

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE VAQUILLONAS DE CARNE
EN SISTEMAS SILVOPASTORILES**

por

Antonia DÍAZ PASTORINO

Lucía UMPIÉRREZ RÍOS

**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2025

Este Trabajo Final de Grado se distribuye bajo licencia
“Creative Commons **Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Dr.) Mariana Carriquiry

Tribunal:

Ing. Agr. (Dr.) Mariana Carriquiry

Zoot. (Dr.) Jean Fedrigo

Ing. Agr. (Mag.) Martín Do Carmo

Fecha: 5 de diciembre de 2025

Estudiante:

Antonia Díaz Pastorino

Lucía Umpiérrez Ríos

AGRADECIMIENTOS

A nuestras tutoras, Ing. Agr. (PhD) Mariana Carriquiry e Ing. Agr. (MsC) Federica Marín, por la guía, apoyo constante, y dedicación en la elaboración de este trabajo.

A la Primera Plataforma de Investigación, Docencia y Extensión en Sistemas Silvopastoriles, Polo Agroforestal (Cerro Largo, Uruguay); y a Viterbo Gamarra, propietario del predio donde se ubica la plataforma.

A Mauricio Cáceres, Belén Morales, y al personal del Polo Agroforestal: Carlos González, Nicolás Llanos y Gastón Pintos, por la ayuda y disposición en las tareas de campo, que hizo del experimento una experiencia amena y de disfrute.

A nuestros amigos y futuros colegas, por todo lo vivido juntos, y por hacer de esta carrera la más linda. En especial a Clara y Martina, no podríamos haber terminado de otra manera que compartiendo este proceso con ustedes.

Gracias finalmente a nuestras familias, por ser pilar y ejemplo. Este logro es tanto suyo como nuestro.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	2
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	6
RESUMEN	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Justificación	9
1.2. Hipótesis y Objetivos	10
1.2.1. Hipótesis	10
1.2.2. Objetivo general	10
1.2.3. Objetivos específicos	10
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Ganadería en Uruguay	11
2.2. Forestación en Uruguay	12
2.3. Sistemas silvopastoriles	12
2.4. Efecto de los árboles sobre la pastura y el microclima	14
2.5. El estrés calórico en sistemas silvopastoriles	15
2.6. Comportamiento en pastoreo	16
2.7. Comportamiento y performance animal en sistemas silvopastoriles	17
2.8. Uso de acelerómetros para determinación del comportamiento de bovinos en pastoreo	19
2.9. Eficiencia alimenticia y en el uso de la energía consumida	20
3. MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1. Descripción general del experimento	26
3.2. Determinaciones	28
3.3. Cálculos y análisis estadístico	29
4. RESULTADOS	31
4.1. Condiciones climáticas durante el período de ensayo	31
4.2. Comportamiento postural	32
4.3. Comportamiento de pastoreo	33
4.4. Relación entre comportamiento y eficiencia alimenticia individual	34
5. DISCUSIÓN	39
6. CONCLUSIÓN	47
7. BIBLIOGRAFÍA	48
8. ANEXO	62

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Características del forraje durante el período experimental (febrero 2025) según tratamiento	27
Tabla 2 Comportamiento diario de pastoreo y descanso + rumia de vaquillonas según tratamientos	35
Figura 1 Evolución del área de ganadería, carga animal asociada, y área forestada entre 1995 y 2013	11
Figura 2 Arreglo espacial del diseño experimental de la plataforma de investigación del Polo Agroforestal	26
Figura 3 Condiciones climáticas durante el período de ensayo (07/02/2025 – 17/02/2025)	31
Figura 4 Comportamiento de pastoreo y postural de vaquillonas según tratamientos e ITH promedio durante el día	36
Figura 5 Comportamiento postural y de pastoreo de vaquillonas según tratamientos	37
Figura 6 Tiempo de no pastoreo echadas en franjas diurnas de las vaquillonas en relación al ITH	38

RESUMEN

Los sistemas silvopastoriles han adquirido creciente interés en los últimos años debido a la expansión de la forestación en Uruguay y a los potenciales beneficios en la producción animal. Con el fin de explorar las diferencias entre sistemas de recria tradicionales y bajo un esquema silvopastoril, se evaluó el impacto de la incorporación de árboles en bajas densidades sobre el comportamiento (pastoreo vs. descanso; echada/ parada) y su relación con la eficiencia alimenticia individual en un ensayo con vaquillonas de carne en un predio comercial (Cerro Largo, Uruguay) durante febrero de 2025. Se utilizaron 36 vaquillonas de raza Brangus (18 meses de edad, 336 ± 66 kg de PV al inicio del período de medición) asignadas al azar a un diseño de bloques completos y tres tratamientos: un Control sin árboles, dos filas de árboles (2F) y cuatro filas de árboles (4F) con tres repeticiones (4 vacas/tratamiento/bloque). El arreglo espacial consistió en distancias de 5 metros entre árboles en la fila y 5 metros entre filas contiguas (marco 5x5). Estas filas (dobles o cuádruples) estaban separadas de callejones de 20 metros, lo que determinó una densidad de 160 árboles/hectárea para 2F, y 240 árboles/ha para 4F. Durante 8 días se evaluó la postura (parada/echada) y la actividad (pastoreando/no pastoreando) mediante acelerómetros de tres ejes (HOBO pendant G data logger, Onset Corp., MA, USA), colocados en la cara medial de la pata trasera izquierda y en bozales respectivamente. Los registros de ambos acelerómetros, tomados cada 1 min, fueron unificados con el fin de definir tres actividades distintas para las vaquillonas: pastoreo, descanso + rumia paradas y descanso + rumia echadas. Los datos se analizaron utilizando modelos mixtos con medidas repetidas, y el efecto del índice de temperatura y humedad (ITH) sobre el comportamiento se evaluó mediante regresiones lineales múltiples, considerando el ITH como una variable continua. Se evidenciaron patrones dictados por el ritmo circadiano sobre el comportamiento animal, con eventos de pastoreo más importantes al amanecer y anochecer, y mínima actividad de pastoreo nocturno con preferencia de la postura echada durante la noche. A su vez, aumentos del ITH se asociaron con reducciones en el tiempo de pastoreo, particularmente incrementándose el número de sesiones y disminuyendo su duración para el tratamiento 4F. Las vaquillonas en sistemas silvopastoriles (2F y 4F) tuvieron un mayor tiempo de descanso + rumia echadas diario, mientras que no se encontraron diferencias en el tiempo dedicado al pastoreo. Sin embargo, la tasa de ingestión de forraje (g MS/min) fue mayor en las vaquillonas Control, y además estas presentaron un mayor tiempo de pastoreo en horas del mediodía, y de la noche. A su vez, existió una preferencia por estar de pie en las vaquillonas Control y la proporción de tiempo echada del total de no pastoreo aumentó con el ITH durante las horas diurnas solo en los SSP. Estos resultados en su conjunto sugerirían un mayor bienestar animal en los SSP, lo que se podría atribuir a los microclimas generados por la presencia de árboles. La eficiencia alimenticia individual medida como producción de calor residual (RHP) de las vaquillonas se correlacionó positivamente con la tasa de consumo del forraje, pero no con otras variables de comportamiento de pastoreo o postural. En conclusión, la inclusión de árboles en bajas densidades provocó modificaciones en el comportamiento de las vaquillonas, que reflejaron un mayor confort térmico, favoreciendo el bienestar animal, sin grandes diferencias entre las distintas densidades de árboles.

Palabras clave: ganado de carne, silvopastoreo, comportamiento animal, estrés térmico, eficiencia alimenticia individual

ABSTRACT

Silvopastoral systems (SSP) have gained increasing interest in recent years due to the expansion of forestry in Uruguay and the potential benefits for animal production. In order to explore the differences between traditional rearing systems and a silvopastoral scheme, the impact of incorporating low-density trees on behavior (grazing vs. resting; lying down/standing) and its relationship with individual feed efficiency, this study with beef heifers was conducted on a commercial farm (Cerro Largo, Uruguay) during February 2025. Thirty-six Brangus heifers (18 months of age, 336 ± 66 kg BW at the start of the measurement period) were used, randomly assigned to a complete block design and three treatments: a Control without trees, two rows of trees (2F), and four rows of trees (4F) with three repetitions (4 cows/treatment/block). The spatial arrangement consisted of distances of 5 meters between trees within the row, and 5 meters between adjacent rows, (5x5 layout). These rows (double or quadruple) were separated by 20-meter alleys, which determined a density of 160 trees/hectare for 2F, and 240 trees/ha for 4F. For 8 days, posture (standing/lying down) and activity (grazing/non-grazing) were evaluated using three-axis accelerometers (HOBO pendant G data logger, Onset Corp., MA, USA), placed on the medial face of the left hind leg and on muzzles, respectively. The recordings from both accelerometers, taken every 1 minute, were unified to define three distinct activities for the heifers: grazing, resting + rumination standing, and resting + rumination lying down. The data were analyzed using mixed models with repeated measures, and the effect of the temperature - humidity index (THI) on behavior was evaluated by multiple linear regression, with THI considered a continuous variable. Patterns dictated by the circadian rhythm regarding animal behavior were evidenced, with more important grazing events at dawn and dusk, and minimal nocturnal grazing activity with a preference for the lying down posture during the night. In turn, increases in ITH were associated with reductions in grazing time, which were explained by an increase in the number of sessions and decrease in their duration in the 4F treatment. Heifers in SSP (2F and 4F) had a greater daily resting + rumination lying down time, while no differences were found in the time dedicated to grazing. However, the forage intake rate (g DM/min) was higher in the Control heifers, which also exhibited greater grazing time during midday and nighttime hours. In turn, there was a preference for standing in the Control heifers, and the proportion of lying down time out of the total non-grazing time increased with ITH during daylight hours only in the SSP. These results would suggest greater animal welfare in the SSP, which could be attributed to the microclimate generated by the presence of trees. Individual feed efficiency measured as residual heat production (RHP) of the heifers was positively correlated with the forage intake rate, but not with other grazing or postural behavior variables. In conclusion, the inclusion of trees in a low density caused modifications in the heifers' behavior, which reflected greater thermal comfort, favoring animal welfare, without large differences between the distinct tree densities.

Keywords: beef cattle, silvopastoral systems, animal behavior, heat stress, individual feed efficiency

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Justificación

La ganadería en Uruguay es el rubro que ocupa mayor proporción del área, con alrededor de 12,9 millones de hectáreas (ha) y 11,9 millones de vacunos (Freiría, 2024). De acuerdo con el autor, en el 2023 la exportación alcanzó valores cercanos a los 3485 millones de dólares, representando en torno al 38% del total de los productos del sector agropecuario. Frente al avance de la agricultura (18% exportaciones) y forestación (14%), resulta relevante renovar el sistema de producción apuntando a mayor eficiencia en el proceso de producción y sostenibilidad. En esta línea, los sistemas silvopastoriles (SSP) se presentan como una alternativa interesante en los últimos años.

Los SSP integran tres componentes, árboles, ganado y pasturas, con el objetivo de explotar las interacciones entre ellos y maximizar la producción del sistema de forma sostenible (Sancho et al., 2021). En Uruguay hay 1,6 millones de ha de bosque, con un 62% correspondiente a plantaciones comerciales de alta densidad (1200-1600 árboles/ha) para pulpa o madera, que son aprovechadas para pastoreo por un 5% del rodeo bovino nacional (Fedrigo et al., 2018) aunque estrictamente en SSP, las densidades de plantación recomendadas estarían entre 150 y 450 plantas/ha, muy inferiores a las densidades de plantaciones comerciales. En los SSP, comparados con áreas sin sombra, se acumula una menor cantidad de radiación solar, lo que resulta en menor temperatura de suelo, afectando la productividad y calidad del forraje (Fedrigo et al., 2018).

Por otro lado, para la producción ganadera en Uruguay, con entornos estivales, es interesante el efecto de la sombra para la mitigación del estrés calórico, y consecuentemente, los efectos positivos en eficiencia reproductiva, bienestar y producción animal, relacionados a cambios en el comportamiento animal y posiblemente con mejoras en la eficiencia de uso de la energía consumida (Fedrigo et al., 2018). Se ha señalado que el uso de árboles para provisión de sombra es más efectivo que el uso de sombra artificial, porque los árboles ofrecen un efecto combinado por la protección directa de la radiación solar a los animales, junto con el enfriamiento del aire (Saravia & Cruz, 2003). Consecuencia de esto, la sombra modifica el comportamiento animal, las actividades de pastoreo y reposo (De Souza et al., 2010), y así puede generar impacto positivo en los índices productivos, como ha sido reportado por Rovira (2012) en novillos, y por Simeone et al. (2011) en terneros. De manera contrastante, otros trabajos hallan que, a pesar de observarse mejoras en el confort térmico de los animales por la inclusión de sombra en los sistemas, esto no siempre se traduce en incrementos de productividad, lo que podría atribuirse a condiciones de clima templado donde los eventos de estrés calórico a veces son cortos, o podría entrar en juego una cierta adaptación del ganado a estas condiciones (Davies et al., 2013; Rovira, 2014). Por último, los SSP otorgan variedad de servicios ecosistémicos como la conservación de fauna nativa, además de que podrían tener un rol en el secuestro de carbono (Hislop & Claridge, 2000).

