par vaca-ternero (Soca et al., 2016). Una alta asignación de forraje permite a los animales aumentar la calidad de la dieta del animal, a través del comportamiento de pastoreo y de la selectividad (Pigurina, Soares de Lima & Berretta, 1998). Es importante señalar la baja eficacia biológica que acarrea la cría, sus tiempos biológicos son extensos (9 meses de gestación y el primer servicio en el 50% de las explotaciones ocurre a los 24 meses de edad de las vaquillonas). Además, la producción de 1 kg de peso vivo de ternero mediante la transferencia indirecta pasto - leche - carne es un proceso más ineficiente que la conversión directa pasto - carne (Berretta, Risso, Montossi & Pigurina, 2000; Soares de Lima, 2009), lo que justifica la baja eficiencia física y económica y explica el desplazamiento paulatino de la actividad a zonas marginales en cuanto a calidad y tipos de suelos.

2.3 Eficiencia de la cría

En los últimos 20 años la cría vacuna se ha mantenido con índices reproductivos bajos. La tasa de procreo del 2021 (medida como el número de terneros en stock al 30/6 por cada 100 vacas de cría declaradas el año anterior) se ubicó en el

torno del 60% (Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca, 2022a). Además, el peso vivo al destete (seis meses) de los terneros, en la mayoría de los sistemas criadores del Uruguay, es de 120 - 150 kg (Farías & Palladino, 2018) constituyendo otra posible área de mejora.

En condiciones de producción pastoriles, la fertilidad del rodeo de cría fluctúa de un año al otro debido a las variaciones climáticas que afectan directamente la producción forrajera, así como también a las condiciones de manejo y sanidad del ganado (Dambrauskas, 1998). Esto hace que el potencial productivo esté limitado por el sobrepastoreo lo que implica menor productividad de carne por hectárea (Dogliotti et al., 2021). A su vez, conduce a que durante gran parte del año las vacas de cría presenten un balance energético negativo (BEN), lo que determina el pobre estado nutricional de las mismas al parto e inicio de entore. Esta situación redundante en un largo período de anestro posparto y baja probabilidad de preñez (Short, Bellows, Staigmilller, Bernardinelli & Custer 1990). Por otro lado, la tasa de crecimiento de los terneros al pie de la madre se ve comprometida en el período estival, sobre todo a partir de los 3 meses de edad de los terneros, cuando aumentan sus requerimientos que no pueden ser cubiertos por la leche materna (Viñoles, 2016). Esto determina que los pesos al destete de los terneros sean bajos, asociados a largos períodos de recría de las terneras, que reciban su primer servicio con 2 o 3 años de edad (Fedrigo, Báez, Santa Cruz & Viñoles, 2021). Las vacas que se preñan temprano (cabeza de preñez) van a tener más días posparto al inicio del próximo servicio (entre 83 y 62 días posparto) teniendo más chances de volver a quedar preñadas nuevamente. Estas vacas también van a destetar terneros más pesados (por tener más días a una fecha de destete fija) impactando positivamente en la productividad de la recría. Para ello, tener el servicio estacional y lograr una preñez de más del 50% en el primer mes de entore es tanto un buen objetivo como un buen indicador de carga animal (Pérez, Carriquiry & Soca, 2007).

El principal factor limitante en la eficiencia en los sistemas de cría vacuna, es la reproducción, altamente asociada al plano nutricional que reciben las vacas durante el ciclo de gestación-lactancia (Dickerson, 1970; Dziuk & Bellows, 1983; Koch & Algeo, 1983). Debido a que la producción total depende tanto del porcentaje de destete como del peso del ternero al destete, estos se combinan en un término llamado productividad (Morris & Smeaton, 2009).

$$Productividad = \frac{N^{\circ} \text{ terneros destetados} \times \text{peso promedio al destete}}{N^{\circ} \text{ de vacas entoradas}}$$

Fuente: (Morris & Smeaton, 2009)

Cuando las vacas no logran preñarse se pierde potencial en cosechar terneros (Short et al., 1990; Wiltbank, Warwick, Vernon, & Priode 1961) y la principal fuente de ingresos de los sistemas criadores (Montossi & Soares de Lima, 2011).

2.4 Factores que afectan la productividad de la cría

La nutrición es el factor que tiene mayor impacto en la productividad y eficiencia reproductiva de los rumiantes (Short et al., 1990; Viñoles et al., 2009). El par vaca-ternero debe ser alimentado con niveles apropiados de energía para lograr el objetivo de producción a largo plazo. Para lograr un alto nivel productivo y reproductivo, se deben proporcionar suficientes nutrientes y niveles de energía, para satisfacer las demandas metabólicas (Short et al., 1990). Para lograr altos pesos de los terneros al destete, las vacas deben estar bien alimentadas antes y después del parto. La condición corporal (CC) en bovinos (escala de 1-8) permite evaluar el estado nutricional y de reservas de las vacas (Stahinger, 2003; Vizcarra, Ibañez & Orcasberro, 1986). Los efectos de la nutrición posparto sobre el anestro operan mediante la interacción de distintas variables: la cantidad y calidad de alimento que está siendo consumido, los nutrientes almacenados como reservas corporales y la prioridad por nutrientes que tienen otras funciones fisiológicas distintas a la reproducción (Stagg, Spicer, Sreenan, Roche & Diskin, 1998). En el período preparto ocurre una disminución en la ingesta de nutrientes, lo que se refleja en una reducción en la condición corporal al parto, que determina la duración del periodo de anestro y la tasa de preñez (Quintans, Banchemo, Carriquiry, López & Bald, 2008). La nutrición posparto resulta crítica por varias razones, entre ellas se destacan la tasa de crecimiento de los terneros y la tasa de preñez subsiguiente de la vaca. En condiciones pastoriles, es importante asignar adecuada cantidad de forraje a las vacas, para que llegue a condiciones corporales objetivo en diferentes momentos del ciclo gestación-lactancia (Soca & Orcasberro, 1992). Para lograrlo, se recomienda realizar el destete temprano en otoño, para bajar los requerimientos de las vacas y que ganen condición corporal antes del invierno (5 en vacas y 6 en vaquillonas). El otoño es una estación clave porque permite aprovechar la productividad de forraje para diferirlo al invierno, y lograr movilización de reservas corporales adecuadas, llegando al parto con una condición corporal moderada (4 en vacas y 5 en vaquillonas) y compatible con un reinicio temprano de la actividad ovárica posparto (Soca & Orcasberro, 1992). En estas condiciones corporales tendrán altas tasas de concepción (>70%) durante un período de servicio de 63 días.

La pérdida de condición corporal pre y posparto determina la ocurrencia de un período de balance energético negativo (BEN) (Houghton, Lemenager, Hendrix, Moss & Stewart, 1990). Cuando existe un BEN, déficit entre la energía ingerida y la energía requerida para las funciones fisiológicas (Butler & Smith, 1989; Villa-Godoy, Hughes, Emery, Chapin & Fogwell, 1988) se reduce la disponibilidad de glucosa ya que durante este periodo las actividades más importantes son el metabolismo basal, la actividad, el crecimiento y la lactancia (Short et al., 1990). Esto determina que se reduzcan las concentraciones circulantes de insulina, y de otras hormonas metabólicas como el factor de crecimiento insulino similar (IGF-I), que juegan un rol clave en el crecimiento y desarrollo de terneros y en la eficiencia reproductiva de las vacas (Viñoles et al., 2009). Además, la reducción en los niveles de reservas grasas, induce a la reducción en las concentraciones circulantes de leptina, que junto a otras hormonas metabólicas (IGF-I) actúa sobre el eje hipotálamo-hipófisis-ovárico para estimular su funcionamiento (Cardoso, Alves & Williams, 2018; Meikle et al., 2018). Durante el periodo de lactancia, cuando el balance energético negativo alcanza su estabilidad, se

incrementa la frecuencia de pulsos de LH (Butler & Canfield, 1991). Frecuentemente el efecto negativo del balance energético en el posparto es confundido con el efecto depresor del amamantamiento (Robson, Aller, Callejas, Cabodevila & Alberio, 2007). La presencia del ternero y el amamantamiento estimulan la liberación de péptidos opioides endógenos a nivel del cerebro, actúan sobre el hipotálamo inhibiendo la GnRH, por ende, inhiben la liberación de FSH y LH bloqueando en el ovario el estímulo para la maduración del folículo y ovulación (Báez & Grajales, 2009). Sin embargo, cuando la condición corporal de las vacas se ha manejado de forma adecuada, las reservas grasas actúan como un buffer, para estimular el reinicio de la actividad ovárica en forma temprana, y permitir que las vacas conciban temprano durante la estación de servicios (Meikle et al., 2018).

Por lo tanto, si la nutrición de las vacas es manejada en forma adecuada durante el ciclo gestación-lactancia, no es necesario realizar intervenciones. Sin embargo, en situaciones en que la condición corporal de las vacas es sub-óptima, es necesario aplicar tecnologías para mejorar su eficiencia reproductiva.

2.5 Herramientas para aumentar la eficiencia reproductiva de las vacas

El momento y duración del entore son decisiones de manejo muy relevantes en los rodeos de cría, determinando cuándo queda preñada la vaca y, por lo tanto, cuándo va a ocurrir la parición y lactancia, con sus requerimientos nutricionales específicos que deberán ser satisfechos por el forraje producido por el campo natural (Orcasberro, 2016). Un buen manejo de la vaca de cría en sistemas de pastoreo extensivo solo puede lograrse ajustando los requerimientos de nutrientes de las vacas a la curva de crecimiento de la pastura natural (Soca et al., 2016). En nuestro país existe una gran variabilidad en la producción forrajera entre años. Esto se debe principalmente a la variación de las precipitaciones y la gran variedad de suelos. Lo que determina la presencia de distintas especies de pasturas, y diferentes niveles de producción forrajera, tanto en cantidad como en calidad, existiendo variabilidad entre años y estaciones. En este sentido, se busca hacer coincidir el comienzo de la lactación, momento de máximos requerimientos de las vacas, con la máxima producción de forraje, teniendo así más chance de minimizar las pérdidas corporales de las vacas y lograr que retomen cuanto antes su actividad ovárica (Saravia et al., 2011).

El período de servicios en nuestro país ocurre a fines de la primavera y el verano. Esta definición tiene dos aspectos negativos: 1- es la estación de crecimiento forrajero más variable debido a las precipitaciones, y las temperaturas más altas y la evaporación, lo que promueve una disminución en el crecimiento forrajero (Berretta et al., 2000) y 2- hay una mayor prevalencia de condiciones meteorológicas que provocan estrés calórico que afecta negativamente a la reproducción (Saravia et al., 2011).