En este contexto, se entiende pertinente la generación de información nacional sobre los SSP, particularmente con plantaciones de árboles a distintas densidades, que evalúen su desempeño para las condiciones productivas de Uruguay, donde la integración de los rubros forestal y ganadero podría mejorar la competitividad de este último. En particular, generar información sobre el comportamiento animal (comportamiento de pastoreo y postural), contribuiría a una mejor comprensión de la respuesta animal en términos de productividad y bienestar, especialmente en condiciones de estrés calórico como las que ocurren en nuestro país en los meses de verano. En este sentido, para el estudio del comportamiento de los animales en SSP, resultan imprácticos los métodos de observación visual utilizados tradicionalmente, por lo que la calibración de tecnologías como acelerómetros para la determinación de la actividad de los animales podría significar un aporte relevante al estudio de estos sistemas.

1.2. Hipótesis y Objetivos

1.2.1. Hipótesis

La inclusión de árboles en bajas densidades en sistemas pastoriles, modificará el comportamiento de vaquillonas de carne, en particular en los meses de verano, con un impacto positivo en el bienestar animal, que se verá reflejado en un aumento del tiempo de pastoreo y una preferencia por el descanso echado, sin afectar la performance animal, en comparación con vaquillonas en pastoreo a sol pleno.

1.2.2. Objetivo general

Evaluar el impacto de la incorporación de árboles en bajas densidades en el comportamiento de vaquillonas de carne en SSP.

1.2.3. Objetivos específicos

1. Evaluar el uso de acelerómetros de tres ejes para la determinación del comportamiento de pastoreo en vaquillonas de carne en SSP.
2. Evaluar en vaquillonas de carne pastoreando en ausencia o presencia de árboles (plantados a dos densidades diferentes) el comportamiento (pastoreo *vs.* no pastoreo; echada *vs.* parada), y su relación con el consumo de materia seca (MS), digestibilidad del forraje, eficiencia en el uso de la energía consumida, y con las condiciones ambientales.

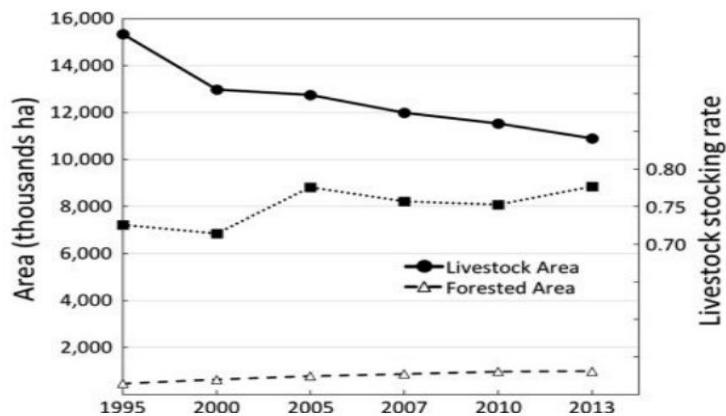
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ganadería en Uruguay

La ganadería ha sido históricamente el rubro de producción agropecuaria de mayor importancia en Uruguay. Los sistemas ganaderos se caracterizan por ser de base pastoral y desarrollarse a cielo abierto. En particular, de los 16 millones de ha destinadas a la producción agropecuaria en el país, un 64% (10,5 millones ha), corresponden a campo natural (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2014). La producción ganadera está asociada a sistemas extensivos, pero ha sido presionada en los últimos años por la expansión de la agricultura y la forestación. El aumento del área forestada, así como la importante disminución en el área destinada a la ganadería tuvo como consecuencia un cierto nivel de intensificación del sector, que puede observarse en el aumento en las cargas animales manejadas (Figura 1).

Figura 1

Evolución del área de ganadería, carga animal asociada, y área forestada entre 1995 y 2013



Nota. Línea punteada con cuadrados: carga animal (UG/ha). Tomado de Costa et al. (2023).

El aumento del área forestada ha llevado al incremento de los SSP, evidenciado tanto por el aumento de productores ganaderos que plantan montes, así como de empresas forestales con ganado pastoreando (Bussoni Guitart et al., 2019). Estos cambios pueden interpretarse como un paso de la transición hacia la implementación de los SSP diseñados como tales, durante la cual cada productor se enfoca y prioriza su actividad principal, incorporando la otra como complemento (Costa et al., 2023).

2.2. Forestación en Uruguay

Uruguay es un país con excelentes condiciones para la producción agropecuaria, donde un 88% del territorio es aprovechable con estos fines. A su vez, se ha dado una regionalización de los distintos rubros de acuerdo con la aptitud productiva, quedando la forestación relegada a aquellas zonas menos aptas para la ganadería y agricultura (Polla, 1998 como se cita en Amaya García & Rivas de los Santos, 2012).

El sector forestal ha tenido una expansión importante en el país en las últimas décadas, pudiendo identificarse dos etapas. La primera comienza con las plantaciones forestales instaladas luego de la primera Ley Forestal (Ley N° 13.723), del año 1968, con la posterior consolidación del rubro vinculada a la segunda Ley Forestal (N° 15.939), del año 1987 (Boscana Goires & Varela Casadey, 2011). En ésta se establecen zonas de prioridad para el rubro de acuerdo con consideraciones sobre tipo de suelo, clima y topografía, además de la promoción de algunas especies de los géneros *Eucalyptus* y *Pinus*, y de la facilitación desde el Estado a través de, por ejemplo, subsidios a la producción (Boscana Goires & Varela Casadey, 2011). Los autores indican que a partir del 2000 transcurre la segunda etapa, donde crece la industria asociada al rubro, y asociado a la expansión del cultivo se producen cambios en el uso de la tierra, observándose una integración menor a la esperada de la forestación con la ganadería, principal rubro productivo del Uruguay.

De acuerdo a Polla (1998, como se cita en Amaya García & Rivas de los Santos, 2012), la política forestal en Uruguay se define en torno a cuatro objetivos principales que de forma resumida consisten en: instalar plantaciones de especies exóticas con fines productivos industriales en las zonas de mayor aptitud para esta producción; conservar el bosque nativo; aprovechar los beneficios alternativos a la producción de madera que ofrecen los bosques, y favorecer el desarrollo de la industria forestal apuntando a la exportación de la producción. Dentro de los beneficios alternativos, se destaca el pastoreo de ganado, siendo esta una práctica común en Uruguay, observada en la mayoría de los campos forestados (Cubbage et al., 2012). De acuerdo con datos de la Oficina de Programación y Política Agropecuaria (OPYPA, 2015), en Uruguay existen 1,6 millones de ha de bosque, con un 62% correspondiente a plantaciones comerciales, superficie en la que pastorea un 5% del rodeo bovino nacional.

2.3. Sistemas silvopastoriles

En Uruguay, los SSP corresponden principalmente a plantaciones comerciales donde se integra la ganadería a través de contratos de pastoreo en dotaciones de 0,4-0,5 UG/ha (Fedrigo et al., 2017). Esto determina densidades de plantación elevadas, entre 1200 y 1600 árboles/ha, necesarias para la producción de pulpa o madera para aserrío, pero que limitan en consecuencia la producción de forraje. En estos contratos, ambos rubros se ven beneficiados, el forestal por la obtención de la renta y la disminución del riesgo de incendios, y el ganadero por la producción de carne lograda (Cubbage et al.,

2012). De acuerdo a la Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2010), los SSP son una modalidad de sistema agroforestal que permite diversificar ingresos además de preservar el ambiente.

Sin embargo, teóricamente, las densidades de plantación utilizadas deberían ser mucho menores a las de plantaciones convencionales. Se considera que con unas 150-450 plantas/ha se lograría un buen compromiso entre ambas producciones, optimizando los servicios ecosistémicos del campo natural y consiguiendo un equilibrio entre los tres componentes de estos sistemas: árbol, pastura y animal (Peri et al., 2016). Además, el objetivo en los SSP es maximizar interacciones positivas entre estos componentes, y minimizar las negativas a través del planeamiento y el diseño, que debe abarcar la selección de la especie arbórea, densidad y arreglo espacial de la plantación, lo referente a la pastura y también a los animales (categoría a utilizar, edad, ingreso al sistema, manejo) (Jose et al., 2019). En este sentido, en Uruguay es baja la adopción de SSP explícitamente planteados, lo que podría explicarse, en parte, por la falta de difusión de información, tecnología y resultados promisorios a los productores (Pastorini & Acosta, 2011).

Los SSP comenzaron a instalarse en Uruguay a razón de la expansión forestal de los años 90 y fomentados por los planes de integración foresto-ganaderos de la Dirección Forestal y el MGAP que surgen con la 2da Ley forestal (Sancho et al., 2021). En el 2016 se forma el “Polo Agroforestal” (Centro de Salud Reproductiva de Rumiantes en Sistemas Agroforestales) con funciones de docencia, investigación y extensión en la temática, y en el 2021 se funda SUSilvo (Sociedad Uruguaya de Silvopastoreo). Adicionalmente, en los últimos años, se han instalado plataformas experimentales en predios comerciales para generar y difundir información sobre los SSP, y contribuir así a su adopción por parte de los productores (Fedrigo et al., 2018).

Un trabajo reciente del MGAP en conjunto con el Ministerio del Ambiente, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo y el Fondo para el Medio Ambiente Mundial (Global Environmental Facility) estudió los SSP del Uruguay (Sancho et al., 2021). La consultoría se enmarca en un proyecto que pretende visibilizar las medidas a las que Uruguay se compromete para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero y cumplir con los objetivos establecidos por el Acuerdo de París. Una de las medidas es aumentar la superficie de plantaciones forestales para sombra y abrigo en un 25% (quedando incluidos los SSP). Ante una ausencia de una concepción única y clara de SSP en Uruguay, en el trabajo se propone la siguiente: “integración deliberada y a largo plazo de árboles, ganado y pasturas, que interactúan en forma armónica, propendiendo a la sinergia de sus componentes, con el objetivo de maximizar la producción del sistema en forma sostenible” (Sancho et al., 2021, p. 30). En relación a dicha definición, se establecen 3 zonas de SSP en Uruguay: sur-sureste (5066,25 ha) con predominio de la especie *Eucalyptus globulus*, centro-sur (976,34 ha) y norte (349,98 ha) con predominio de la especie *Eucalyptus grandis*. Esto resulta en una superficie total de 6394 ha (Sancho et al., 2021).

El campo natural es el ecosistema predominante del Uruguay, y la base de la alimentación de la producción ganadera. En este contexto, los SSP se presentan a través de una concepción menos estricta, como una alternativa que permite integrar la producción de madera en sistemas donde se produce carne sobre campo natural, con mejoras en el confort térmico de los animales, resultados económicos y en el ecosistema (Peri et al., 2016). El componente arbóreo es el que intercepta la mayor parte de la luz dentro del SSP, lo que implica alteraciones importantes en el microclima, con consecuencias en pastura y animal (Fedrigo et al., 2018). En consecuencia, el tapiz vegetal experimenta cambios en su estructura, composición específica y caracterización química, y los animales mejoran su confort térmico tanto en verano como en invierno, debido al menor gasto energético de termorregulación. Posiblemente, esto, además del aumento en calidad del forraje, permite mayores ganancias de peso en los animales y por lo tanto, mayor productividad (Fedrigo et al., 2019).

2.4. Efecto de los árboles sobre la pastura y el microclima

La intercepción de la radiación solar por el componente arbóreo en los SSP resulta en un beneficio en confort térmico para los animales, pero inevitablemente compromete la fotosíntesis de las especies forrajeras de las pasturas, afectando negativamente el crecimiento. El principal efecto negativo es la reducción en la cantidad y calidad de radiación fotosintéticamente activa que reciben, debido a que la luz de mayor calidad es absorbida por los árboles, llegando al estrato herbáceo la de menor calidad, lo que desencadena respuestas adaptativas en las plantas por crecer en condiciones de sombreado (Feldhake & Belesky, 2009). El filocrono mayor de plantas sombreadas junto con la menor tasa de macollaje (por menor relación luz rojo/rojo lejano) determina una menor eficiencia en el crecimiento del forraje bajo el monte (Baldissera et al., 2014). Como aspecto positivo, el forraje producido en condiciones de escasa cantidad y calidad de luz experimenta un aumento en el contenido de proteína y reducción en contenido de fibra, lo que determina una mayor calidad con efecto favorable en la producción animal (Fedrigo et al., 2017).

Por otro lado, hay modificaciones estacionales y diarias en la radiación que llega al sotobosque, lo que define el manejo de la luminosidad a través del marco de plantación y las prácticas de poda y raleo, como un factor muy importante para obtener una producción equilibrada en los SSP (Sotomayor & Teuber, 2011). Esta planificación puede apoyarse en la utilización de modelos que simulan el sombreado en las plantaciones forestales (Quesada et al., 2010). Aunque falta información con ajuste específico para las características de los SSP en Uruguay, la experiencia regional ha hallado que la implementación de los callejones y filas simples o triples bien espaciadas (14 a 28 metros), sería un arreglo efectivo para permitir suficiente llegada de luz a la pastura, además de ajustarse a la producción de madera (Varella et al., 2016).

Más aún, las cubiertas vegetales generan menor amplitud térmica tanto en el aire como en el suelo. En Uruguay, se ha reportado que durante el verano un monte de *Pinus*

taeda tiene la capacidad de reducir la temperatura del aire en 2,6-2,8 °C entre las 10 y 20 h, y en el invierno se logran incrementar las temperaturas nocturnas en 1 °C (Fedrigo et al., 2017). Cuanto más denso el monte, mayor es la magnitud de los cambios de temperatura. También hay alteraciones en temperatura del suelo, con variaciones de acuerdo con el arreglo, la densidad y la altura de los árboles, siendo el principal beneficio capitalizado por las forrajeras invernales, que sufren las temperaturas extremas registradas en suelo en los meses de verano (Wang et al., 2003). A su vez, en los montes también es mayor la humedad relativa del aire por la evaporación de las hojas de los árboles como mecanismo de reducción de temperatura, lo que también puede contribuir al confort térmico de los animales (Grantz, 1990). Otra ventaja de las cubiertas forestales es que logran disminuir la velocidad del viento (Pezzopane et al., 2015).

2.5. El estrés calórico en sistemas silvopastoriles

En los últimos años, durante el verano se han experimentado temperaturas cada vez más elevadas, lo que se ha evidenciado en el estrés térmico de los animales en pastoreo. Esto constituye una preocupación a nivel internacional, no solo en Uruguay. El riesgo de estrés calórico es acorde a la temperatura, pero también a la humedad relativa (Shrode et al., 1960), variables climáticas que se relacionan a través del índice de temperatura y humedad (ITH) (Thom, 1959). El IPCC (International Panel on Climate Change), recomienda a los países invertir recursos en la modelación y predicción de la afectación de la producción agropecuaria por el cambio climático, para que estén preparados a adaptarse (Cabrera Leal et al., 2010). Según Nardone et al. (2010), las predicciones a escala global sugieren que los sistemas productivos más impactados son aquellos que dependen del pastoreo, incluyendo a América del Sur.

La utilización de la genética *Bos indicus* es una alternativa interesante ante esta problemática, ya que este ganado es más resistente al calor (Hansen, 2004). Por el contrario, al utilizar ganado *Bos taurus* y sus cruzas, predominante en Uruguay, resulta muy importante la implementación de otras estrategias de mitigación del estrés calórico, problemática que de acuerdo a Rovira (2014), se encuentra subestimada en los sistemas de producción de carne extensivos del Uruguay. La mitigación del estrés calórico puede lograrse a través de una disminución de la radiación solar o de la temperatura del aire a la que están expuestos los animales. En este sentido, la sombra tiene un rol fundamental, existiendo una distinción entre la artificial y la natural. La sombra artificial protege de la radiación solar directa, pero no tiene efecto alguno sobre las demás variables climáticas consideradas. Por el contrario, la sombra provista por árboles tiene el beneficio adicional de generar un enfriamiento del aire (Saravia & Cruz, 2003; West, 2003).

En situaciones de estrés térmico, en los animales se activan diferentes mecanismos tanto fisiológicos como comportamentales para regular la temperatura corporal, como la búsqueda de sombra (Yokoyama-Kano et al., 2004) y la reducción del consumo de MS (Rhoads et al., 2009), lo que lógicamente puede tener un impacto negativo tanto en la productividad como en la eficiencia reproductiva de los animales. En esta línea, Barragán

et al. (2017), observan durante las horas de mayor radiación solar (ITH entre 92 y 93), una disminución del tiempo de pastoreo diurno en vacas doble propósito, lo que atribuyeron a un posible aumento del tiempo dedicado a actividades como el descanso y consumo de agua, además de un presumible aumento de la temperatura rectal y frecuencia cardíaca, todos mecanismos de respuesta al estrés calórico previamente reportados por Barragán-Hernández et al. (2015).

El aumento en tiempo de descanso u ocio, y la inactividad que este significa, se describe en muchos trabajos como una estrategia empleada por los animales para atenuar los efectos del estrés calórico, a través de una disminución en su producción de calor, de la misma manera que funciona la reducción en la ingesta de alimento (Beatty et al., 2006; Damasceno et al., 1999; Ferreira et al., 2006). Más aún, Yokoyama-Kano et al. (2004) explican que la inactividad es precisamente una de las primeras respuestas observadas en los animales en condiciones de estrés por calor, y que, de resultar insuficiente, se acompaña luego de otros mecanismos como el aumento en consumo de agua o de la frecuencia respiratoria. Asimismo, el descanso de pie resulta más efectivo en generar una pérdida de calor por convección en el animal, gracias al efecto beneficioso de la circulación del viento en torno al animal en esta postura (Frazzi et al., 2000; Yokoyama-Kano et al., 2004).

2.6. Comportamiento en pastoreo

Allden y McDWhittaker (1970) propusieron el cálculo del consumo diario de forraje como el producto del tiempo de pastoreo y la tasa de pastoreo, sin embargo, Gibb et al. (1998) discuten que de acuerdo con la definición de un evento de pastoreo, puede suceder que dentro de ese tiempo de pastoreo existan períodos en los cuales el animal no está en realidad consumiendo forraje. En este sentido, Rook et al. (1994), sugieren que de existir intervalos de más de 5 min de duración donde no se constate ese pastoreo efectivo, deben considerarse dos eventos separados de pastoreo, y que por el contrario, intervalos menores a los 5 min de duración quedarían comprendidos en una misma comida. Esta metodología implica que en las estimaciones clásicas de tiempo de pastoreo, se daría una sobreestimación del tiempo que los animales dedican al consumo de forraje, además de alteraciones en la tasa de bocado y de pastoreo, asociadas a que a medida que avanza una sesión de pastoreo se incrementa tanto la frecuencia como la duración de estas pequeñas pausas en el consumo de forraje (Gibb et al., 1998; McCleery, 1977).

Tomando como antecedente el desarrollo de tecnología que permite analizar específicamente los movimientos mandibulares de los animales asociados a la actividad de consumo, Gibb et al. (1998) sostienen que podría apuntarse a una estimación más precisa del consumo diario utilizando en cambio el tiempo de ingesta y la tasa de ingesta por minuto de los animales. Los autores remarcan la importancia de la distinción del tiempo de consumo, que incluye el bocado, masticación y deglución del alimento, contra el tiempo de pastoreo, en el cuál quedan comprendidos estos períodos cortos donde no hay ingesta de alimento y se incorpora la búsqueda o movimiento entre parches de

pastoreo. Sobre esta base, Gibb (1998) reformula el método de estimación de consumo (Eq. 1), y propone como criterio, apoyado en observaciones visuales, la exclusión de períodos de inactividad mandibular mayores a 3 s del tiempo de ingesta. Para obtener resultados precisos con esta metodología, los autores remarcan que es fundamental que las mediciones de la tasa de ingesta se realicen en períodos de al menos 1 h y sean repetidas en diferentes eventos de consumo del día.

$$\text{Ingesta Diaria} = \text{Tiempo Total de Ingesta (min/d)} \times \text{Tasa de Ingesta (gMS/min)} \quad [\text{Eq. 1}]$$

donde,

$$\text{Tasa de ingesta (gMS/min)} = \text{Tasa de bocado (bocados/min)} \times \text{Masa de bocado (gMS/bocado)}$$

La tasa de ingesta va a depender de componentes más específicos del comportamiento de pastoreo, donde Gibb et al. (1998) describen los movimientos mandibulares de pastoreo. Dentro de estos movimientos, están los de bocado o mordida, que son los utilizados por el animal para tomar el forraje de la pastura, y luego están los movimientos que no implican un bocado, asociados por lo general a la actividad de masticación o algunos movimientos de manipulación del forraje. La tasa de bocado considera los bocados que el animal toma por minuto, luego está la proporción de bocados dentro del total de movimientos mandibulares, la masa de bocado, y la ingesta por los movimientos mandibulares de pastoreo (Gibb et al., 1998).

Los bovinos pastorean alrededor de 9 h por día pudiendo registrarse hasta 12 h (Phillips, 2002). Se han constatado variaciones en respuesta a la calidad del forraje (Fraser, 1983), donde a medida que el ciclo de una pastura transcurre y ésta pierde calidad, puede observarse que los animales aumentan su tiempo de pastoreo y tasa de bocado (O'Driscoll et al., 2010). El ganado bovino pastorea principalmente durante las horas de luz, desde el amanecer al atardecer. Según Phillips (2002), distribuyen su actividad en unas cinco sesiones de 1 h y 50 min en promedio, existiendo diferencias entre autores sobre qué se considera dentro del tiempo de pastoreo (por ejemplo, de acuerdo con los límites de inactividad aceptados entre eventos de pastoreo, como ya se discutió). La primera comida suele comenzar poco después del amanecer y la última termina cerca del atardecer, siendo este el evento más prolongado con el objetivo de que haya suficiente alimento para digerir durante la noche cuando el pastoreo se vuelve insignificante. De todas formas, el autor también explica que a medida que los días se acortan, o si los requerimientos de los animales aumentan, puede observarse actividad de pastoreo nocturna.

2.7. Comportamiento y performance animal en sistemas silvopastoriles

Uno de los aspectos más relevantes y de interés creciente de los SSP es cómo la inclusión de árboles genera un ambiente de mayor confort térmico para los animales, que genera variaciones en su comportamiento ingestivo y de descanso. Se ha demostrado que la mejora en el confort térmico permite que los animales destinen más tiempo a

actividades de pastoreo y rumia (Geremia, 2016). Por el contrario, cuando no tienen acceso a sombra, los bovinos restringen su actividad de pastoreo en las horas de calor durante el verano, y aumenta el pastoreo nocturno, por lo que producen calor y no bajan la temperatura corporal tanto como sería deseable durante la noche (García Cruz, 2010).

Barragán et al. (2017) detectaron un aumento en el tiempo de pastoreo de hasta 1,8 h para bovinos en áreas con cobertura arbórea, en comparación con los que pastoreaban en el tratamiento sin sombra. A su vez, García Cruz (2010) constató tiempos de pastoreo hasta 50% superiores para animales en potreros con más de 23% del área con cobertura arbórea, respecto a animales pastoreando donde los árboles significaban menos del 5% del área, en períodos del año secos. Estas modificaciones en el comportamiento podrían significar un mejor aprovechamiento del recurso forrajero y adaptabilidad al ambiente. En un estudio realizado en Uruguay no se encontraron variaciones en el tiempo total de pastoreo entre sistemas con y sin árboles, pero sí diferencias significativas en los patrones de pastoreo (Fedrigo et al., 2019). Ante la ausencia de árboles el pastoreo se concentra en las horas de la mañana y atardecer, evitando las horas de mayor temperatura y radiación. Estos picos de inactividad asociados a los momentos de más calor no se evidencian en sistemas con árboles, donde se observa un pastoreo constante a lo largo del día (Fedrigo et al., 2019; Karki & Goodman, 2009).

El descanso es otra actividad, además del pastoreo, que se ve afectada por la influencia de árboles en los sistemas de producción de carne. De acuerdo con los resultados de Barragán et al. (2017), los animales en sistemas sin sombra descansan en promedio 2,92 horas por día, un 60% más que animales en áreas con cobertura arbórea. Esta conducta es asociada por varios autores a una respuesta al estrés calórico, pudiendo ser una estrategia para disminuir la producción metabólica de calor (Ferreira et al., 2006). En este sentido, Barragán et al. (2017) describen variaciones no sólo en el tiempo de descanso, sino también en la postura en que se realiza esta actividad. En el tratamiento sin sombra existió una preferencia por el descanso en pie (81% del tiempo de descanso total), mientras que en los tratamientos con estrato arbóreo los animales dedicaron menos tiempo al descanso, pero prefirieron hacerlo echados en una mayor proporción del tiempo. Al mantenerse de pie, se podría favorecer la pérdida de calor por convección, permitiendo una mayor circulación del aire. Por el contrario, el descanso echado de los animales reduce la capacidad de disipar calor, pero es más eficiente energéticamente, lo que podría sugerir estar ante una situación de mayor confort térmico (Yokoyama-Kano et al., 2004). Asociado a esto, Muller et al. (1994) reportan que animales sin acceso a sombra también pasan más tiempo de pie, posiblemente asociado a un intento de evaporar calor en mayor medida, y que a su vez pasan más tiempo cerca de bebederos.

Los cambios comportamentales mencionados anteriormente pueden generar impactos en el desempeño productivo de los animales. Fedrigo et al. (2019) hallaron que vaquillonas aumentan las ganancias de peso durante el verano en un orden de 100 a 200 g/d por efecto de la sombra, y Beretta et al. (2013) obtuvieron en novillos que se mantuvieron en un área con sombra y agua en las horas de radiación solar más elevada,

ganancias un 14% superiores respecto a las de aquellos que permanecieron todo el día sin sombra. En sistemas criadores se ha encontrado también la reducción en la tasa de concepción y preñez asociada a elevados ITH (Amundson et al., 2006; Mellado et al., 2013) con poca investigación nacional al respecto. La tasa de crecimiento de terneros al pie de la madre también se ve comprometida en verano (Viñoles et al., 2013), lo que resulta en bajos peso al destete, y así largos períodos de recría de las terneras con el primer servicio a los 2 a 3 años de edad, asociado también al estrés nutricional y por frío que sufren en su primer invierno de vida, lo que puede tratarse con suplementación y uso de árboles (Fedrigo et al., 2019). De manera contrastante, también existen trabajos que reportan no haber hallado diferencias en índices productivos, en particular en ganancia media diaria, para animales en tratamientos con vs. sin sombra. En este sentido, Rovira (2014) y Davies et al. (2013) no constataron un efecto de la inclusión de sombra artificial, trabajando con novillos en confinamiento, en su ganancia de peso, lo que fue atribuido a una posible adaptación del ganado a períodos cortos de estrés térmico en regiones templadas. En la misma línea, Huertas et al. (2021), en un ensayo realizado en Uruguay con animales de razas carníceras británicas, no obtuvieron diferencias en las ganancias de peso de los animales, comparando SSP con sistemas pastoriles abiertos (open pasture systems; OPS). Los autores relacionaron estos hallazgos con condiciones más amigables para los animales en los OPS, con cierta disponibilidad de sombra, y a las condiciones climáticas también, en comparación con las condiciones de ensayos previos que sí reportaron diferencias en productividad, siendo estos experimentos realizados en zonas tropicales y con sistemas basados en pasturas de monocultivo con acceso nulo a sombra.