El DT permite mejorar el balance energético de la vaca y reducir la duración del anestro posparto, a través de la disminución y/o eliminación del efecto inhibitorio que produce el amamantamiento sobre la ovulación. La misma consiste en la aplicación de una tablilla nasal en terneros con al menos 60 días de vida y 70 kg

de peso vivo, para evitar el amamantamiento por un periodo de 11 a 14 días permaneciendo al pie de la madre (Quintans, 2007). Al finalizar se retira la tablilla para que los terneros reinicien el amamantamiento normal (Quintans, 2005). Esta herramienta, muy utilizada por los productores en Uruguay, permite reducir los requerimientos de las vacas y aumentar las concentraciones de insulina e IGF-I, dando una señal positiva al eje hipotálamo-hipófisis-ovárico (Quintans, Banchemo, Carriquiry, López-Mazz & Baldi, 2010; Soca, Carriquiry, Claramunt, Gestido & Meikle, 2013). Esta recuperación transitoria del balance energético permite activar el reinicio de la actividad ovárica posparto, debido a la reducción en la producción de leche, provocando un re direccionamiento de los nutrientes a otras actividades metabólicas (Quintans et al., 2010). Distintos trabajos nacionales y extranjeros concluyen que la aplicación de esta técnica tiene un efecto positivo sobre la tasa de manifestación estral y preñez; siendo esto más marcado cuando las vacas tienen una buena condición corporal al inicio del entore (>3,5 unidades; Dambrauskas, 1998). Sin embargo, tiene un efecto negativo sobre la tasa de ganancia de peso de los terneros, que se manifiesta en 8-16 kg menos de peso al momento del destete definitivo (Santa Cruz, De Barbieri, Olmos, Montossi & Viñoles, 2022).

2.6 Estrés calórico

Cuando los animales están expuestos a estrés por calor, no pueden hacer frente a las condiciones externas mediante mecanismos fisiológicos normales del cuerpo (Morrell, 2020). Factores ambientales como la temperatura, humedad relativa y radiación solar, y la mayor frecuencia de días extremadamente calurosos pueden ser utilizados para estimar el nivel de carga de calor (Roth, 2020). Roth, (2020) define como “ola de calor” a la secuencia de días con temperatura del aire superior a la habitual, en un periodo y zona geográfica concreta, la cual se debe clasificar según su duración e intensidad. El cambio climático lleva a un aumento de temperatura global, lo que repercute directamente en la producción ganadera (Morrell, 2020). El estrés calórico no solamente afecta el crecimiento del forraje, sino también al animal, debido al efecto directo de las altas temperaturas y la radiación solar (Nardone, Ronchi, Lacetera, Ranireri & Bernabucci, 2010). Los animales modifican su comportamiento habitual, reduciendo el tiempo de pastoreo (Brown-Brandl, Eigenberg, & Nienaber, 2006), con consecuencia directa en la ganancia de peso vivo (Mader, Dahlquist, & Gaughan, 1997).

El estrés por calor incide directamente sobre el ganado, afectando principalmente la reproducción y la fisiología digestiva, lo que determina la disminución del rendimiento animal (Huertas, Bobadilla, César, Piaggio & Gil, 2020). La temperatura es el principal factor que incide en el estrés calórico, asociado a la humedad relativa y la radiación solar que afectan la disipación del calor del animal hacia el ambiente (Navas, 2010). El calor metabólico producto de la fermentación ruminal, no es eliminado de manera eficiente, lo que determina una reducción del consumo voluntario (Navas, 2010). La reproducción se ve limitada a partir de los 29°C, y altas temperaturas están asociadas con cese de la ovulación (Hemsworth, Coleman, & Barnett, 1994) menor desarrollo

embrionario, interferencia con la espermatogénesis y la disminución de la calidad del semen (Navas, 2010).

Estudios realizados por Beatty, Barnes, Pethick & Dunshea (2004) determinaron que el ganado *Bos indicus* es más resistente al calor que el *Bos taurus* y esto podría estar relacionado a su tasa metabólica de lípidos y carbohidratos. A su vez, bajo nuestras condiciones pastoriles las vacas de cría de las razas Hereford y Aberdeen Angus, muestran importantes aumentos de temperatura vaginal durante las olas de calor, aumento que no se verifica en las cruzas con Bonsmara (Fedrigo et al., 2021; Viñoles, Fedrigo, Benítez, García & Báez, 2022). Una mejora en el confort térmico, les permite a los animales destinar un mayor tiempo al pastoreo y la rumia, lo cual redundaría en una mejora en los rendimientos (Geremia, 2016). Las vacas en SP pastorean menos durante las horas de mayor temperatura durante el verano y por lo tanto destinan menos tiempo al pastoreo (Kendall et al., 2006). Esto las obliga a pastorear en la noche, lo que determina que continúen produciendo calor y no puedan bajar la temperatura corporal (Kendall et al., 2006), haciendo ineficientes los mecanismos de termorregulación.

2.7 Índice de temperatura y humedad

Las condiciones meteorológicas que provocan estrés por calor se describen mediante el índice biometeorológico denominado índice de temperatura y humedad (THI) (Thom, 1959). Ya que generalmente se consideran que los agentes causantes más importantes del estrés por calor son la temperatura y humedad relativa (Morrell, 2020). Se evidencia una relación inversa entre el ITH con el consumo y producción de leche de las vacas (Mader, 2003). Así como se describe una fuerte asociación entre el índice de ITH con la tasa de preñez en ganado para carne (Amundson, Mader, Rasby & Hu, 2006). Para caracterizar el riesgo de estrés calórico se emplea el uso del termómetro de globo negro, el cual consiste en esferas de cobre huecas pintadas de color negro mate, denominada índice de temperatura y humedad del globo negro (ITHGN) (Baêta & Souza, 2010). Se utiliza para evaluar las condiciones de confort térmico en animales en ambientes con riesgo de estrés calórico. En función de los valores obtenidos se han desarrollado varias escalas determinando el valor de ITH 72 como límite crítico con riesgo a padecer estrés calórico (Rovira, 2012).

2.8 Mecanismos de termorregulación

Cuando el cuerpo está a mayor temperatura que el medio ambiente, se forma un gradiente térmico, que permite el intercambio de calor desde el cuerpo al medio ambiente. En contraposición cuando la temperatura ambiental iguala o supera la temperatura corporal, los mecanismos de pérdida de calor son ineficientes. En este caso la alternativa fisiológica para el intercambio de calor será la sudoración y el jadeo (Roth, 2020). Al mismo tiempo y como mecanismo fisiológico de respuesta rápida actúa la vasodilatación capilar periférica, donde un flujo de sangre importante se desplaza hacia la superficie del animal para disipar calor.

La mayor parte del calor se pierde mediante la evaporación desde la superficie del cuerpo, mientras que la respiración representa aproximadamente el 15% de la pérdida de calor (Morrell, 2020). Además, los cambios en el flujo sanguíneo y la iniciación de la sudoración ocurren con anterioridad a la frecuencia respiratoria (Gallardo & Valtorta, 2011). Atrian & Shahryar (2012), describió cambios comportamentales de las vacas estresadas por calor: buscan la sombra, aumentan la ingesta de agua, reducen el consumo de alimento, se ponen de pie en vez de acostadas, aumentan la tasa respiratoria, la temperatura corporal y aumenta la producción de saliva. Como consecuencia el animal presenta: reducción del consumo de materia seca, menor producción de leche y reducción de grasa y proteína con menor performance reproductiva y reducción de la tasa de crecimiento de terneros (La Manna, Román, Bravo & Aguilar, 2014).

Como vimos, la respuesta a la carga de calor ambiental implica múltiples cambios de comportamiento, respuestas fisiológicas y también cambios endocrinológicos (Roth, 2021).

2.9 Alteración del eje hipotálamo-hipófisis-ovario

El conocimiento sobre el impacto negativo del estrés por calor en la reproducción de vacas en pastoreo de carne es limitado y necesario considerando el aumento proyectado de eventos climáticos extremos en las regiones agrícolas templadas (Amundson et al., 2006). El estrés por calor promueve impactos negativos agudos y crónicos en diferentes niveles del eje hipotálamo-hipófisis-ovario (Roth et al., 2001). Impacta de forma multifactorial sobre el aparato reproductor femenino e implica varias respuestas fisiológicas y alteraciones endocrinológicas, celulares y moleculares. Uno de los cambios más prominentes documentados hasta el momento es en el eje hipotálamo-hipófisis-ovario, como alteración de la secreción de gonadotrofinas, atenuación del desarrollo de folículos, reducción de la producción de esteroides y disminución de las concentraciones de progesterona en plasma (Wolfenson & Roth, 2019). La literatura concuerda con que el ovocito es la estructura más sensible, por lo que el retraso en la concepción es un resultado esperado (Roth et al., 2001). Los cambios inducidos por el calor en los folículos antrales pequeños se manifiestan como un desarrollo folicular deficiente y los ovocitos se encuentran limitados para completar la maduración, la fertilización y el desarrollo posterior del embrión (Roth, 2021). La ingesta deficiente de alimentos en vacas para carne está asociada a la disminución del tamaño folicular (Meikle et al., 2018), ya que la capacidad del folículo dominante para continuar creciendo y llegar a la ovulación depende de la pulsatilidad de la LH, concentración adecuada de factores de crecimiento (IGF-I) y nutrientes. Los cambios que ocurren en el folículo dominante permiten la secreción de estrógenos (E2) y consiguiente ovulación (Crowe, Diskin & Williams, 2014). Por lo tanto, esta disminuida ingesta retrasa la ovulación por inhibición de los pulsos de LH y bajas concentraciones de IGF-I y de otros nutrientes, llevando a una reducción en la producción de estrógenos. El líquido folicular desempeña un papel importante en el microambiente del folículo, con efecto directo en el desarrollo y calidad del ovocito. La escasa concentración de E2 en el líquido folicular está asociada a un menor crecimiento folicular,

dominancia, calidad del ovocito y resultado de la gestación (Revelli et al., 2009). Según estudios de Meikle et al., 2018, describen que la productividad de la vaca para carne depende directamente de la ingesta de forraje.

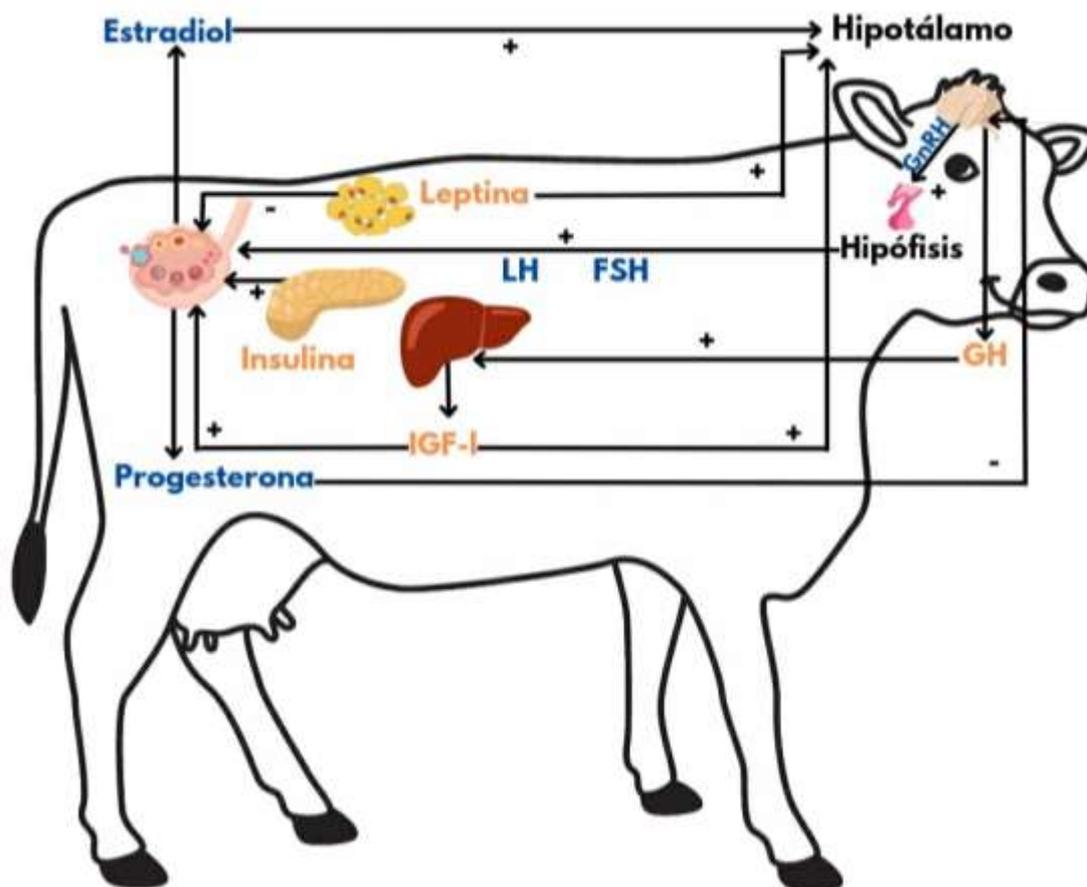


Figura 1. Funcionamiento del eje hipotálamo-hipófisis-ovárico y sus interacciones con las hormonas metabólicas. A nivel hipotalámico, el factor liberador de gonadotrofinas (GnRH), promueve la liberación de la hormona folículo estimulante (FSH) y luteinizante (LH), que actúan a nivel ovárico para promover la maduración folicular, producción de estradiol (efecto + sobre la GnRH) y ovulación, con la formación del cuerpo lúteo que produce progesterona (efecto - sobre la GnRH). La hormona del crecimiento (GH), promueve la producción de IGF-I a nivel hepático, hormona que actúa a nivel central y a nivel ovárico, estimulando la producción de estradiol. La insulina de origen pancreático y la leptina de origen adiposo, tienen acciones a nivel central y a nivel ovárico, donde la insulina promueve la producción de estradiol que es inhibida por la leptina.

En condiciones de estrés calórico, las hormonas metabólicas no se comportan igual que en situaciones de balance energético negativo, como sería esperable por la reducción en la ingesta de materia seca. Por ejemplo, la insulina aumenta en condiciones de estrés calórico, mientras los reportes respecto a las concentraciones de IGF-I son contradictorios, y generalmente no se observan cambios (Baumgard & Rhoads, 2013).

2.10 Sistemas silvopastoriles en Uruguay

Los SSP resultan en una herramienta beneficiosa al componente animal ya que brindan sombra y abrigo, disminuyendo el estrés calórico (Huertas et al., 2020). Los SSP se basan en la producción integrada entre árboles, plantas forrajeras y rumiantes. Estos sistemas permiten explotar las sinergias entre los componentes, proporcionando ventajas económicas, para el bienestar animal y la prestación de servicios ambientales (Fedrigo et al., 2018).

En Uruguay, son de reciente introducción (mediados del siglo XIX) y en las últimas décadas han tenido un gran desarrollo (Fedrigo et al., 2018). Actualmente existen 3 zonas de SSP: la zona sur-sureste (5066 ha), la zona centro-sur (976 ha) y la zona norte (350 ha), totalizando 6392 ha. Las especies usadas son del género Eucalipto, predominando el *Eucalyptus globulus* en la zona sursureste y *Eucalyptus grandis* en la zona norte. Este género es el más utilizado debido a que está bien adaptado a las condiciones del Uruguay, hay conocimiento y experiencia adquirida en su manejo, y cubre la demanda del mercado (Fedrigo et al., 2018). Estos sistemas se diferencian de las plantaciones forestales convencionales (1200 plantas/ha) porque integran el componente arbóreo a la producción ganadera existente, por medio de diseños y densidades de plantación (150-450 plantas/ha) establecidos para mejorar los servicios brindados por el campo natural. El objetivo de los SSP en el Uruguay es incorporar la producción de madera sin desplazar la ganadería sobre el campo natural, promoviendo mejoras en el confort térmico, generando beneficios ambientales y optimizando la economía. Estos sistemas combinan la forestación con el pastoreo, en base al equilibrio de la explotación de los recursos naturales por parte de los tres componentes productivos del sistema: el árbol, la pastura y el rumiante (Viñoles et al., 2022).

2.11 Servicios ecosistémicos de los SSP

Los Servicios ecosistémicos se obtienen a partir de la dinámica ecológica entre los componentes bióticos y abióticos en un ambiente biofísico, generando bienes o servicios que satisfacen de forma directa o indirecta alguna necesidad humana (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2018). Los agro productores poseen diferentes motivaciones para mantener o promover formas de uso y cobertura de los suelos (Dade, Mitchell & McAlpine, 2019). El uso de SSP permite la expansión de la productividad primaria en suelos de baja a media productividad natural (Jose, Walter & Kumar, 2017). Estos sistemas procuran mantener los niveles de productividad forrajera y cargas de pastoreo, con productividad forestal en niveles intermedios (Schinato, 2022). En suma, por los beneficios sobre la regulación térmica, el bienestar y la productividad animal en sistemas ganaderos extensivos, los SSP han sido considerados como una herramienta importante en diferentes regiones climáticas (Veissier et al., 2018).

En el campo natural la disminución de la productividad de forraje se ve afectada por la introducción de árboles, debido a las alteraciones en la cantidad y calidad

de la luz en el ambiente (Peri, Moot & McNeil, 2003). En cambio, el contenido medio de proteína en la hoja puede aumentar, mejorando la eficiencia fotosintética (Cruz & Notes, 1997). Debido a esto, cuando se asocia una masa forrajera adecuada con el aumento de la calidad del SSP, da como resultado una mejora en la ganancia de peso diaria de las vaquillonas (Davis, Mader, Holt & Parkhurst, 2003; Renaudeau et al., 2012).

Por lo anteriormente expuesto, los SSP permitirían generar un microclima propicio para aumentar la productividad del par vaca-ternero. Sin embargo, no existen antecedentes en la literatura nacional e internacional que cuantifiquen el impacto del uso de SSP en la evolución de peso de vacas y terneros.

3. HIPÓTESIS

Vacas de cría pastoreando campo natural a SP durante el período de entore, tienen indicadores productivos y reproductivos más pobres que vacas pastoreando en SSP. La eficiencia reproductiva puede mejorarse a través de la aplicación de DT, que redundará en una mejora en el balance energético de las vacas.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Evaluar la eficiencia productiva y reproductiva en vacas para carne y sus terneros, pastoreando sobre campo natural en SP en comparación con vacas y terneros pastoreando un SSP durante la época de entore, y su interacción con la aplicación de DT a los terneros.

4.2 Objetivos específicos

Evaluar en un sistema SP vs SSP:

- La evolución del peso vivo de vacas y terneros y la condición corporal de vacas para carne.
- El efecto del DT como herramienta para atenuar el estrés calórico sobre la eficiencia reproductiva.
- Estimar el momento de reinicio de la actividad ovárica y la concepción de las vacas.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Protocolo

El experimento contó con la aprobación de la *Comisión Honoraria de Experimentación Animal (CHEA)* con número de Protocolo nº1308.

5.2 Ubicación y duración

El ensayo experimental se llevó a cabo en el establecimiento "Abuelita", del Sr. José Luis Dutra da Silveira, ubicado en el departamento de Tacuarembó-Uruguay, en el paraje Batoví sobre ruta nacional Nº 5 (latitud S 35° 55' 09.83", longitud O 56° 02' 21.71"). Comenzó el 18 de noviembre del 2020 extendiéndose hasta el 19 de marzo del 2021, cubriendo el período más caluroso del año.

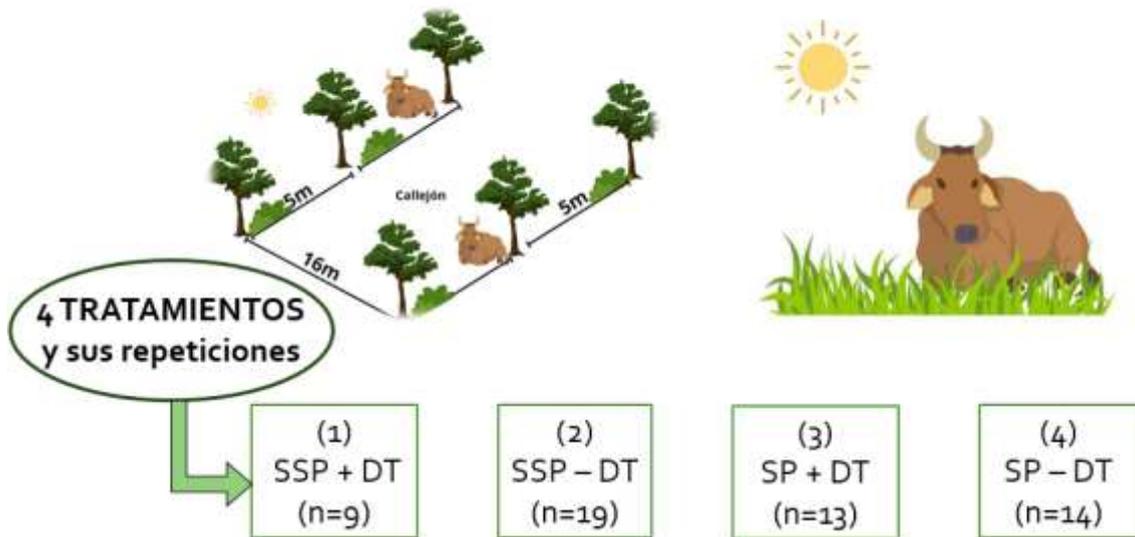
5.3 Animales

Se utilizaron 55 vacas multíparas cruza razas británicas con Bradford con ternero al pie (43 vacas enteras, 12 vacas castradas), con más de 40 días posparto. El peso vivo inicial de las vacas fue $363 \pm 44,6$ kg con una condición corporal promedio de $3,3 \pm 0,73$ (escala 1 - 8; Vizcarra et al., 1986). El peso promedio de los terneros al inicio del experimento fue de $58,4 \pm 17$ kg. El entore se realizó del 3 de diciembre del 2020 al 9 de marzo del 2021, utilizando 4 toros aptos desde el punto de vista reproductivo, y se rotaron cada 2-3 días entre cada bloque experimental. Al retirar los toros, todas las vacas fueron sometidas a una inseminación artificial a tiempo fijo (IATF).