2.8. Uso de acelerómetros para determinación del comportamiento de bovinos en pastoreo

En el estudio del comportamiento de los animales en pastoreo en los sistemas de producción actuales, las técnicas de monitoreo visual utilizadas tradicionalmente empiezan a resultar inviables, debido al elevado consumo de tiempo y recursos. Ante este escenario, el desarrollo de tecnologías automáticas que permitan estimar el comportamiento animal con precisión y sean económicamente viables, ha cobrado relevancia (De Passillé et al., 2010). Entre estas soluciones tecnológicas, una opción son los acelerómetros triaxiales, con los que se han logrado resultados favorables en el registro y estudio de los patrones de actividad de los animales (Nielsen, 2013).

Dentro de los acelerómetros triaxiales, los HOBO pendant G (Onset Computer Corporation, Bourne, MA, USA) constituyen una alternativa económica. Registran la aceleración e inclinación simultáneamente en tres ejes (horizontal, vertical, y lateral), permitiendo la inferencia de la posición y el movimiento animal a lo largo del tiempo (Martiskainen et al., 2009). Estas mediciones pueden programarse para registrar en intervalos de tiempo variables, lo que permite adaptar la precisión de los datos al objetivo del estudio.

Estos aparatos han sido validados para medir el comportamiento de estar echadas y paradas en vacas lecheras con una precisión superior al 99%, cuando se utilizan intervalos de muestreo de 6 o 30 s, logrando estimar con exactitud tanto el tiempo echado

como el número de episodios (Ledgerwood et al., 2010). Sin embargo, al aumentar el intervalo entre mediciones, se mantiene una buena estimación del tiempo total que se permanece echado, pero no se logra medir con exactitud el número de episodios, debido a que se pierde información sobre intervalos breves en una posición. Cuando las mediciones se realizan cada 600 s (10 min), los datos no capturados pueden llegar a representar hasta el 34% del total de cambios de posición (Ledgerwood et al., 2010).

En el reconocimiento de actividades de pastoreo, se ha logrado estimar el comportamiento de los animales con acelerómetros midiendo en intervalos de 5 s y 600 s con una sensibilidad (reconocer pastoreo como pastoreo) de 83,6% y 85,5% respectivamente. La especificidad de los resultados (reconocer el comportamiento de no pastoreo) fue de 79,9% y 82,1% respectivamente, y la precisión (proporción del comportamiento de pastoreo estimado que realmente coincide con episodios de pastoreo) fue de 74,6% y 77,6% respectivamente (Nielsen, 2013). Estos valores reflejan la capacidad de estimar el comportamiento de pastoreo a partir de datos registrados por acelerómetros. Sin embargo, en el estudio se menciona que hay que tener en consideración cierta variabilidad entre individuos, y una disminución en la precisión de los datos cuando se miden más actividades además del pastoreo. Otro ensayo, realizado en cabras, logró una precisión al estimar la actividad de pastoreo de 61- 71%, cuando los acelerómetros fueron colocados en el cuello del animal (Moreau et al., 2009). En una investigación por Rayas-Amor et al. (2017) se lograron precisiones incluso superiores en la estimación de pastoreo de vacas lecheras, alcanzando 96,1% de exactitud al combinar los datos de los ejes x + y, y compararlos con observaciones visuales.

La ubicación de los dispositivos en el animal, así como una fijación adecuada, son cruciales para lograr registros válidos. Las mediciones deben reflejar el movimiento del animal, no el movimiento del bozal o la banda. También es importante que los dispositivos no interfieran con el movimiento normal (Blomberg, 2011). Los acelerómetros ubicados en las patas generalmente ofrecen estimaciones más precisas del comportamiento echada- parada que cuando se colocan alrededor del cuello (hasta 100% y 88% de estimaciones correctas, respectivamente) (Martiskainen et al., 2009; Trénel et al., 2009).

2.9. Eficiencia alimenticia y en el uso de la energía consumida

La alimentación representa el costo principal en los sistemas de producción de carne, por lo que la eficiencia en el uso del alimento por parte de los animales es un parámetro que resulta clave mejorar. El consumo de alimento se partitiona en aquel requerido para satisfacer los requerimientos de mantenimiento, el que es “convertido” o destinado a la producción (carne, por ejemplo), y por último una porción que no es aprovechada, que se pierde (Nielsen et al., 2013). Así, la mejora de la eficiencia alimenticia puede lograrse no solo a través de la disminución de las pérdidas (ej. heces, gases, orina y calor) sino también a través de la reducción del alimento destinado a mantenimiento del animal, sin que se vea afectada la producción. En otras palabras, esto

resultaría en animales más eficientes, animales que consumiendo lo mismo producen más, o que, para un nivel dado de producción, consumen menos.

El mantenimiento se define como el estado fisiológico en el que no hay cambio neto en la energía corporal, es decir, en el que el balance de energía es cero. Incluye la energía utilizada para el metabolismo basal (servicio y mantenimiento celular), para actividad (pastoreo, rumia, caminata) y termorregulación (Baldwin et al., 1980). Su costo energético está determinado, por un lado, por factores inherentes al animal, como la ganancia media diaria y su composición, y a su vez por la composición corporal del animal (Kirkland et al., 2002; Moe et al., 1971; Noblet et al., 1999). Ball y Thompson (1995) reportaron para ovinos, menores requerimientos de energía para mantenimiento en animales más engrasados vs. animales más magros a un mismo PV. Esto podría relacionarse con hallazgos de DiCostanzo et al. (1990) en vaca de carne, que estimaron un costo de mantenimiento de 804 kJ por kg de proteína y 86,7 kJ por kg de grasa, resultando el tejido proteico 9,3 veces más costoso de mantener. Kirkland et al. (2002) atribuyen esta sustancial diferencia a la permanente degradación y resíntesis de la proteína (turnover proteico) contra un turnover graso insignificante.

Por otra parte, un mayor consumo de alimento naturalmente implica un mayor requerimiento de energía, y puede explicar en parte, una menor eficiencia alimenticia individual. Renand y Krauss (2002, como se cita en Cantalapiedra-Hijar et al., 2018), y Basarab et al. (2003) encuentran una asociación positiva para estos animales con elevados consumos y baja eficiencia alimenticia así como entre el consumo de MS y la masa de vísceras del tracto gastrointestinal, existiendo antecedentes sobre el importante costo metabólico que implica el mantenimiento de esta masa para los animales (Ferrell & Jenkins, 1985; Fitzsimons et al., 2017). El costo de mantenimiento no solo es dependiente del consumo de alimento sino también de las características de la dieta, donde al aumentar el consumo de energía metabolizable (EM) o la proporción de forraje de la dieta (en general dietas con baja relación energía: proteína), el costo de mantenimiento incrementa, asociado a un mayor gasto energético en la rumia y digestión, lo que a su vez aumenta el llenado y tamaño de los órganos digestivos (Dong, Yan et al., 2015; Dong, Ferris et al., 2015).

Es interesante señalar que el metabolismo proteico de estos órganos produce mucho más calor por unidad de peso que el músculo, por lo que la magnitud del efecto en la producción de calor total y costo de mantenimiento puede ser muy importante (Baldwin et al., 1985; Johnson et al., 1990). Meehan et al. (2021) explican que una baja relación energía: proteína (como es característico en las dietas con alta proporción de forraje), significa básicamente que la energía aportada por la dieta a los animales será limitante en relación con la proteína disponible, y que, en estos casos, el rumiante es capaz de priorizar la utilización de los nutrientes, a favor de la proteína sobre la energía. Así, es posible que los animales estén en un balance de proteína positivo aún en condiciones de balance energético negativo. Esto contradice a la concepción clásica de la relación energía: proteína de la dieta postulada por Balch (1967, como se cita en Meehan et al.,

2021), que sostén que la retención de N por parte del animal es negativa cuando su ingesta de energía es insuficiente para cubrir con sus requerimientos. Meehan et al. (2021) proponen en cambio, que en estas condiciones el animal no sacrifica la deposición de tejido proteico, al ser un proceso esencial, sino que moviliza las reservas de grasa para poder cubrir ese costo energético, partiendo de la base de que el consumo de energía es insuficiente. Todos estos mecanismos pueden aumentar la producción de calor y así el costo energético de mantenimiento del animal.

En sistemas extensivos pastoriles de producción de carne, el costo de mantenimiento puede representar alrededor de un 70% del consumo total de energía, mayor al de un sistema intensivo, con los animales en confinamiento (Nielsen et al., 2013). Particularmente, en sistemas criadores bovinos, sus bajas tasas reproductivas (menos de 1 ternero/vaca por año) y el largo intervalo entre partos (alrededor de 1 año), determinan que para la mayoría, un 65% de la energía requerida en total para un ciclo productivo completo, se corresponda a la etapa de cría, restando la recría e invernada (Nielsen et al., 2013). Así, mejorar la eficiencia alimenticia de la vaca de cría es fundamental, para lo que se vuelve necesario identificar tanto métodos para la estimación del consumo en pastoreo, como desde un punto de vista más genético, indicadores útiles para su predicción (Nielsen et al., 2013).

La eficiencia alimenticia, puede expresarse de distintas maneras, por ejemplo, a través de la eficiencia alimenticia *per se*, que resulta de la división entre la ganancia media diaria de un animal (kg/d) y su consumo de MS (kg MS/d). Otra forma es la conversión alimenticia, inverso matemático del indicador anterior (Berry & Crowley, 2013; Kenny et al., 2018). Sin embargo, ninguno de estos dos indicadores es independiente del tamaño corporal y del nivel producción y por lo tanto, del consumo de MS (Archer et al., 1999; Marín, 2023). Otra alternativa es utilizar el consumo residual de alimento (*residual feed intake*; RFI), que para un animal de producción de carne, se define como la diferencia entre el consumo observado y el consumo esperado de acuerdo con sus requerimientos de mantenimiento y crecimiento. De esta forma, animales con valores de RFI negativos, consumirían menos de lo esperado, y por tanto serían más eficientes que aquellos animales con valores positivos (Nielsen et al., 2013). Resulta interesante, que el RFI es independiente del nivel de producción de un animal, lo que lo presenta como un índice interesante para comparar variaciones entre animales de eficiencia individual (Berry & Crowley, 2013).

De acuerdo con Cantalapiedra-Hijar et al. (2018), son precisamente las disminuciones tanto en la producción de calor como en el costo de energía para mantenimiento, dos de las causas explicativas de las variaciones del RFI entre animales. En este sentido, Manafazar et al. (2015) reportan que animales de bajo RFI tienen menores requerimientos de energía para mantenimiento y Menezes et al. (2020) hallaron que novillos de bajo vs. alto RFI presentaron menores requerimientos de energía para su metabolismo basal y de EM de mantenimiento, sin diferencias en la eficiencia de uso de la EM. Además, un mayor consumo conllevaría mayores costos asociados al

procesamiento de este alimento en el tracto gastrointestinal. A su vez, varios trabajos han reportado mayor digestibilidad del alimento en animales más eficientes (bajo RFI), aunque no queda del todo claro si esto sería una propiedad inherente al animal de elevada eficiencia, o si simplemente es explicado por la menor tasa de pasaje asociada a un menor consumo de MS (Cantalapiedra-Hijar et al., 2018; Kenny et al., 2018; Richardson & Herd, 2004).

La actividad asociada al consumo, en especial en sistemas pastoriles, afecta el costo de mantenimiento y se relaciona también con el RFI de los animales. Se ha reportado que aquellos animales de menor RFI, más eficientes, destinan menos tiempo a actividades relacionadas a la alimentación, por lo que el costo energético asociado, es menor (Fitzsimons et al., 2014). Kenny et al. (2018) reporta como resultado de un análisis de 9 ensayos para bovinos de carne confinados, que aquellos con un mayor RFI (es decir menos eficientes), tuvieron un tiempo 11% mayor dedicado al consumo, además de un consumo de MS (kg MS/d) un 17% superior, que aquellos de menor RFI (animales más eficientes). Cabe destacar, que la mayoría de los trabajos que relacionan la eficiencia alimenticia con el comportamiento animal han sido realizados en condiciones de confinamiento, cuando los sistemas pastoriles son los predominantes a nivel mundial (Kenny et al., 2018; Oliveira et al., 2016).