5.4 Diseño experimental

Los grupos experimentales fueron distribuidos aleatoriamente en dos tratamientos; sistema sin sombra (SP) y SSP, ambos con dos repeticiones. El SSP abarcó una parcela de 27 hectáreas compuesta por *Eucalyptus grandis* con fecha de plantación 2015, en arreglo 5x5+16 (cinco metros entre árboles en la fila, cinco metros entre filas y 16 metros de callejón) y el SP una parcela de 9 hectáreas de campo natural sin sombra. Ambas parcelas fueron sub-divididas con pìolas eléctricas. Al inicio del experimento, se realizó el ajuste de carga y se asignaron los animales al azar a cada tratamiento, sin ajustes posteriores. A la mitad de los terneros de cada tratamiento, se les aplicó DT (+DT) o no (- DT), por lo que se formaron cuatro grupos; (1) SSP + DT (n=9), (2) SSP – DT (n=19), (3) SP + DT (n=13) y (4) SP – DT (n=14). La base forrajera de los animales fue campo natural asignación inicial de 3,31 kg PV/kg MS sin ajustes posteriores. La disponibilidad de agua fue *ad Libitum*.

Diseño experimental: Factorial 2x2 (Sistema y DT)



5.4.1 Destete temporario

El 29 de diciembre, momento esperado de la primera ola de calor, se aplicó tablilla nasal a la mitad de los terneros de cada parcela de forma aleatoria y con la precaución de que tuvieran un peso superior a los 70 kg. Los terneros permanecieron al pie de la madre y a los 14 días (12 de enero) se les retiró la tablilla nasal.

5.4.2 Protocolo de Inseminación artificial a tiempo fijo

Al momento del retiro de los toros, y considerando el bajo porcentaje de vacas ciclando y preñadas, se aplicó un protocolo de inseminación artificial a tiempo fijo (IATF). Para ello se seleccionaron solamente las vacas que estaban en anestro (ausencia de cuerpo lúteo). El 9 de marzo del 2021 comenzó el protocolo de IATF con la colocación de un dispositivo intravaginal de 0,6 gr de progesterona (Dispocel monouso, Fatro, Uruguay) coincidiendo con la administración de 1,5 mg de benzoato de estradiol (benzoato de estradiol, Fatro, Uruguay) inyectado por vía intramuscular. A los 7 días (16 de marzo del 2021), se retiró el dispositivo intravaginal y se administraron 150 µg de prostaglandina sintética (Dalmaprost - D, Fatro, Uruguay) y 400 UI de eCG (Dalmagon, Fatro, Uruguay) por vía intramuscular. A los 9 días (18 de marzo del 2021, 36 horas después de que se retiró el dispositivo de progesterona), las vacas recibieron 8,4 µg de un análogo de GnRH (Dalmarelin, Fatro, Uruguay) por vía intramuscular. En la mañana del 19 de marzo del 2021, 12 a 16 horas después de la inyección de GnRH, se inseminaron las vacas. El 23 de abril del 2021, 35 días después de finalizado el protocolo de inseminación, se realizó diagnóstico de gestación por ecografía transrectal.

5.5 Esquema de actividades

En la Figura 2 se presenta el esquema de las actividades realizadas durante el experimento.



Figura 2. Esquema del diseño experimental. Referencias (*): Retiro de los animales de las parcelas por la presencia del Hongo *Ramaria Flavo Brunnescens*, DT: destete temporario, IATF: Inseminación artificial a tiempo fijo.

5.6 Determinaciones en la pastura

La disponibilidad de forraje fue evaluada 14 días previos al ingreso de los animales a las parcelas y cada 28 días hasta finalizar el experimento. Para la estimación de la materia seca se utilizó el método de doble muestreo (Haydock & Shaw, 1975), este valora el forraje mediante escalas equidistante del 1 al 5 donde 1 representa la situación con menos forraje y 5 la situación con mayor cantidad de forraje. Se utilizaron cuadros de 50 x 50 cm, y se realizaron cinco mediciones de altura por cuadro y doble muestreo por cada punto de escala. Definidos los puntos de la escala, se recorrieron las parcelas tirando el cuadro 150 veces. En el SSP se registraron 75 puntos en área debajo de los árboles y 75 puntos en área sin árboles, en el SP 150 puntos. En ambas parcelas se trazaron dos líneas diagonales imaginarias para registrar dichos puntos. Una vez hechas las lecturas visuales los puntos de referencia se cortaron, se registró el peso húmedo y posteriormente las muestras se secaron en estufa a 60°C por 48 horas para registrar el peso seco de cada corte y luego calcular el porcentaje y el total de materia seca (MS). Con los valores obtenidos se creó una ecuación de regresión lineal, estimando la cantidad de MS/há de cada parcela (Haydock & Shaw, 1975).

5.7 Determinaciones en los animales

5.7.1 Peso vivo

Cada 28 días se tomaron registros en ambos tratamientos de peso vivo (PV) en vacas y terneros utilizando una balanza electrónica (TRU-TEST, XR3000, True-test, United States). Se calculó la ganancia diaria promedio entre mediciones de peso vivo.

5.7.2 Condición corporal

Se evaluó la condición corporal (CC) en las vacas mediante apreciación visual utilizando el método de (Vizcarra et al., 1986), escala de 1 - 8 (1= animal emaciado y 8= animal con exceso de grasa). La evaluación fue realizada siempre por la misma persona y el mismo día que las mediciones de peso vivo en los animales.

5.7.3 Diagnóstico y edad gestacional

Se evaluó el tracto reproductivo de las vacas utilizando un ecógrafo (Imago L, IMV imaging, España) equipado con una sonda lineal transrectal de 5-10 MHz. Las ecografías fueron realizadas 14 días antes del ingreso de los animales a las parcelas y luego cada 28 días hasta el final del experimento. La última ecografía fue realizada a los 35 días de la IATF. Se evaluó ciclicidad, edad embrionaria/fetal y se estimó el momento de la concepción de las vacas (fecha de diagnóstico de gestación – edad gestacional) que fue expresada como días de iniciado el servicio.

5.7.4 Temperatura vaginal

Al inicio del experimento, se seleccionaron por dentición 12 vacas con último ternero que fueron castradas y posteriormente asignadas a las parcelas (3 por parcela). Los registros de temperatura vaginal fueron continuos y durante todo el experimento, utilizando 6 dispositivos intravaginales equipados con registradores de temperatura i-Buttons Dallas (Thermochron DS1921G-F5) que se fueron alternando entre las seis vacas castradas de cada tratamiento. Las vacas castradas no fueron consideradas en el análisis de las variables reproductivas.

5.8 Registros meteorológicos

Se registró la temperatura del globo negro (esferas de Vernon equipadas con sensores automáticos de temperatura i-Buttons Dallas), para considerar los aportes calóricos originados por la radiación solar directa y por convección. Para ello se utilizaron cuatro equipos; tres distribuidos en el SSP (uno en área debajo de los árboles, uno en área sin árboles y uno en callejón) y un equipo en el SP, ubicados a 1,5 metros del suelo. Las variables meteorológicas fueron medidas cada 15 minutos durante todo el día durante todo el experimento. En base a esta información se calculó el índice de temperatura y humedad diario del globo negro (ITHGN) utilizando la fórmula de (Buffington et al, 1981): $ITHGN = TGN + 0,36 \times TPR + 41,5$.

La ocurrencia de una ola de calor fue definida según dos criterios: 1) si durante al menos tres días consecutivos, el ITHGN promedio diario fue mayor a 72, 2) si durante al menos tres días consecutivos, el ITHGN horario fue mayor o igual a 72 durante 14 horas o más (Saravia, Astigarraga, Van Lier & Bentancur, 2011).

5.9 Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa SAS (SAS on Demand for Academics). Se utilizó el procedimiento MIXTO con medidas repetidas en el tiempo para variables continuas del componente animal (peso vivo de vacas y terneros, condición corporal de las vacas y ganancia diaria promedio de terneros, temperatura vaginal), forrajero (asignación de forraje) y variables microclimáticas (temperatura del globo negro e ITHGN). El modelo incluyó los efectos fijos de los tratamientos (SSP vs SP, con o sin DT, días y sus interacciones), utilizando como covariable el PV inicial de vacas y terneros. Los efectos aleatorios fueron la parcela principal (SSP o SP) anidada con la subparcela (+DT o -DT). La estructura de covarianza se seleccionó de acuerdo con los criterios de Akaike. Para disponibilidad de forraje e ITHGN, también se consideró la variable espacial (debajo de los árboles, callejón, SP) en el modelo. Las medias ajustadas se compararon mediante la prueba de Tukey Kramer con un nivel de significación de $P < 0,05$.

La variable reinicio de la actividad ovárica (presencia del primer cuerpo lúteo) y momento de la concepción se analizaron mediante el procedimiento LIFETEST. La preñez final se analizó mediante el procedimiento GENMOD disponible en SAS. Los valores de p entre 0,05 y 0,1 se consideraron una tendencia.

6. RESULTADOS

6.1 Asignación y composición química del forraje

La asignación de forraje fue similar entre el SSP y el SP al inicio del experimento, pero bajó posteriormente asociado un período de baja pluviosidad en diciembre y enero (Figura 3). La proporción de proteína cruda del forraje fue mayor en el SSP, pero no presentaron diferencias para la composición de fibra ácida detergente (Cuadro 1).

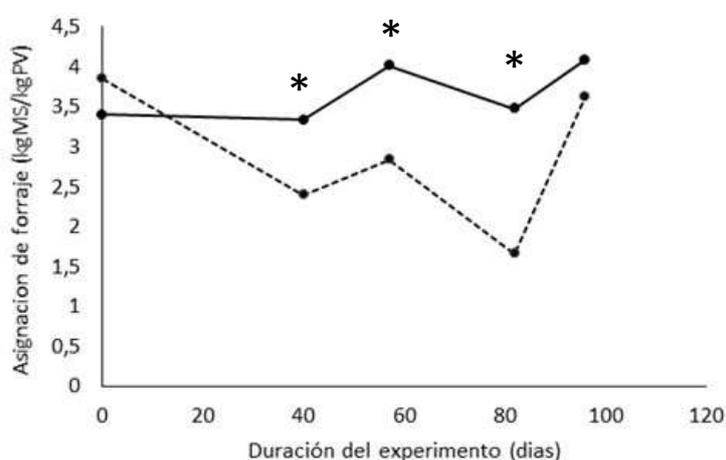


Figura 3. Evolución de la asignación de forraje (kgMS/kg PV) en los grupos de SP (línea continua) y SSP (línea punteada) durante el periodo experimental. *representa diferencias significativas $p < 0,05$

Cuadro 1. Composición del forraje durante el periodo experimental en el SSP (bajo y sin árboles) y SP.

	SSP bajo árboles	SSP sin árboles	Sol Pleno	P-valor
PC (%)	7,9 ± 0,3 ^a	5,4 ± 0,3 ^b	5,0 ± 0,4 ^b	0,001
FDN (%)	67,2 ± 0,9 ^b	70,5 ± 0,9 ^{ab}	72,5 ± 0,9 ^a	0,001
FDA (%)	45,2 ± 0,6	46,6 ± 0,6	46,8 ± 0,7	0,194

PC: Proteína cruda; FND: fibra detergente neutro; FAD: fibra detergente ácido; A-B- medias seguidas de letras diferentes difieren significativamente según la prueba de Tukey; ($P < 0.05$).

6.2 Temperatura del Globo negro e ITHGN

Durante todo el periodo experimental la temperatura media del GN debajo de los árboles y en el callejón del SSP fueron inferiores respecto a la temperatura media del grupo SP o del área sin árboles del SSP (Figura 4A). Respecto al ITHGN (Figura 4B), se observa que el promedio mensual fue superior en el grupo SP y en el área sin árboles del SSP, con un máximo de 76 y 81; respectivamente. El ITHGN bajo los árboles y en el callejón del SSP se mantuvo siempre en valores inferiores, con máximos de 73 y 71; respectivamente, a lo largo de todo el período experimental.

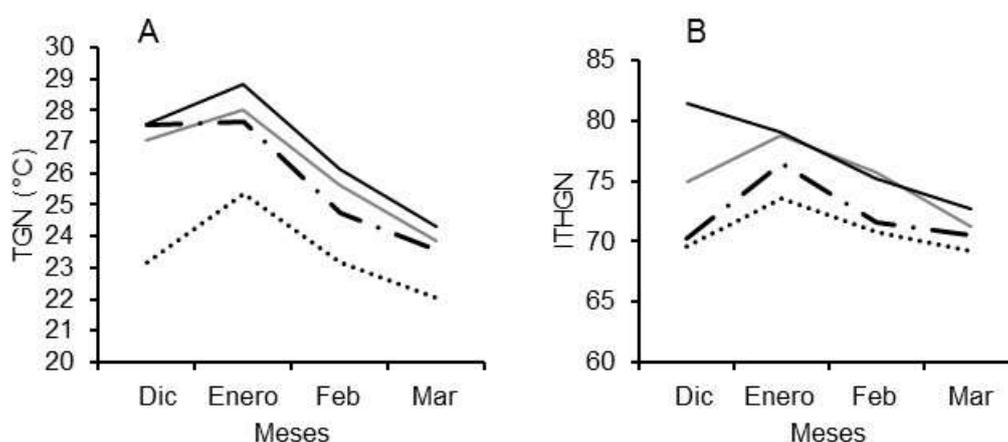


Figura 4. Evolución de la temperatura media mensual (A) del globo negro (GN) e Índice de Temperatura y humedad (B) del globo negro (ITHGN) en los grupos SP (línea negra continua), área sin árboles del SSP (línea gris continua), área del callejón (línea negra con guiones grandes) y área debajo de los árboles (línea punteada), durante el período experimental.

Durante el período de DT, comprendido entre el 29 de diciembre 2020 y el 12 de enero 2021, el ITHGN promedio fue > 72 durante más de 11 días consecutivos (Figura 5), por lo que coincidió con una ola de calor. Del día 5 al 7, coincidió con más de 14 h con in ITHGN superior a 72.

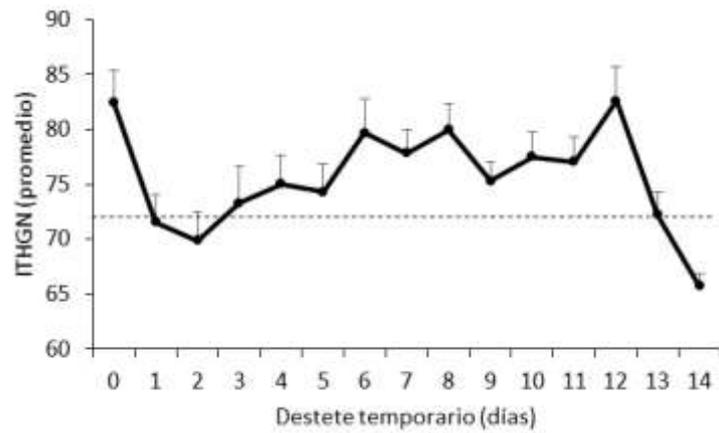


Figura 5. Evolución del ITHGN promedio diario durante el periodo de DT en el área SP (línea continua). Límite crítico de ITHGN= valor 72 (línea punteada).

6.3 Temperatura vaginal

La temperatura vaginal promedio de las vacas pastoreando en SP en las horas de mayor calor, fue superior durante todo el experimento respecto a vacas pastoreando en SSP (Figura 6).

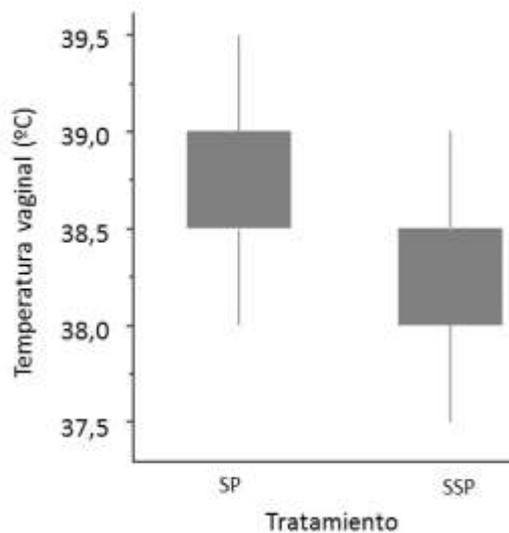


Figura 6. Temperatura vaginal (°C) de vacas pastoreando en un SSP o a SP durante el período de servicios.

6.4 Variables productivas y reproductivas

En el Cuadro 2, se presentan los resultados estadísticos de los factores fijos evaluados para las diferentes variables en vacas y terneros.

Cuadro 2. Efectos fijos y sus interacciones estudiadas en el modelo estadístico para peso vivo de vacas y terneros (Kg), condición corporal de las vacas y ganancia media diaria (GMD; kg/d) de terneros que pastorearon en diferentes sistemas (S: silvopastoril o sol pleno), asociados o no al destete temporario (DT) en diferentes días durante el periodo experimental.

Variable de respuesta	Efectos fijos					
	S	DT	Día	S*DT	S*día	S*DT*día
Peso vivo de vacas (Kg)	***	NS	***	NS	***	***
Condición corporal vacas	0.06	NS	***	NS	NS	NS
Peso vivo de terneros (kg)	**	NS	***	NS	NS	NS
GMD (kg)	**	NS	***	NS	**	NS

*** P <0.001, ** P <0.01, * P <0.05, NS = Insignificante.

Las vacas que pastorearon en SSP recuperaron peso vivo más rápido que las vacas que pastorearon a SP, presentando incrementos de la condición corporal al inicio y final del experimento (Figura 7 A y B).

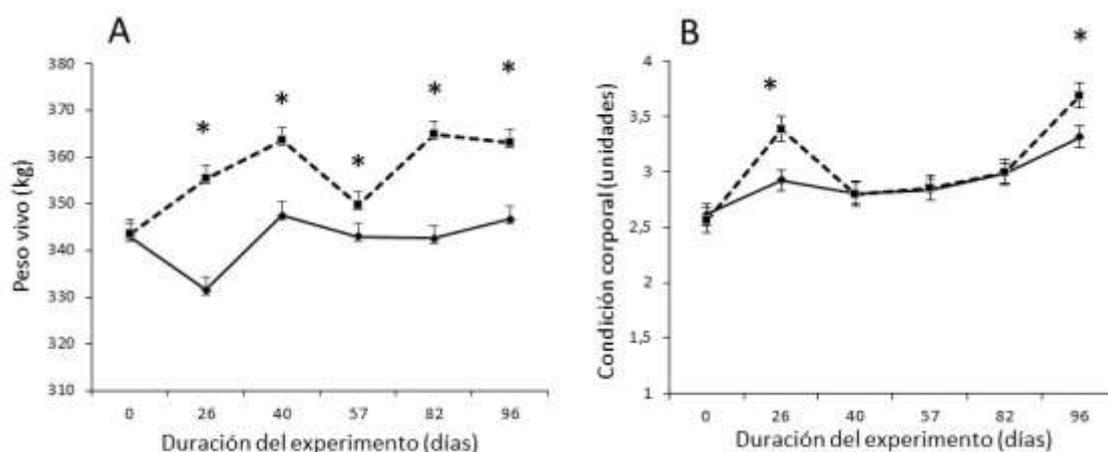


Figura 7. Evolución del peso vivo (A) y condición corporal (B), de vacas cruzas Braford pastoreando a SP (línea continua) o SSP (línea punteada), durante el período de servicio. (*) Diferencias significativas.

Los terneros que pastorearon al pie de la madre en el SSP, tuvieron mayores tasas de ganancia, lo que se reflejó en mayores pesos vivos sobre el final del verano (días 82 y 96 del experimento), respecto a los que pastorearon a SP (Figura 8 A y B).