En ese sentido, Oliveira et al. (2016) hallaron que en pastoreo el consumo de alimento fue similar entre animales de bajo, medio y alto RFI, en contraste con animales en confinamiento, donde los animales de bajo RFI tuvieron un menor consumo. A su vez, Lawrence et al. (2012) reportan que vaquillonas de bajo RFI consumieron un 16% menos de alimento que las de elevado RFI en condiciones de confinamiento, sin diferencias en crecimiento, pero que el consumo no se diferenció en la etapa posterior de pastoreo entre distintos grupos de RFI. En contraste, Manafazar et al. (2015) sí observan para vaquillonas de carne de bajo RFI, un menor consumo de forraje respecto a las de alto RFI (5,3 % inferior), además de una mayor eficiencia en la utilización del forraje para las primeras. Este estudio evalúa adicionalmente la correlación entre el RFI en la etapa de confinamiento y de pastura para los animales, hallando una correlación positiva pero baja ($r = 0,30$; Manafazar et al., 2015). Por otra parte, Wiley et al. (2016) en toros evaluados en confinamiento y luego en pastura, encuentra que solo un 37,5 % y 56,3 % (para los dos años de evaluación) de los animales mantuvieron su clasificación de eficiencia al pasar del encierro a la pastura. Trujillo et al. (2013) obtuvieron resultados similares al evaluar el RFI de vaquillonas medidas consecutivamente en confinamiento y pastoreo ($r = 0,50$), con un menor consumo de MS en pastoreo para vaquillonas de bajo RFI. Es así que, no solo existen escasas evaluaciones de RFI en sistemas pastoriles, sino que las observaciones sobre el consumo de animales más o menos eficientes son contrastantes, lo que puede atribuirse en parte a la complejidad de la estimación del consumo en pastoreo (Lawrence et al., 2012).

En la misma línea, Marín et al. (2024) explican que la producción residual de calor (*residual heat production; RHP*) obtenida a través de la técnica de tasa cardíaca-pulso de

O_2 descrita por Brosh (2007), representa una medida de evaluación de la eficiencia que no requiere de un dato de consumo individual, lo que es una ventaja dada la complejidad de la estimación del consumo, en particular para animales en pastoreo, además de su costo y baja precisión (Lawrence et al., 2012; Oliveira et al., 2016). La técnica permite determinar el gasto de energía de los animales en pastoreo y así identificar animales más eficientes sin calcular el consumo. La RHP representa la diferencia entre la producción de calor observada y la esperada para un animal de cierto peso y producción. Una menor RHP indica mayor eficiencia, ya que corresponde a un animal que produce menos calor del esperado (pierde menor proporción de la EM consumida) (Brosh, 2007; Marín et al., 2024).

En este sentido, Marín et al. (2024) encontraron en vaquillonas de carne una correlación significativa y positiva ($P < 0,05$) entre el valor de cría para el RFI de los toros padres y la RHP de las vaquillonas hijas, tanto al expresarse en MJ/d ($r = 0,64$) como en kJ/kg de $PV^{0,75}/d$ ($r = 0,63$). El trabajo también demostró que la RHP es una medida heredable ($h^2 = 0,33$) y repetible (74 % de las vaquillonas mantuvieron su clasificación de eficiencia del otoño en la primavera siguiente). Esto posiciona a la RHP como un indicador interesante a incorporar en programas de selección genética. Marín et al. (2024) describen la RHP como una medida de eficiencia “robusta”, apoyándose en sus datos obtenidos respecto a la relación del parámetro con la eficiencia alimenticia y energética, donde vaquillonas de alta eficiencia (baja RHP) tuvieron menores requerimientos de metabolismo basal, de EM para mantenimiento y mayores eficiencias de uso de la EM.

En cuanto a posibles efectos de la sombra en costos de mantenimiento y eficiencia alimenticia, Simeone et al. (2010) y Beretta et al. (2013) evaluaron en novillos el efecto de la restricción de acceso a la pastura y el traslado a áreas con sombra y agua, durante las horas de mayor radiación solar. Hallaron que, el consumo de forraje no se vio afectado pero que los animales lograban ganancias superiores (en un 14 a 30%), sugiriéndose una reducción del requerimiento de energía neta para mantenimiento (en un orden del 12 al 27%). Los autores encontraron también, en un ensayo previo (Simeone et al., 2010) realizado con vaquillonas Hereford y cruzas pastoreando campo natural en áreas forestadas, que el acceso voluntario a la sombra de *Eucaliptus* permitió resultados similares. Asimismo, en animales en confinamiento, Simeone et al. (2011) determinaron en terneros de un destete precoz a corral, una superioridad del 12% en ganancias de peso y del 6% en eficiencia de conversión en aquellos animales que tuvieron acceso a sombra, asociado a una attenuación del estrés térmico.

La investigación sobre la eficiencia de uso de energía consumida en SSP, o simplemente el efecto de la sombra sobre la misma, es escasa. Pezo y Ibrahim (1999) describen como una de las ventajas de la sombra la regulación del estrés térmico, un mayor tiempo de pastoreo y un incremento en la eficiencia de conversión alimenticia. Cuartas Cardona et al. (2013) estudiaron en un ensayo en la región de bosque seco tropical de Colombia, la partición de la energía de los bovinos en pastoreo en SSP intensivos

(incluyendo una leguminosa arbustiva *Leucaena leucocephala*, una gramínea del género *Cynodon*, y tres especies de árboles), así como las consecuencias en el desempeño productivo de machos enteros cebú, en comparación con sistemas ganaderos convencionales (pasto nativo). Reportaron que, el incremento calórico fue 1,92 veces mayor y que el gasto energético vinculado a la rumia, pastoreo y cambio de postura fue 3 veces mayor, en el sistema convencional que en el SSP. Es así que, los autores concluyen que en los SSP habría mayor proporción de la energía consumida disponible para ser transformada a producto; los animales en SSP destinaron el 35% de la energía neta a la ganancia de peso vs. un 15,3% en sistemas convencionales, sugiriéndose como explicación la menor dedicación de tiempo a la actividad de pastoreo en los SSP asociado a la oferta de forraje proporcionada por los arbustos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción general del experimento

El experimento fue realizado en el establecimiento “Mi Capricho”, propiedad del Dr. Viterbo Gamarra, ubicado en el paraje Puntas de Sauce, Cerro Largo, Uruguay (-32,184554°, -54,240036°). Dentro del predio se encuentra la Primera Plataforma de Investigación, Docencia y Extensión en Sistemas Silvopastoriles, Polo Agroforestal, CUCEL, CENUR NE, UdelaR. Esta fue creada con el fin de caracterizar en todo el ciclo forestal las interacciones entre los distintos componentes del sistema. La fase experimental se llevó a cabo entre los días 7 y 17 de febrero de 2025. La especie arbórea utilizada es *Eucalyptus grandis* y la plantación fue realizada durante la primavera del 2020 (20/10/2020) con una orientación N-S, con el objetivo de favorecer el ingreso de luz a los callejones y, por lo tanto, la producción de forraje.

Se evaluaron 3 tratamientos, el “Control” donde los animales pastoreaban sin acceso a sombra, y dos tratamientos con árboles; 2 filas de árboles (2F), y 4 filas (4F). Cada tratamiento tuvo 3 réplicas (bloques) resultando en un total de 9 parcelas experimentales (Figura 2). En el tratamiento 2F, la distancia entre árboles dentro y entre filas es de 5 m (5x5), y el espacio entre las hileras, es decir el ancho de los callejones, es de 20 m. Este arreglo espacial determina una densidad de 160 árboles/ha. En el tratamiento 4F, con la misma organización, el mayor número de filas en la hilera resulta en una mayor densidad, de 240 árboles/ha (Fedrigo et al., 2024).

Figura 2

Arreglo espacial del diseño experimental de la plataforma de investigación del Polo Agroforestal



Nota. Adaptado de Google Earth (2025).

En el ensayo se utilizaron 36 vaquillonas raza Brangus de 18 meses de edad, con un peso inicial promedio de 349 ± 12 kg. Estas fueron aleatoriamente asignadas al momento del destete a una de las 9 parcelas, determinando una disposición de 4 vaquillonas por parcela. El ensayo se pastorea con una carga animal que permita mantener alturas de 7-10 cm de dosel herbáceo. La disponibilidad de forraje se determina mensualmente en 100 puntos de cada potrero, cortando muestras a nivel de suelo para secarlas posteriormente en estufas de aire forzado a 60°C; y se trabaja con animales volantes para mantener la altura dentro de los rangos deseados. A su vez, se utilizan cuatro jaulas de exclusión por potrero para la medición de la acumulación de forraje, que se realiza en períodos variables (de 30 a 60 días). En cada jaula se registra la altura y la masa, datos que permiten construir ecuaciones de regresión que estiman, a nivel de potrero, la producción primaria neta aérea. Los detalles sobre los métodos utilizados para determinar disponibilidad, altura, y acumulación de forraje fueron descritos previamente por Fedrigo et al. (2024). Adicionalmente, se toman muestras de forraje de cada bloque mediante hand-clipping (Wilm et al., 1944) para el análisis de composición química (Horwitz & Latimer, 2007) (Tabla 1).

Tabla 1

Características del forraje durante el periodo experimental (febrero 2025) según tratamiento

	Tratamientos ¹			SE	P-valor
	Control	2F	4F		
Disponibilidad (kg MS/ha) ²	1568	1548	1480	163	0,84
Altura (cm)	9,4	9,3	8,9	0,99	0,84
Carga (UG/ha)	2,8	2,0	2,2	—	—
<i>Composición química³</i>					
MO (% MS)	92,3 ^a	91,4 ^{ab}	90,8 ^b	0,28	0,04
FDN (%, MS)	66,2	65,4	66,2	0,96	0,55
PC (%, MS)	7,5	7,4	7,2	0,34	0,70
EB (MJ/kg MS)	15,9	15,8	15,7	0,09	0,18
EM (MJ/kg MS)	7,95 ^a	7,69 ^b	7,74 ^b	0,13	< 0,05

Nota. ¹Tratamientos: Control sin árboles (Control), filas dobles de árboles con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 160 árboles/ha (2F), y filas cuádruples con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 240 árboles/ha (4F). ²Datos de disponibilidad, altura de forraje y carga animal tomados de J. Fedrigo (comunicación personal, 2025). ³MO: materia orgánica, FDN: fibra detergente neutro, PC: proteína cruda, EB: energía bruta, EM: energía metabolizable. ^{a,b}Medias con literales diferentes indican que difieren con $P < 0,05$.

3.2. Determinaciones

Al inicio del período experimental, cada animal fue equipado con un bozal que contenía un acelerómetro triaxial (HOBO Pendant G Acceleration Data Logger, Onset Computer Corporation, MA, USA). El sensor se colocó del lado derecho de la cabeza, de tal manera que el eje x se encontrara paralelo a la mandíbula y el eje y apuntando en dirección al ojo (Nielsen, 2013). Adicionalmente, otro acelerómetro fue ubicado en la parte medial de la pata trasera izquierda con el eje x en dirección al suelo (perpendicular al plano del suelo). El dispositivo fue asegurado con cinta veterinaria autoadhesiva y precintos. Los sensores se programaron para registrar la aceleración e inclinación de los tres ejes (bozal) o del eje x (patas) a intervalos de 1 m con el fin de asegurar que la memoria de los dispositivos fuera suficiente para durar todo el período experimental y así evitar perturbar la rutina de los animales. El propósito del dispositivo colocado en el bozal fue determinar la posición de la cabeza para poder identificar intervalos de pastoreo, mientras que el de la pata tuvo como objetivo definir la posición (echada/parada; Ledgerwood et al., 2010).

Los animales fueron pesados cada 20-30 días previamente (2 veces), y durante y posteriormente (2 veces más) al período experimental y se estimó la ganancia de peso diaria como la pendiente de la regresión lineal del peso individual y la fecha de pesada, datos proporcionados por J. Escalano (comunicación personal, 2025). Se tomaron muestras diarias de heces de cada vaquillona en la parcela con el fin de realizar estimaciones de digestibilidad individual de la materia orgánica (dMO). Con este fin, al inicio del experimento, cada animal fue identificado con una cinta de color para facilitar su reconocimiento dentro de la parcela. Las muestras de heces fueron secadas por tres días a 60 °C, molidas a 1 mm y compuestas en una única muestra por animal. Estas muestras compuestas fueron analizadas para determinar MS a 105 °C, proteína cruda (PC) y cenizas (Horwitz & Latimer, 2007). La digestibilidad fue calculada según Tafernaberry et al. (2024) cómo:

$$dMO (\%) = 0,31411 \times \text{EXP} (0,02995 \times \text{N fecal (g/kg)}) \times 100 \quad [\text{Eq. 2}]$$

dónde cNF es el contenido de N fecal en la MO (g N/kg MO).

A su vez, durante el período experimental se midió la producción de calor usando la técnica de tasa cardíaca y pulso de O₂ (Brosh, 2007) de acuerdo con lo descrito por C. Giribaldi y M. Vicino (comunicación personal, 2025).

Se utilizaron registros diarios de temperatura media (T°, °C), de humedad relativa (%), HR), velocidad del viento (VV, km/h) y radiación solar (RAD, W/m²) de la Estación Experimental Bernardo Rosengurtt (EEBR) de la Facultad de Agronomía, Udelar con el fin de realizar estimaciones de ITH.

3.3. Cálculos y análisis estadístico

El ITH ajustado por VV y RAD (ITH) fue calculado según Mader et al. (2007) de acuerdo con la siguiente ecuación (Eq. 3):

$$ITH = 6,8 + ITH \text{ sin ajustar} - (3,075 \times VV) + (0,0114 \times RAD) \quad [\text{Eq. 3}]$$

dónde, $ITH \text{ sin ajustar} = (1,8 \times T^\circ + 32) - (0,55 - 0,55 \times HR / 100) \times (1,8 \times T^\circ - 26)$ (Thom, 1959).