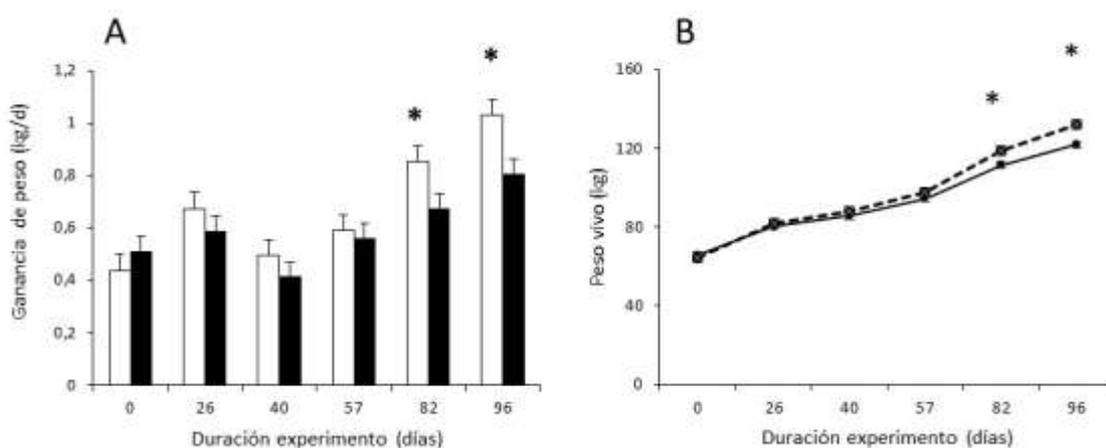


Figura 8. Evolución de la ganancia diaria (A) y peso vivo (B), de los terneros pastoreando a SP (negro) o SSP (punteado), durante el período de experimento. (*) Diferencias significativas.

No se observaron diferencias entre el SSP y SP sobre las variables reproductivas de las vacas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto del sistema (silvopastoril (SSP) o sol pleno (SP)) asociado (+) o no (-) al destete temporario (DT) sobre primer cuerpo lúteo (días), el momento de concepción (días) y la preñez (%).

Grupo	SSP+DT (n=9)	SSP-DT (n=13)	SP+DT (n=13)	SP-DT (n=8)	P-valor
Primer cuerpo lúteo (días)	62 ± 8 (6/9)	81 ± 9 (5/13)	70 ± 7 (4/13)	82 (1/8)	0,13
Momento de concepción (días)	96 ± 8 (5/9)	85 ± 8 (1/7)	89 ± 8 (7/13)	102 ± 0 (1/8)	0,23
Preñez (%)	5/9 (55,5)	7/13 (53,8)	7/13 (53,8)	1/8 (12,5)	0,18

7. DISCUSIÓN

La hipótesis de qué vacas de cría pastoreando campo natural en SP durante el período de entore tienen indicadores productivos y reproductivos más pobres, que vacas pastoreando en SSP se cumplió parcialmente. La productividad de vacas y terneros fue superior en SSP respecto al SP, lo que podría explicarse por las mejores condiciones ambientales y la mayor calidad del forraje disponible en SSP. El SSP promovió una reducción en la temperatura vaginal de las vacas, respecto al SP. Sin embargo, esto no se reflejó en mejores indicadores reproductivos. El agregado del DT como herramienta para mejorar la eficiencia reproductiva de las vacas, no tuvo un impacto significativo.

7.1 Peso vivo y CC de vacas

La asignación de forraje al inicio del periodo experimental fue superior a 3,31 Kg MS/Kg de peso vivo (PV), con el objetivo de que no limitara la productividad de las vacas y terneros, pero se redujo posteriormente en forma más marcada en el SSP respecto al SP (Sollenberger, Moore, Allen & Pedreira, 2005). Sin embargo, la evolución del peso vivo observado en las vacas que pastorearon en SSP describe un balance energético positivo, en comparación las vacas pastoreando en SP. El peso vivo de las vacas en SSP se mantuvo más elevado que en la del SP, lo que coincide con los aumentos de la condición corporal durante el período experimental. Las vacas en SSP tuvieron valores mayores de CC durante los 96 días del experimento, comparado con vacas que pastorearon a SP. Estos resultados probablemente pueden estar explicados por la mejor calidad del forraje asociado a un patrón más constante de consumo de los animales, similar a lo que ocurre en categorías de recría (Fedrigo et al., 2019). El porcentaje de proteína cruda y fibra son dos parámetros relevantes para describir la calidad de la pastura. En este trabajo, observamos que la pastura que crece debajo de los árboles en SSP tiene 2,9% más de proteína y 8% menos de fibra detergente neutro que la que crece en SP. Considerando la capacidad de selección de los rumiantes, la situación de los SSP podría haber favorecido el consumo y productividad animal. La CC es un buen indicador del porcentaje de preñez, ya que afecta el intervalo parto-primer celo, la producción de leche, la salud y vigor del ternero (Hernandez, Lizasoain & Noboa, 2019). Reportes previos (López, 2006) indican que las vacas que se encuentran con CC 2,5 (escala de 1 a 5) tienen un intervalo parto-primer estro más corto, respecto a las que tienen menor CC o han perdido CC al final de la gestación. La condición corporal es un estimador del balance energético de las vacas, por lo tanto, los resultados sugieren que las vacas en SSP tuvieron un balance positivo, que les permitió recuperar reservas corporales, efecto que no se observó en vacas pastoreando SP. El aumento en peso vivo y condición corporal de las vacas pastoreando SSP podría tener un impacto de largo plazo, en el siguiente ciclo de gestación-lactancia, considerando la relevancia de este parámetro en la producción de leche y eficiencia reproductiva de las vacas (Soca et al., 2016).

7.2 Ganancia y peso vivo de terneros

La ganancia de peso en los terneros que pastorearon al pie de la madre en SP fue inferior a los terneros que pastorearon en SSP. Sin embargo, el efecto del DT en el peso de vivo de los terneros no fue significativo. Esto coincide con trabajos realizados por Quintans et al., (2010) donde afirman que las menores tasas de ganancia de peso se mantienen hasta 14 días después de finalizado el DT, producto de la producción de leche de las vacas que se va normalizando gradualmente. La tasa de crecimiento de los terneros a partir de los 3 meses de edad se ve comprometida debido al incremento en los requerimientos que no pueden ser cubiertos por la leche materna y determina bajos pesos al destete (Viñoles et al., 2022). Si bien en este trabajo no se estudió la producción láctea de las vacas, podemos especular que el bienestar animal permitió a las vacas retener energía para destinar a otras funciones, impactando positivamente en esta variable como lo demuestran otros autores (La Manna et al., 2014). Estudios recientes han demostrado impactos negativos reflejados en una menor producción de leche a partir de ITH superiores a 72. Estos autores proponen a la sombra natural como estrategia para minimizar el efecto del estrés calórico. Además, la alimentación es uno de los principales factores que afectan la producción de leche; al disminuir la calidad de forraje, disminuye la digestibilidad junto con la proteína y la energía, repercutiendo en la producción láctea. En este experimento, la calidad del forraje fue superior en SSP comparado con SP, lo que podría haber afectado positivamente la producción de leche de las vacas. Existe una estrecha relación entre la cantidad de leche que produce la vaca y el incremento de peso pre destete del ternero, aunque al aumentar la producción lechera aumenta la cantidad de litros de leche requeridos para producir un kilo de aumento de peso, volviéndose menos eficiente el proceso. En este sentido, se han descrito mayores tasas de ganancia de peso de los terneros con libre acceso a sus madres vs terneros con tablilla nasal (Alvarez, 2018; Quintans, Roig & Velazco, 2013). En nuestro trabajo, el peso al destete no fue influenciado por el DT, a pesar de la limitante en la disponibilidad y la asignación de forraje en el SSP y SP. Sin embargo, las ganancias de peso fueron inferiores a las reportadas por otros autores, probablemente asociado a la CC de las madres y la asignación de forraje (Pereyra et al., 2015). Por lo tanto, podríamos especular que las diferencias en confort térmico y calidad de forraje repercutieron positivamente en la producción de leche de vacas en SSP comparado con SP, permitiendo mayores tasas de ganancia de peso de los terneros.

7.3 Eficiencia reproductiva

La temperatura del GN y el ITHGN fueron inferiores en el grupo SSP respecto al grupo SP durante el periodo de entore. Esto incluye el período de DT, en que se registró una ola de calor. El microclima generado en el SSP permitió atenuar el estrés calórico, favoreciendo el bienestar animal, en concordancia con reportes previos (Rovira, 2002). Sin embargo, no observamos un efecto beneficioso adicional del DT en la tasa de ganancia ni en la eficiencia reproductiva de las vacas pastoreando SP ni SSP. Las condiciones favorables presentes en los SSP

permitieron que la temperatura vaginal de las vacas del grupo, estuviera más baja en las horas de más calor comparadas con las vacas del grupo SP. El superior confort térmico se manifestó por la menor temperatura media e ITHGN registrada en los primeros 60 días de servicio. Vacas pastoreando SSP alcanzaron ITHGN máximos de 71 bajo los árboles, mientras que las del grupo SP alcanzaron valores de ITHGN de 76 que se mantuvieron más tiempo. Dichos datos coinciden con los expresados por Amundson et al., (2006) quienes designan como umbral un ITH de 73, por encima del cual la tasa de preñez se ve afectada negativamente. Si analizamos la tasa de preñez y el momento de concepción, las vacas en SP- DT obtuvieron la peor performance reproductiva y se preñaron al final del entore. En el grupo SSP- DT la probabilidad de concebir fue intermedia, mientras que la mejor performance reproductiva la demostraron los grupos SSP+DT y SP+DT, donde las vacas se preñaron a lo largo de todo el entore. Podríamos especular que el DT, aumentó las concentraciones de hormonas metabólicas, específicamente de IGF-I, que cumple un rol en el eje reproductivo a nivel central y periférico (Soca et al., 2014). Estudios realizados *in vitro*, sugieren que el IGF-I tiene un efecto termo protector sobre el ovocito (Rodríguez et al., 2016). Por lo tanto, si aplicamos dicha herramienta alrededor de la ocurrencia de la primera ola de calor del verano, el aumento del IGF-I podría proteger al ovocito de las altas temperaturas y mejorar la eficiencia reproductiva de las vacas (Sudo et al., 2007). En suma, el empleo del SSP el cual brinda confort térmico podría reducir los requerimientos de mantenimiento de las vacas, permitiendo un re direccionamiento de la energía, determinando en un aumento de las hormonas metabólicas, principalmente el IGF-1. Aunque el número de vacas utilizadas en este experimento fue limitante para evaluar variables reproductivas, los resultados sugieren que el SSP y el DT podrían mejorar la eficiencia reproductiva de las vacas en pastoreo.