El consumo de MS fue estimado a partir del consumo de EM individual, calculado como la suma de producción total de calor y la energía retenida en tejido (basada en el peso metabólico y la ganancia de peso; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine [NASEM], 2016) de acuerdo a C. Giribaldi y M. Vicino (comunicación personal, 2025), y la concentración de EM del forraje fue estimada a partir de la dMO individual (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation [CSIRO], 2007) según la siguiente ecuación (Eq. 4):

$$\text{Consumo de MS (kg MS)} = \text{Consumo de EM (MJ/d)} / \text{Concentración de EM (MJ/kg MS)} \quad [\text{Eq. 4}]$$

dónde, Concentración de EM (MJ/kg MS)= 0,169 x dMO - 1,986 (CSIRO, 2007) y dMO (Eq. 2; Tafernaberry et al., 2024).

La dMO (%) mostró tendencia a ser afectada por el tratamiento ($P = 0,07$) ya que fue mayor ($P < 0,05$) en el tratamiento Control ($58,7 \pm 0,79$) que en el 2F ($57,2 \pm 0,79$). El tratamiento 4F ($57,6 \pm 0,79$) no difirió significativamente del Control ni del 2F ($P > 0,086$). Por otra parte, se calcularon las ganancias medias diarias para el período del experimento, donde no se hallaron diferencias entre tratamientos, con un promedio de 0,155 kg/a/d. Sí existieron diferencias en la producción residual de calor (RHP) de las vaquillonas, siendo esta mayor ($P < 0,05$) para el Control ($4,77 \pm 2,57$ MJ/d) que para los tratamientos de SSP, sin variar entre 2F y 4F ($-2,70 \pm 2,57$ MJ/d; $P = 0,05$) (C. Giribaldi & M. Vicino, comunicación personal, 2025).

Todos los datos fueron procesados y analizados utilizando el software R (R Core Team, Viena, Austria). Primeramente, los registros cada 1 min provenientes de los sensores de las patas se clasificaron en parada/echada de acuerdo con Ledgerwood et al. (2010). Estos datos se corrigieron con el fin de identificar situaciones donde un registro de una actividad quedaba comprendido entre otras dos diferentes. Esto es, por ejemplo, cuando se identifica un registro “parada” antecedido y seguido por eventos “echada”, o viceversa. Esta información fue luego compilada por animal y por día para obtener el tiempo total diario correspondiente a cada posición (parada/echada), el número de eventos para la posición y la duración promedio de cada evento. Posteriormente, fue procesada la información correspondiente a los acelerómetros ubicados en los bozales. Los puntos de corte entre pastoreando/no pastoreando se realizaron en base a un análisis discriminante lineal utilizando la aceleración de los ejes x e y como predictores y corrigiendo los registros convirtiendo los eventos de pastoreo encerrados entre registros de actividad de no pastoreo a eventos de no pastoreo o viceversa; la exactitud de la predicción del modelo

es de 92,1% con 2,9% falsos positivos y 5,0% de falsos negativos (F. Marín, comunicación personal, 2025).

Los registros cada 1 min de patas y bozales fueron unificados con el fin de definir tres actividades distintas: pastoreo, descanso parada y descanso echada. Bajo este esquema, los tiempos de rumia quedan comprendidos dentro del descanso debido a que no fue posible determinarlos por sí mismos. Al igual que para la posición, se compiló la información por animal y por día con el fin de obtener el tiempo total diario de cada actividad, número de sesiones y tiempo medio por sesión. Finalmente, a partir de los mismos registros, se calculó el tiempo de pastoreo y tiempo echada dentro de franjas de dos horas por día con el fin de evaluar las variaciones diarias en la actividad o posición animal. A nivel general, no se consideraron los datos de días incompletos (días en que se colocaron y retiraron los dispositivos) teniendo en cuenta que los animales pasaron varias horas del día en las mangas, viéndose alterada su rutina habitual. Como resultado, se obtuvo una base de datos de 8 días completos, con la misma cantidad de registros para todos los días.

Para analizar el tiempo diario, número de sesiones y tiempo medio de sesión de cada actividad, se utilizaron modelos mixtos con medidas repetidas dónde se definió el tratamiento y bloque como efectos fijos, el peso como covariable y animal(día) como efecto aleatorio. Para analizar el tiempo echada o pastoreando o las proporciones de tiempo pastoreando del tiempo parada y tiempo echada del tiempo no pastoreando (descanso + rumia) por franja horaria se utilizaron modelos mixtos con medidas repetidas dónde se incluyeron como efectos fijos el tratamiento, el bloque, la franja horaria (cada 2 h) y la interacción entre tratamiento y franja horaria, mientras que el peso se utilizó como covariable y el efecto animal (día) fue tomado como aleatorio. Se aplicó un enfoque de regresión lineal múltiple para analizar el efecto del ITH promedio sobre los comportamientos diarios de postura y de pastoreo y sus componentes. El modelo incluyó el tratamiento, el ITH (como variable continua) y la interacción del tratamiento con el ITH como efectos fijos, además del bloque y el animal como efectos aleatorios. Adicionalmente, regresiones lineales múltiples se utilizaron también para estudiar el efecto del ITH en la proporción del tiempo pastoreando del total de tiempo parada y en la proporción de tiempo echada del total de tiempo no pastoreando (descanso + rumia). El modelo incluyó el tratamiento, el ITH (como variable continua) y la interacción del tratamiento con el ITH como efectos fijos y el bloque y el animal(día) como efectos aleatorios. Finalmente, se calcularon correlaciones de Pearson para estudiar las relaciones entre las variables estudiadas.

4. RESULTADOS

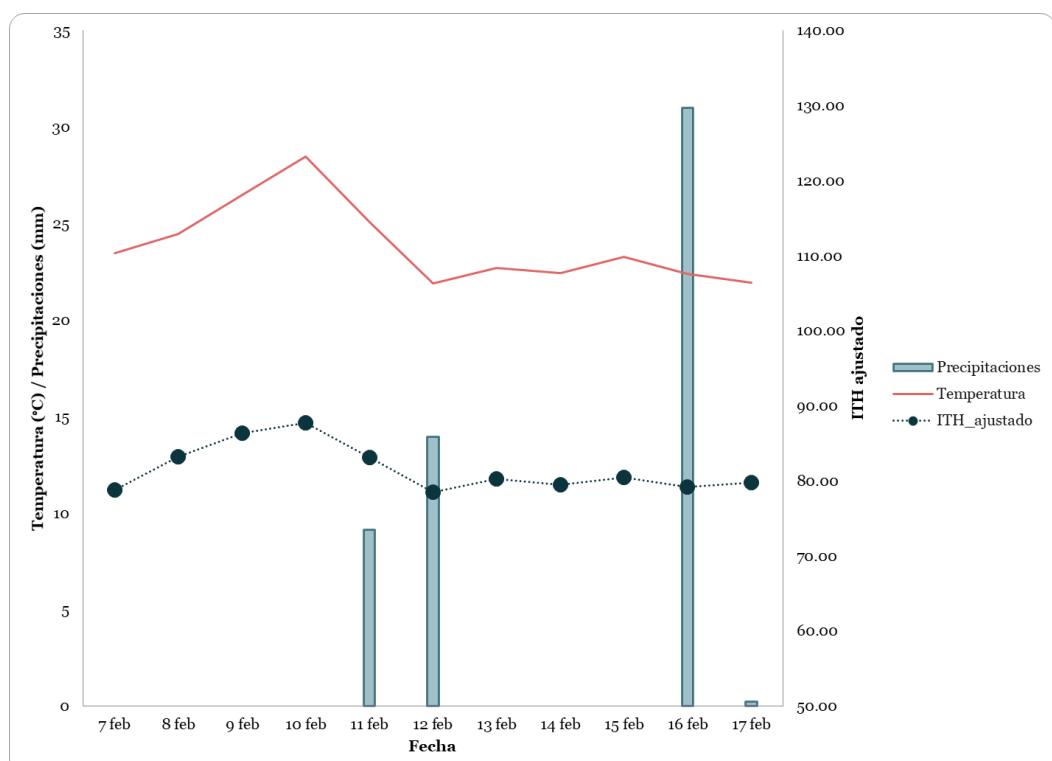
4.1. Condiciones climáticas durante el período de ensayo

Las condiciones climáticas del período de ensayo (07/02/25 - 17/02/25) se presentan en Figura 3. La temperatura media en los días de experimento fue de 23,9 °C, siendo el 10 de febrero el día con máxima temperatura media (28,5 °C), y el 12 de febrero el día que presentó la mínima temperatura media con 21,9 °C. El ITH promedio durante los días de trabajo estuvo entre 79 y 88, coincidiendo los días de máximos y mínimos con los de mayores y menores temperaturas medias. Cuatro días presentaron precipitaciones: 11 (9 mm), 12 (14 mm), 16 (31 mm), y 17 de febrero (1 mm).

En el mes del experimento la temperatura media a nivel país fue de 25,2 °C, con un comportamiento por encima de lo normal para la época considerando la media histórica (45 años), que fue superada en 2,2 °C. La temperatura media promedio de los días de experimento fue de 23,9°C, por debajo de la media para el mes, pero existieron días con valores superiores, alcanzando 28,5°C (Figura 3). El ITH puede utilizarse para determinar condiciones de estrés térmico, donde los valores de ITH de los días de ensayo indican peligro ($78 < \text{ITH} < 84$) y emergencia ($\text{ITH} \geq 84$) por estrés térmico para bovinos de carne (Brown-Brandl et al., 2005).

Figura 3

Condiciones climáticas durante el período de ensayo (07/02/2025 – 17/02/2025)



4.2. Comportamiento postural

El tiempo de no pastoreo (descanso + rumia) total (paradas + echadas) promedió 845 min/d, pero se observaron diferencias entre tratamientos en la distribución las posturas echada y parada cuando las vaquillonas no pastorearon.

El tiempo en que las vaquillonas estuvieron paradas no pastoreando durante el día tendió ($P = 0,08$) a ser afectado por el tratamiento (Tabla 2; Anexo 1), asociado a una tendencia a ser menor en las vaquillonas 4F que en las Control ($P = 0,065$), sin diferencias entre 2F con el Control ni con el 4F ($P > 0,39$). El menor tiempo paradas en las vaquillonas 4F, se asoció a un similar número de sesiones paradas por día ($26 \pm 2,5$ en promedio) pero que tendieron ($P = 0,10$) a ser más cortas en vaquillonas 4F vs. Control e intermedias en las vaquillonas 2F. En contraste, las vaquillonas del tratamiento 4F dedicaron más tiempo a estar echadas en el día ($P < 0,05$) que las de los otros grupos, aunque no difirieron en el número de sesiones de estar echadas ni en el largo promedio de estas sesiones ($P > 0,38$). En promedio las vaquillonas tuvieron 9 ± 1 sesiones echadas por día de una duración de $77,6 \pm 5,4$ min/sesión. Independientemente del tratamiento, el número de sesiones echadas se correlacionó negativamente con la duración media de cada sesión ($r = -0,84$; $P < 0,001$) y tendieron a estar positivamente correlacionadas con el tiempo total en que las vaquillonas estuvieron echadas ($r = 0,32$; $P = 0,075$). A su vez, el tiempo en que las vaquillonas estuvieron echadas durante el día se correlacionó positivamente con la dMO del forraje ($r = 0,42$; $P < 0,05$).

Por otra parte, el tiempo en que las vaquillonas estuvieron echadas fue afectado ($P < 0,05$) por la franja horaria y por la interacción entre el tratamiento y la franja horaria (Figura 4B). Las vaquillonas 4F pasaron más ($P < 0,05$) tiempo echadas en el intervalo de 00-04 h que las vaquillonas Control y de 06-08 h y de 10-12 h que las vaquillonas 2F mientras que las vaquillonas Control estuvieron menos ($P < 0,05$) tiempo echadas de 12-14 h pero más tiempo de 16-18 h que las vaquillonas 2F y 4F. La proporción del tiempo que las vaquillonas estuvieron echadas del tiempo que no pastorearon (tiempo echadas/tiempo no pastoreo) no difirió entre tratamientos, con un promedio diario de 56%, pero fue afectada ($P < 0,05$) por la franja horaria y por la interacción entre el tratamiento y la franja horaria. La proporción del tiempo de no pastoreo echadas fue máxima en las horas nocturnas (de 63% a 94% en las horas de 00 a 08 h y de 20 a 24 h; $P < 0,05$) y mínima entre las 08-10 h y 18-20 (14%); mientras que en el resto del día (de 10 a 18h) el porcentaje que pasaron echadas del total del tiempo de no pastoreo osciló entre 31 y 46% (Figura 5A). Las vaquillonas del tratamiento 4F estuvieron una mayor proporción del tiempo de no pastoreo echadas ($P < 0,05$) en comparación con las de 2F en las franjas de 00-02 h, 06-08 h, 10-12 h y 18-20 h y en comparación con vaquillonas Control en las franjas de 02-04 h y las 10-12 h. Asimismo, entre las 12-14 h existió una tendencia de las 2F y 4F a pasar más proporción del tiempo echadas del tiempo de no pastoreo que las vaquillonas Control ($P = 0,090$ y $P = 0,057$ respectivamente) mientras que las vaquillonas Control pasaron más proporción echadas ($P < 0,05$) que las 2F y 4F entre las 16-18 h y que las 2F de 18-20 h.