8. CONCLUSIONES

Concluimos que el SSP permite aumentar la productividad de vacas y terneros, en comparación con el desempeño de vacas y terneros en SP. A igual asignación de forraje inicial, el peso vivo de vacas y terneros y la condición corporal de las vacas pastoreando SSP fue mayor que el de sus pares pastoreando SP. La temperatura vaginal de las vacas en SSP fue inferior a las vacas en SP, pero no se observó un efecto significativo del SSP o del DT en la eficiencia reproductiva de las vacas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Alvarez, F. (2018). *Destete en terneros de carne. Distintas técnicas e impacto en el sistema de producción*. Recuperado de https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/destete/118-Destete_tecnicas_impacto.pdf
- Amundson, J. L., Mader, T. L., Rasby, R. J., & Hu, Q. S. (2006). Environmental effects on pregnancy rate in beef cattle. *Journal of Animal Science*, *84*, 3415-3420.
- Atrian, P., & Shahryar, H. A. (2012). Heat stress in dairy cows (a review). *Research in Zoology*, *2*(4), 31-37.
- Baêta, F., & Souza, C. (2010). Ambiência em edificações rurais. *Conforto Animal*, *2*, 1-269.
- Báez, G., & Grajales, H. (2009). Anestro posparto en el ganado bovino en el trópico. *Revista MVZ Córdoba*, *14*(3), 1867-1875.
- Baumgard, L.H., & Rhoads Jr, R.P. (2013). *Effects of heat stress on postabsorptive metabolism and energetics*. *Annu. Rev. Anim. Biosci.*, *1*(1), 311-337.
- Beatty, A., Barnes, D., Pethick, E. T., & Dunshea, F. (2004). Bos indicus cattle can maintain feed intake and fat reserves in response to heat stress better than Bos taurus cattle. *Journal of Animal and Feed Sciences*, *13*(Suppl. 1), 619-622.
- Berretta, E., Risso, D., Montossi, F., & Pigurina, G. (2000). Campos in Uruguay. In *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. Wallingford: CABI.
- Brown-Brandl, T., Eigenberg, R., & Nienaber, J. (2006). Heat stress risk factors of feedlot heifers. *Livestock Science*, *105*(1-3), 57-68
- Butler, W., & Canfield, R. W. (1991). Energy balance, first ovulation and the effects of naloxone on LH secretion in early postpartum dairy cows. *Journal of Animal of Science*, *69*(2), 740-746.
- Butler, W., & Smith, R. (1989). Interrelationships between energy balance and postpartum reproductive function in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, *72*(3), 767-783.
- Carámbula, M. (1997). Actualización de información tecnológica sobre pasturas en producción extensiva. En *Actualización de información tecnológica sobre pasturas en producción extensiva* (2ª ed., pp. 7-11). Montevideo: INIA.
- Cardoso, R., Alves, B., & Williams, G. (2018). Neuroendocrine signaling pathways and the nutritional control of puberty in heifers. *Animal Reproduction*, *15*, 868-878. <https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0013>

- Castaño, F. A., Rugeles P, C. C., Bentancur H, C. A., & Ramirez-Lopez, C. J. (2014). Impacto del estrés calórico sobre la actividad reproductiva en bovinos y consideraciones para mitigar sus efectos sobre la reproducción. *Revista Biosalud*, 13(2), 84-94.
- Crowe, M., Diskin, M., & Williams, E. (2014). Parturition to resumption of ovarian cyclicity: comparative aspects of beef and dairy cows. *The Animal Consortium*, 8, 40-53.
- Cruz, P., & Notes, A. (1997). Effect of shade on the carbon and nitrogen allocation in a perennial tropical grass, *Dichanthium aristatum*. *Journal of Experimental Botany*, 48(1), 15-24.
- Dade, M., Mitchell, M., & McAlpine, C. (2019). *Assessing ecosystem service trade-offs and synergies: The need for a more mechanistic approach*. *Ambio*, 48, 1116-1128.
- Dambrauskas, G. (1998). El destete temporario una técnica de manejo en el control del anestro posparto del ganado vacuno. *Revista del Plan Agropecuario*, (78), 25.
- Davis, M. S., Mader, T. L., Holt, S. M., & Parkhurst, A. M. (2003). Strategies to reduce feedlot cattle heat stress: effects on tympanic temperature. *Journal of Animal Science*, 81(3), 649-61.
- Deniz, M., Tenffen de Sousa, K., Martinez do Vale, M., Dittrich, J. R., Hill, J. A., & Hötzel, M. J. (2021, diciembre 02). Silvopastoral systems as a sustainable alternative to mitigate the effects of climate change on farm level. En *The 2nd International Electronic Conference on Animals. Global Sustainability and Animals: Welfare, Policies and Technologies session*. Recuperado de <https://sciforum.net/paper/view/12024>
- Dickerson, G. (1970). Efficiency of Animal Production. Molding the Biological Components. *Journal of Animal Science*, 30(6), 849-859.
- Dogliotti, S., Soca, P., Paparamborda, I., Scarlato, S., Gestido, V., Risso, S., ... Torres, L. (2021). *Producción ganadera climáticamente inteligente y restauración del suelo en pastizales uruguayos*. Montevideo: MGAP.
- Dziuk, P., & Bellows, R. (1983). Management of reproduction of beef cattle, sheep and pigs. *Journal of Animal Science*, 87(2), 355-379.
- Farías, M. J., & Palladino, E. (2018). *Descripción de la producción de los rodeos de cría de las estaciones experimentales eebr, eemac y eefas de la facultad de agronomía* (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Montevideo.
- Fedriago, J., Báez, F., Santa Cruz, R., & Viñoles, C. (2021). Heat tolerance in cows of British breeds and their crosses with bonsmara under grazing conditions. *Journal of Thermal Biology*, 102, 103118. <https://doi.org/10.1016/J.JTHERBIO.2021.103118>
- Fedriago, J., Benítez, V., Santa Cruz, R., Posse, J. P., Santiago, R., Hernández, J., ... Viñoles, C. (2018). Oportunidades y desafíos para los sistemas

- silvopastoriles en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*, 54(209), 20-30.
- Fedrico, J., Santa Cruz, R., Benitez, V., Courdin, V., Posse, J. P., Viñoles, C., & Ferreira, G. (2019). Dynamics of forage mass, air temperature and animal performance in a silvopastoral system of Uruguay. *Agroforestry Systems* 93(6), 2197-2204. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0335-2>
- Gallardo, M., & Valtorta, S. E. (2011). *Producción y bienestar animal: estrés por calor en ganado lechero; impactos y mitigación*. Buenos Aires: Hemisferio Sur.
- Geremia, E. V. (2016). *Estrutura do dossel forrageiro e comportamento ingestivo de novilhas em Brachiaria brizantha cv. Piatã sob regimes de sombra em área de integração lavoura-pecuária-floresta* (Tesis doctoral). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- Haydock, K., & Shaw, N. (1975). The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*, 15, 663-670.
- Hemsworth, P. H., Coleman, G. J., & Barnett, J. L. (1994). Improving the attitude and behaviour of stockpersons towards pigs and the consequences on the behaviour and reproductive performance of commercial pigs. *Applied Animal Behaviour Science*, 39(3-4), 349-362.
- Hernández, M. F. (2008). *Nuevos agentes empresariales en el sector ganadero: el estudio de las modalidades no tradicionales de financiación en Uruguay (2002 -2004)* (Tesis de grado). Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República, Montevideo.
- Hernandez, M., Lizasoain, I., & Noboa, L. (2019). *Condición corporal al inicio del entore y preñez posterioren un rodeo hereford en pastoreo sobre basalto* (Tesis de grado). Facultad de Agronomía, Universidad de la Republica, Montevideo.
- Herrera, V. (2020). Efecto del estrés calórico en el bienestar animal y la producción. *Revista del Plan Agropecuario*, (176), 25-27.
- Houghton, P. L., Lemenager, R. P., Hendrix, K. S., Moss, G. E., & Stewart, T. S. (1990). Effects of body composition, pre and postpartum energy intake and stage of production on energy utilization of beef cows. *Journal of Animal Science*, 68(5), 1447-1456.
- Huertas, S. M., Bobadilla, P. E., César, D., Piaggio, J. M., & Gil, A. D. (2020). *Evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos silvopastoriles y sistemas forestales existentes en el país y su relación con la producción de bovinos de carne*. Montevideo: INIA.
- Jose, S., Walter, D., & Kumar, M. (2017). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforestry Systems*, 93, 317-331.
- Kendall, P., Nielsen, P., Webster, J., Verkerk, G., Littlejohn, R., & Matthews, L.

- (2006). The effects of providing shade to lactating dairy cows in a temperate climate. *Livestock Science*, 103, 148-157.
- Koch, R., & Algeo, J. (1983). The beef cattle industry: changes and challenges. *Journal of Animal Science*, 57(2), 28-43.
- La Manna, A., Román, L., Bravo, R., & Aguilar, I. (2014, December). Estés térmico en vacas lecheras: con sombra y bienestar las vacas producen más. *Revista INIA* (39), 34-39.
- López, F. J. (2006). Relación entre condición corporal y eficiencia reproductiva en vacas holstein. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 4(1), 77-86.
- Mader, T. L. (2003). Environmental stress in confined beef cattle. *Journal of Animal Science*, 81(14), 110-119.
- Mader, T. L., Dahlquist, J. M., & Gaughan, J. B. (1997). Wind protection effects and airflow patterns in outside feedlots. *Journal of Animal Science*, 75(1), 26-36.
- Meikle, A., de Brun, V., Carriquiry, M., Soca, P., Sosa, C., Adrien, M. de L., ... Abecia, J. A. (2018). Influences of nutrition and metabolism on reproduction of the female ruminant. *Animal Reproduction*, 15, 899-911.
<https://doi.org/10.21451/1984-3143-AR2018-0017>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2021). Anuario Opypa. Montevideo: MGAP. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2021/anuario-opypa-2021>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2022a). Anuario de OPYPA. Montevideo: MGAP. Recuperado de <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/anuario-opypa-2022>
- Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca. (2022b). *Censo General Agropecuario. Resultados definitivos*. Montevideo: Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca.
- Montes, E. (2019). *La cría de vacunos de carne. Claves para su mejora*. Montevideo: Plan agropecuario.
- Montossi, F. (2008). *Seminario de actualización técnica: Cría Vacuna*. Trinta y Tres: INIA.
- Montossi, F., & Soares de Lima, J. M. (2011). Propuestas tecnológicas desde la cría para el próximo salto productivo. *Revista INIA*, (26), 31-38.
- Morrell, J. M. (2020). *Heat stress and bull fertility*. *Theriogenology*, 153, 62-67.
- Morris, S., & Smeaton, D. (2009). *Profitable Farming of Beef Cows*. Wellington: NZ Beef Council.

- Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranireri, M., & Bernabucci, U. (2010). *Effects of climate changes on animal production and sustainability of 384 livestock systems. Livestock Science, 130, 57-69.*
- Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria, (19), 113-122.*
- Orcasberro, R. (2016). Mes de entore y eficiencia de un rodeo de cría. *Revista del Plan Agropecuario, 160, 44-48.*
- Paruelo, J. M., Piñeiro, G., Baldi, G., Baeza, S., Lezama, F., Altesor, A., & Oosterheld, M. (2010). Carbon Stocks and Fluxes in Rangelands of the Rio de la Plata Basin. *Rangeland Ecology & Management, 63, 94-108.*
- Pereyra, F., Urioste, J. I., Gimeno, D., Peñagaricano, F., Bentancour, D., & Espasandin, A. (2015). Parámetros genéticos en la eapa de cría para el cruzamiento entre Hereford y Angus en campo natural. *Agrociencia Uruguay, 19(1), 140-149.*
- Pérez, R., Carriquiry, M., & Soca, P. (2007). Estrategias de manejo nutricional para mejorar la reproducción en ganado bovino. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal, 15(1), 114-119.*
- Peri, P., Moot, D., & McNeil, D. (2003). An integrated model for predicting maximum net photosynthetic rate of cocksfoot (*Dactylis glomerata*) leaves in silvopastoral systems. *Agroforestry Systems, 58(3), 173-183.*
- Pigurina, G., Soares de Lima, J. M., & Berretta, E. (1998). Tecnologías para la cría vacuna en el Basalto. En *Seminario de actualización en tecnologías para basalto*. Tacuarembó: INIA.
- Quintans, G. (2005). Control del amamantamiento. *Revista INIA, (5), 9-11.*
- Quintans, G. (2007). *Manejo del rodeo de cría destete temporario con tablilla nasal*. Montevideo: INIA
- Quintans, G., Banchemo, G., Carriquiry, M., López, C., & Baldi, F. (2008). Efecto de la condición corporal y la restricción del amamantamiento con y sin presencia del ternero sobre la producción de leche, anestro posparto y crecimiento de los terneros. *INIA Seminario de Actualización Técnica, 174, 172-181.*
- Quintans, G., Banchemo, G., Carriquiry, M., López-Mazz, C., & Baldi, F. (2010). Effect of body condition and suckling restriction with and without presence of the calf on cow and calf performance. *Animal Production Science, 50(10), 931-938.*
- Quintans, G., Roig, G., & Velazco, J. I. (2013). *Efecto de un destete temporario con presencia del ternero y mantenimiento de la producción de leche (con ordeño diario) sobre variables reproductivas y productivas*. Treinta y Tres: INIA.
- Renaudeau, D., Collin, A., Yahav, S., de Basilio, V., Gourdine, J., & Collier, R.

- (2012). Adaptation to hot climate and strategies to alleviate heat stress in livestock production. *Animal*, 6(5), 707-728.
- Revelli, A., Delle Piane, L., Casano, S., Molinari, E., Massobrio, M., & Rinaudo, P. (2009). Follicular fluid content and oocyte quality; from single biochemical markers to metabolomics. *Reproductive Biology and Endocrinology*, 7, 40.
- Robson, C., Aller, J., Callejas, S., Cabodevila, J., & Alberio, R. (2007). Factores que afectan el anestro posparto en bovinos. *INTA EEA*, 9(33), 8-25. Recuperado de https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria/96-anestro.pdf
- Rodrigues, T., Ispada, J., Risolia, P., Rodrigues, M., Lima, R., Assumpção, M., Lopes, P. (2016). Thermoprotective effect of insulin-like growth factor 1 on in vitro matured bovine oocyte exposed to heat shock. *Theriogenology*, 86(8), 2028-2039.
- Rosselle, L., Permentier, L., Verbeke, G., Driessen, B., & Geers, R. (2013). Interactions between climatological variables and sheltering behavior of pastoral beef cattle during sunny weather in a temperate climate. *Journal of Animal Science*, 91, 943-949.
- Roth, Z. (2020). Reproductive physiology and endocrinology responses of cows exposed to environmental heat stress. *Experiences from the Past and Lessons for the Present. Theriogenology* 155, 150-156.
- Roth, Z. (2021). Heat stress reduces maturation and developmental capacity in bovine oocytes. *Reproduction, Fertility and Development*, 33(2), 66-75.
- Roth, Z., Arav, A., Bor, A., Zeron, Y., Braw-Tal, R., & Wolfenson, D. (2001). Improvement of quality of oocytes collected in the autumn by enhanced removal of impaired follicles from previously heat-stressed cows. *Reproduction*, 122(5), 737-744.
- Rovira, P. (2002). *Efecto de la sombra artificial en el engorde de novillos durante los meses de verano* (pp. 79-95). Treinta y Tres: INIA.
- Rovira, P. (2012). Riesgo de estrés calórico en la región este del Uruguay. En *Jornada Anual Unidad Experimental Palo a Pique 2012* (pp. 17-21). Treinta y Tres: INIA.
- Santa Cruz, R., De Barbieri, I., Olmos, V., Montossi, F., & Viñoles, C. (2022). Effect of temporary weaning and creep feeding on calf growth and the reproductive efficiency of their Hereford dams. *Animal Bioscience*, 35(10), 1524-1534. <https://doi.org/10.5713/ab.21.0384>
- Saravia, A., César, D., Montes, E., Taranto, V., & Pereira, M. (2011). *Manejo del rodeo de cría sobre campo natural*. Montevideo: Plan Agropecuario.
- Saravia, C., Astigarraga, L., Van Lier, E., & Bentancur, O. (2011). *Impacto de las olas de calor en vacas lecheras en Salto* (Uruguay). *Agrociencia* (Uruguay), 15(1), 93-102.

- Schinato, F. (2022). *Evaluación de servicios ambientales en un sistema silvopastoril* (Tesis de maestría). Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- Short, R., Bellows, R., Staigmiller, R., Bernardinelli, J., & Custer, E. (1990). Physiological mechanisms controlling anestrus and infertility in postpartum beef cattle. *Journal of Animal Science*, *68*, 799-816.
- Soares de Lima, J. M. (2009). Los sistemas de cría vacuna en Uruguay: situación actual y oportunidades de superación. *Revista INIA*, (20), 16-20.
- Soca, P., Carriquiry, M., Claramunt, M., Gestido, V., & Meikle, A. (2013). Metabolic and endocrine profiles of primiparous beef cows grazing native grassland. 1. Relationships between body condition score at calving and metabolic profiles during the transition period. *Animal Production Science*, *54*(7), 856-861. <https://doi.org/10.1071/AN13250>
- Soca, P., Carriquiry, M., Claramunt, M., Rupprechter, G., & Meikle, A. (2014). Metabolic and endocrine profiles of primiparous beef cows grazing native grassland. 2. Effects of body condition score at calving, type of suckling restriction and flushing on plasmatic and productive parameters. *Animal Production Science*, *54*(7), 862-868.
- Soca, P., Carriquiry, M., Claramunt, M., & Do Carmo, M. (2016). Animal energetics in extensive grazing systems: Rationality and results of research models to improve energy efficiency of beef cow-calf grazing campos systems. *Journal of Animal Science*, *94*(suppl 6), 84-92.
- Soca, P., & Orcasberro, R. (1992). Propuesta de manejo del rodeo de cría en base a estado corporal, altura del pasto y aplicación del destete temporario. En *Evaluación física y económica de alternativas tecnológicas en predios ganaderos* (pp. 54-56). Paysandú: Udelar.
- Sollenberger, L., Moore, J., Allen, V., & Pedreira, C. G. (2005). Reporting forage allowance in grazing experiments. *Crop Science*, *45*, 896-900.
- Stagg, K., Spicer, L. J., Sreenan, J. M., Roche, J. F., & Diskin, M. G. (1998). Effect of calf isolation on follicular wave dynamics, gonadotropin and metabolic hormone changes, and interval to first ovulation in beef cows fed either of two energy levels postpartum 1. *Biology of Reproduction*, *59*, 777-783. Recuperado de <https://academic.oup.com/biolreprod/article/59/4/777/2740835>
- Stahinger, R. C. (2003). La Condición Corporal en el manejo del rodeo de cría. En *6ª Jornadas Nacionales de Cría Bovina Intensiva*. Recuperado de https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/cria_condicion_corporal/17-manejo.pdf
- Sudo, N., Shimizu, T., Kawashima, C., Kaneko, E., Tetsuka, M., & Miyamoto, A. (2007). Insulin-like growth factor-I (IGF-I) system during follicle development in the bovine ovary: relationship among IGF-I, type 1 IGF receptor (IGFR-1) and pregnancy-associated plasma protein-A (PAPP-A). *Molecular and Cellular Endocrinology*, *264*(1-2), 197-203.

- Thom, E. C. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61.
- Uruguay XXI. (2021). *Informe Anual de Comercio Exterior*. Recuperado de <https://www.uruguayxxi.gub.uy/es/centro-informacion/articulo/informe-anual-de-comercio-exterior-de-uruguay-2021/>
- Veissier, I., Van laer, E., Palme, R., Moons, C., Ampe, B., Sonck, B., ... Tuytens, F. (2018). Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. *International Journal of Biometeorology*, 62(4), 585-595.
- Villa-Godoy, A., Hughes, T., Emery, R., Chapin, L., & Fogwell, R. (1988). Association Between Energy Balance and Luteal Function in Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 71(4), 1063-1072. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(88\)79653-8](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(88)79653-8)
- Viñoles, C. (2016). Desafíos del entore de 14 meses. *Revista INIA*, (44), 6-9.
- Viñoles, C., Banchemo, G., Quintans, G., Pérez, R., Soca, P., Ungerfeld, R., ... Meikle, A. (2009). Estado actual de la investigación vinculada a la producción animal limpia, verde y ética en Uruguay. *Agrociencia*, 13(3), 59-79.
- Viñoles, C., Fedrigo, J., Benítez, V., García, L., & Báez, F. (2022). Avances en el conocimiento sobre Sistemas Silvopastoriles en Uruguay. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 30(1), 43-53.
- Vitali, A., Felici, A., Esposito, S., Bernabucci, U., Bertocchi, L., Maresca, C., ... Lacetera, N. (2015). The effect of heat waves on dairy cow mortality. *Journal of Dairy Science*, 98(7), 4572-4579. <https://doi.org/10.3168/JDS.2015-9331>
- Vizcarra, J. A., Ibañez, W., & Orcasberro, R. (1986). Repetibilidad y reproductibilidad de dos escalas para estimar condición corporal de vacas Hereford. *Investigaciones Agronómicas*, 7(1), 45-47.
- Wiltbank, J., Warwick, E., Vernon, E., & Priode, B. (1961). Factors Affecting Net Calf Crop in Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, 20, 409-415.
- Wolfenson, D., & Roth, Z. (2019). Impact of heat stress on cow reproduction and fertility. *Animal Frontiers*, 9(1), 32-38.
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (2018). *TEEB for Agriculture & Food: Scientific and Economic Foundations Report*. Châtelaine: UN Environment.