Ni el tiempo en que las vaquillonas estuvieron echadas ni la proporción de tiempo de descanso + rumia en que las vaquillonas estuvieron echadas fueron afectados por el ITH o por la interacción entre el ITH y el tratamiento ($P > 0,20$). Sin embargo, el número de sesiones echadas por día tendió a aumentar ($P = 0,06$; $0,11 \pm 0,09$ sesiones/d) y la duración promedio de cada sesión disminuyó ($P < 0,05$; $0,46 \pm 0,76$ min/sesión) por cada unidad de incremento en el ITH. Durante las horas diurnas (08-20 h, con máximos valores de ITH), en promedio, por cada unidad de incremento en el ITH, hubo un aumento ($P < 0,05$) en el tiempo en que las vaquillonas estuvieron no pastoreando echadas de $0,69 \pm 0,24$ min cada 2 h y este aumento fue mayor ($P < 0,05$) en el tratamiento 4F ($1,66 \pm 0,32$ min cada 2 h) y tendió ($P = 0,052$) a ser mayor ($1,31 \pm 0,32$ min cada 2 h) en el tratamiento 2F que en el Control (Figura 6). Asimismo, la proporción de tiempo echada del total de no pastoreo aumenta con el ITH durante las horas diurnas solo en los SSP, y en mayor medida en 4F que 2F (1,72% y 1,31% cada 2 h respectivamente; interacción ITH x tratamiento $P < 0,05$). Por otro lado, la proporción del tiempo que las vaquillonas estuvieron no pastoreando paradas al aumentar el ITH en las horas diurnas fue afectado de manera diferente según el tratamiento ($P < 0,05$); las vaquillonas Control aumentan su tiempo de no pastoreo de pie en $0,40 \pm 0,19$ min cada 2 h, mientras que no se vería afectado en las 2F y en las vaquillonas 4F disminuye $0,64 \pm 0,26$ min cada 2 h.

4.3. Comportamiento de pastoreo

La unión de los registros de los acelerómetros colocados en bozales (pastoreo/no pastoreo) con los registros de los acelerómetros colocados en la pata (echada/parada) permitió detectar que un 6,2% de los datos se correspondían a eventos de pastoreo con el animal echado, comportamiento de baja probabilidad de ocurrencia, únicamente posible con elevadas alturas de forraje. En las condiciones del experimento, dados los manejos realizados para controlar la altura del pasto, se considera irrelevante. Con el fin de incluir estos registros en los análisis de este trabajo, los eventos erróneos fueron corregidos según los registros de postura en el rango de lo indicado para el modelo. Esta metodología de corrección permite obtener una precisión de predicción del modelo similar a la obtenida con calibración de los registros de acelerómetros mediante observación visual (F. Marín, comunicación personal, 2025).

Los resultados relacionados al comportamiento de pastoreo diario (Tabla 2) mostraron que las vaquillonas destinaron en promedio 600 ± 23 min/d a pastorear, y realizaron en promedio $22 \pm 2,5$ sesiones de pastoreo durante el día, con un largo promedio de $33,4 \pm 6$ min por sesión. Ninguna de estas variables presentó diferencias significativas por tratamiento ($P > 0,62$). Sin embargo, la tasa de consumo de forraje (g MS/min) fue afectada por el tratamiento siendo mayor ($P < 0,05$) en el tratamiento Control que en el tratamiento 2F y con una tendencia a ser mayor que en 4F ($P = 0,10$), sin diferencias entre 2F y 4F ($P = 0,38$). El tiempo de pastoreo diario se correlacionó negativamente con el número de sesiones de pastoreo y positivamente con la duración media de sesión ($r = -0,43$ y $r = 0,70$, respectivamente; $P < 0,001$) siendo la correlación entre estas últimas dos variables negativas ($r = -0,83$; $P < 0,001$). A su vez el tiempo de

pastoreo diario se correlacionó negativamente con la tasa de consumo de forraje ($r = -0,44$; $P < 0,05$) mientras que la tasa de consumo del forraje se correlacionó positivamente con la dMO del forraje ($r = 0,44$; $P < 0,05$).

Por otra parte, la interacción entre el tratamiento y la franja horaria afectó ($P < 0,05$) el tiempo de pastoreo (Figura 4A). En este sentido, los animales 2F pastorearon más tiempo en la franja de 00-02 que los 4F ($P = 0,001$). Por su parte, los animales Control pastorearon más que 4F ($P = 0,05$), más que 2F y 4F ($P < 0,001$) y menos que 2F y 4F ($P < 0,001$), a las 02-04 h, 12-14 h y 16-18 h, respectivamente. Finalmente, las vaquillonas 4F pastorearon más que Control y 2F ($P < 0,001$) de 14-16 h, mientras que en la franja 10-12 h todos los tratamientos difirieron entre sí ($P < 0,05$), dónde los animales que más tiempo pastorearon fueron los del Control, seguidos de 2F y por último 4F.

En promedio, las vaquillonas estuvieron un 58% de su tiempo paradas pastoreando, no existiendo diferencias entre tratamientos. Sin embargo, esta proporción (tiempo pastoreando/tiempo parada) fue afectada por la franja horaria y la interacción entre el tratamiento y la franja horaria ($P < 0,001$) (Figura 5B). La proporción de tiempo de pastoreo del tiempo total paradas fue máxima en las franjas horarias de 08-10 h, 16-18 h, y 18-20 h (70%, 77%, y 94% respectivamente; $P < 0,05$) y mínima en 22-24 h (18%) y 04-06 h (24%). El resto del día (00-04 h, 06-08 h, 10-16h y 20-22 h) el porcentaje que pasaron pastoreando del total del tiempo paradas varió entre 46 y 65%. Sin embargo, la proporción del tiempo pastoreando del tiempo paradas fue mayor ($P < 0,05$) de 02-04 h y de 20-22 h pero menor de 14-16 h en 2F que en 4F y mayor de 10-12 h y 12-14 h en el Control que en 2F y 4F.

El tiempo diario de pastoreo disminuyó ($P < 0,05$) en promedio $5,77 \pm 2,32$ min/d por cada unidad de incremento del ITH, sin efecto del tratamiento ni de la interacción entre el ITH y el tratamiento ($P > 0,48$). El ITH también afectó el número de sesiones de pastoreo diarias de manera diferencial según el tratamiento ($P < 0,05$), ya que el número de sesiones aumentó en $0,68 \pm 0,34$ sesiones/d por unidad de ITH en 4F, y la duración de cada sesión de pastoreo disminuyó en $1,28 \pm 0,68$ min/sesión por unidad de ITH también únicamente para el tratamiento 4F ($P = 0,06$). Al considerar solamente las horas diurnas (08-20 h, con máximos valores de ITH), el tiempo de pastoreo de las vaquillonas se redujo ($P < 0,001$) en promedio $0,97 \pm 0,28$ min cada 2 h y la proporción de tiempo de pastoreo del total de tiempo en que las vaquillonas estuvieron paradas disminuyó ($P < 0,05$) en $0,7 \pm 0,2\%$ por cada unidad de aumento del ITH.

4.4. Relación entre comportamiento y eficiencia alimenticia individual

La eficiencia alimenticia individual, medida como RHP, de las vaquillonas se correlacionó con la tasa de consumo del forraje (g MS/min) ($r = 0,53$; $P < 0,05$) pero no se correlacionó con ningún otro de los componentes del comportamiento de pastoreo o postural ($P > 0,47$).

Tabla 2

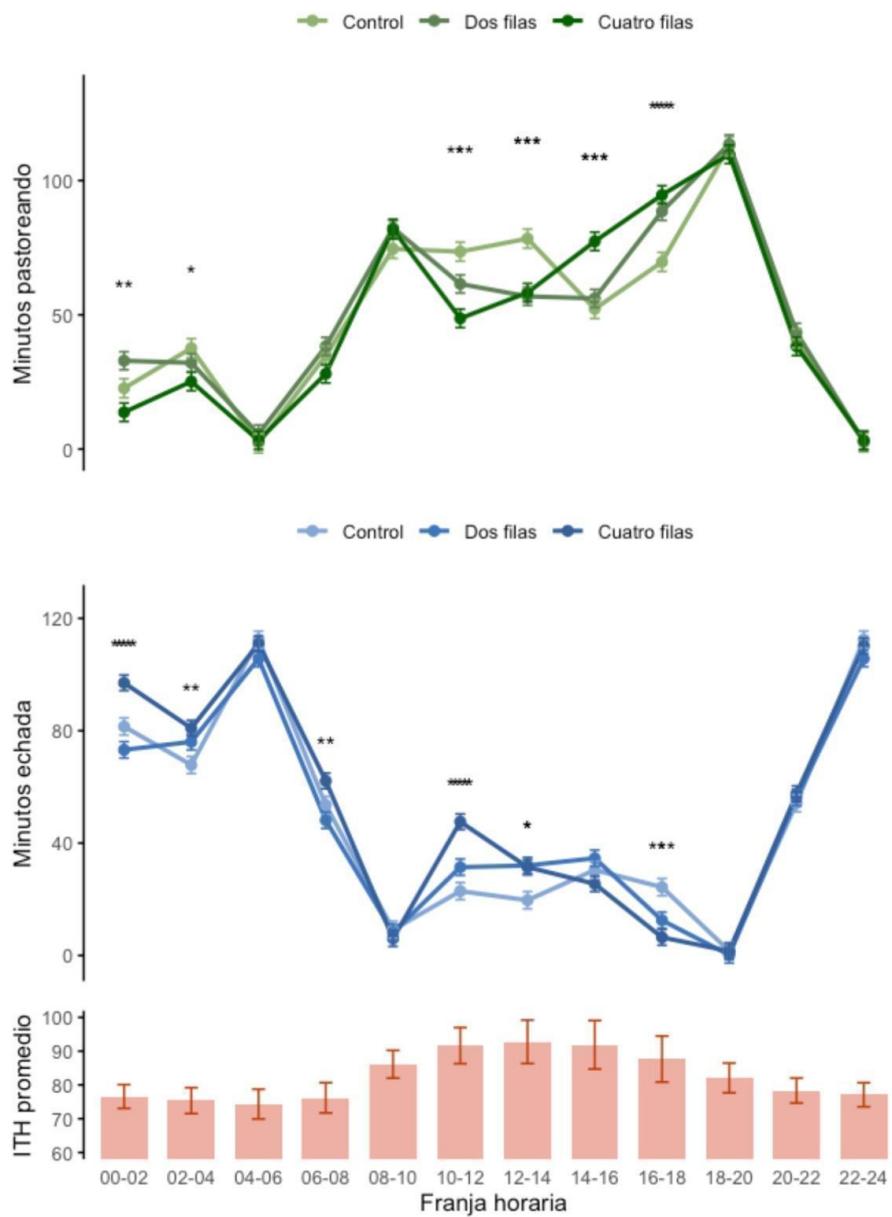
Comportamiento diario de pastoreo y descanso + rumia de vaquillonas según tratamientos

	Tratamientos ¹				
	Control	2F	4F	SE	P-valor
<i>No pastoreo (descanso + rumia)</i>					
Tiempo parada (min/d)	273	244	211	18	0,08
Número de sesiones parada (sesiones/d)	25,0	25,8	26,3	2,5	0,94
Largo promedio de sesiones parada (min/sesión)	11,5	11,1	8,3	1,1	0,10
Tiempo echada (min/d)	588 ^b	581 ^b	638 ^a	12	<0,01
Número de sesiones echada (sesiones/d)	8,0	8,4	9,9	1,0	0,38
Largo promedio de sesiones echada (min/sesión)	77,6	78,0	77,3	5,4	0,99
Proporción de tiempo echada del tiempo de no pastoreo total	0,56	0,53	0,58	0,03	0,33
<i>Pastoreo</i>					
Tiempo de pastoreo (min/d)	603	615	583	23	0,62
Número de sesiones de pastoreo (sesiones/d)	20,90	22,5	23,8	2,5	0,72
Largo promedio de sesiones de pastoreo (min/sesión)	37,5	32,5	30,2	6,0	0,68
Proporción de tiempo de pastoreo del tiempo parada total	0,59	0,58	0,56	0,06	0,88
Tasa de consumo (gMS/min)	14,70 ^a	12,23 ^b	13,07 ^{ab}	0,65	0,04

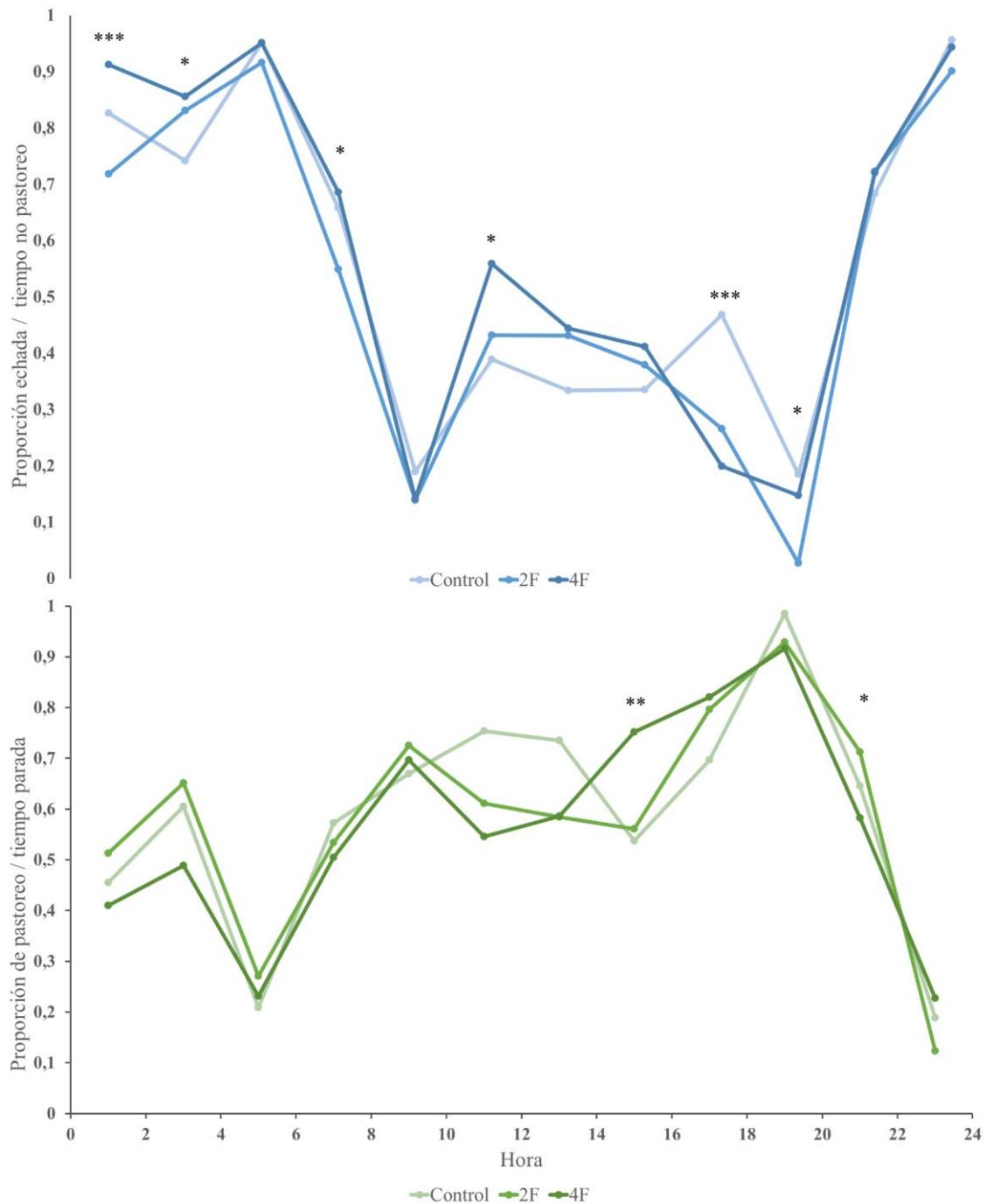
Nota. ¹Tratamientos: Control sin árboles (Control), filas dobles de árboles con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 160 árboles/ha (2F), y filas cuádruples con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 240 árboles/ha (4F). ^{a,b,c} Medias con literales diferentes indican difieren con $P < 0,05$.

Figura 4

Comportamiento de pastoreo y postural de vaquillonas según tratamientos e ITH promedio durante el día



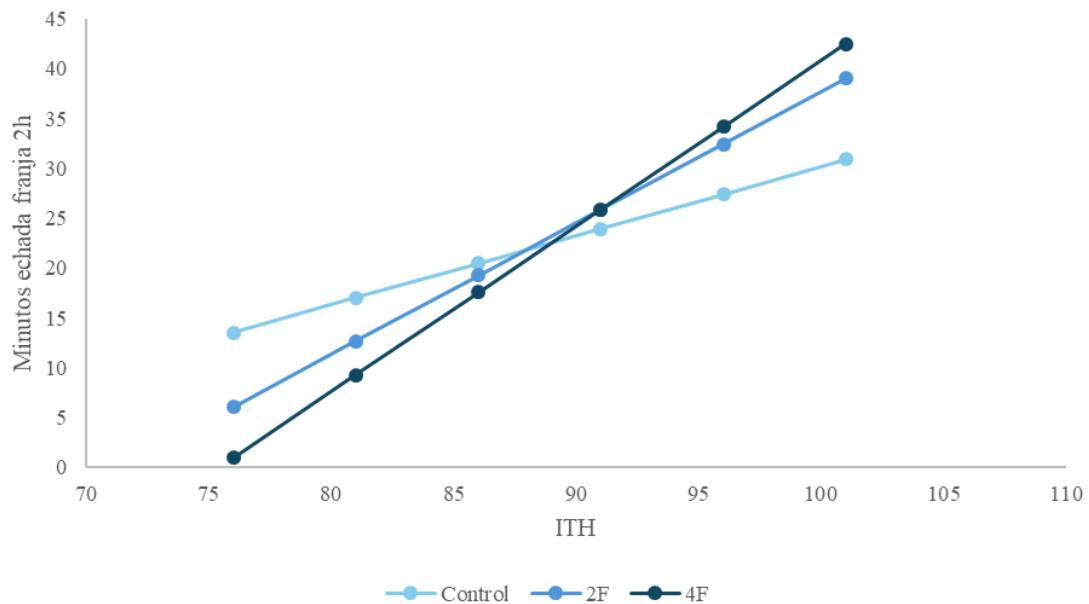
Nota. * <0,05; ** <0,01, *** <0,001. Comportamiento de pastoreo (A) y descanso + rumia echadas (B) e ITH (C) de vaquillonas, en franjas de 2h según tratamientos: Control sin árboles (Control), filas dobles de árboles con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 160 árboles/ha (2F), y filas cuádruples con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 240 árboles/ha (4F).

Figura 5*Comportamiento postural y de pastoreo de vaquillonas según tratamientos*

Nota. * $<0,05$; ** $<0,01$, *** $<0,001$. Proporción de tiempo de no pastoreo (descanso + rumia) echadas del tiempo total de no pastoreo (A) y proporción del tiempo de pastoreo del tiempo total paradas (B) de las vaquillonas, en franjas de 2h según tratamientos: Control sin árboles (Control), filas dobles de árboles con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 160 árboles/ha (2F), y filas cuádruples con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 240 árboles/ha (4F).

Figura 6

Tiempo de no pastoreo echadas en franjas diurnas de las vaquillonas en relación al ITH



Nota. Tratamientos: Control sin árboles (Control), filas dobles de árboles con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 160 árboles/ha (2F), y filas cuádruples con 5 m entre árboles y 20 m de callejón (5x5+20) a una densidad de 240 árboles/ha (4F).

5. DISCUSIÓN

La inclusión de árboles en bajas densidades en sistemas pastoriles modificó el comportamiento de las vaquillonas en el verano, registrándose un mayor tiempo de descanso + rumia echadas (min/d) para las vaquillonas en SSP, lo que sugiere una mejora en el bienestar animal en estos sistemas. Sin embargo, a pesar de que la tasa de ingestión de forraje (g MS/min) fue mayor en las vaquillonas pastoreando campo natural sin árboles, el tiempo diario dedicado al pastoreo (min/d) no difirió entre tratamientos. A su vez, el comportamiento postural y de pastoreo mostró claros patrones a lo largo del día que evidencian el ritmo circadiano que comanda el comportamiento animal, con efectos tanto de la presencia de árboles como del ITH (estrés calórico).

Los resultados de este trabajo muestran que las vaquillonas dedicaron en promedio 10 h a pastorear y 14 h a rumiar y/o descansar. Kilgour (2012) en una revisión de 22 estudios (publicados entre 1927 y 2009) que reportaron el comportamiento de rumiantes en ambientes con mínima intervención humana, indica que estos presentaron un amplio rango de comportamientos (40 categorías diferentes) pero que pastorear, rumiar y descansar ocupan entre el 90 y el 95% del día de un animal. En acuerdo con nuestros resultados, en esta revisión, Kilgour (2012) señala que a lo largo del día (24 h) los animales pastorearon en promedio de 6,8 a 13 h, rumiaron de 4,7 a 10,2 h y descansaron de 3,6 a 10,3 h. En el mismo sentido, Phillips (2002) reportó que los bovinos de carne dedican entre 9 y 12 h a pastorear, distribuidas en 5 sesiones de aproximadamente 1 h y 50 min cada una. En este trabajo se estimaron 22 sesiones de pastoreo por día, de 34 minutos de duración promedio; probablemente reflejando diferencias en la definición de sesión de pastoreo, siendo que se consideraron distintos eventos de pastoreo al tener al menos dos registros (2 min) de no pastoreo entre ellos. En cambio, según Gibb (1998) dentro de la sesión de pastoreo se consideran, además del tiempo que el animal está efectivamente consumiendo forraje, breves períodos en los que realiza actividades directamente asociadas, como búsqueda del alimento y desplazamiento entre parches de la pastura. En este experimento no se incluyeron estos períodos dentro las sesiones de pastoreo, ya que no se estableció un umbral de minutos de no pastoreo permitido dentro de un mismo evento de pastoreo, que otros trabajos han determinado en 5 minutos (Rook et al., 1994). Estas diferencias generan para este trabajo distinción entre eventos de pastoreo que, al utilizar otros criterios, se agruparían dentro de uno.

El patrón de consumo de los rumiantes en pastoreo sigue un ritmo circadiano (24 h) sensible al fotoperíodo, lo que implica que la luz es una señal ambiental que estimula el apetito (Gregorini et al., 2006). Es así como, los eventos principales de pastoreo tienden a darse cerca del amanecer y el anochecer, siendo este último el más intenso y largo, ya que se acumula alimento para digerir durante la noche, cuando la actividad de pastoreo se vuelve mínima (Gregorini et al., 2006; Kilgour, 2012; Phillips, 2002). A su vez, existe evidencia de que se da una acumulación de fotosintatos en el forraje a lo largo del día, que determina mejor digestibilidad y palatabilidad; lo que podría explicar en parte la

preferencia por un evento de pastoreo prolongado e intenso al anochecer (Gregorini et al., 2006). Por otra parte, la bibliografía es consistente respecto a que los patrones de rumia son inversos a los de pastoreo, es decir que los animales están rumiando cuando no están pastoreando (Lofgreen et al., 1957; Ruckebusch & Bueno, 1978).

En coincidencia con estos reportes, independientemente del tratamiento, observamos que en las franjas de 08-10 h y 18-20 h las vaquillonas tuvieron los picos máximos de tiempo de pastoreo (total y como proporción del tiempo parada) y los valores mínimos de tiempo echadas (total y como proporción del tiempo de no pastoreo). Asimismo, las vaquillonas estuvieron un 56% del tiempo de no pastoreo (rumia + descanso) echadas y en las horas nocturnas (00-08 h y 20-24 h) el tiempo echadas (total y como proporción del tiempo de no pastoreo) fue máximo, mientras que el tiempo dedicado al pastoreo (total y como proporción del tiempo paradas) fue mínimo. En acuerdo con nuestros resultados, se ha indicado (Kilgour, 2012) que, si bien los animales permanecen activos durante la noche, suelen pastorear menos durante las horas de oscuridad que durante las horas de luz (menos del 25% del tiempo de pastoreo diario durante la noche). Más aún, se ha observado que tanto la rumia como el descanso se realiza en la postura echada y que la mayor actividad de rumia tiende a realizarse durante la noche mientras que no existen diferencias claras en la actividad de descanso entre las horas de luz y de oscuridad (Kilgour, 2012; Newman et al., 1995).

Existe extensa evidencia respaldando que las mejoras en el confort térmico de los animales asociadas al acceso a sombra provocan alteraciones en su comportamiento ingestivo. Goncherenko et al. (2024), determinaron mayores tiempos de pastoreo diarios en vacas de cría pastoreando SSP vs. sistemas sin sombra (12,6 vs. 10,1 h/d), aumento que se asoció a una mayor duración promedio de las sesiones de pastoreo. Se ha señalado que en situaciones de estrés térmico se ven afectadas tanto la actividad de pastoreo como de rumia diurnas, quedando postergadas hasta las horas más frescas de la noche (García Cruz, 2010; Pires & Paciullo, 2015; Van Soest, 1994). Asimismo, en general, los animales con sombra destinan una mayor proporción de tiempo al pastoreo y rumia que los expuestos a pleno sol que tienden a reducir su actividad de pastoreo durante las horas de mayor temperatura (Barragán et al., 2017; García Cruz, 2010; Geremia, 2016), pudiendo como medida de compensación, aumentar el pastoreo nocturno.

Si bien en el presente trabajo no se observaron diferencias en el comportamiento de pastoreo diario (tiempo, número y duración de sesiones de pastoreo) entre tratamientos, las vaquillonas pastoreando el tratamiento Control y el 2F presentaron mayor tiempo y proporción de tiempo de pastoreo del tiempo paradas por franja en las horas nocturnas, que las vaquillonas en 4F (con mayor densidad de árboles). Este pastoreo nocturno se considera una respuesta adaptativa a la restricción de consumo durante las horas de mayor temperatura en animales con estrés térmico, pero se ha indicado que puede resultar perjudicial para los animales ya que conlleva una producción de calor que impide reducir la temperatura corporal durante la noche en la medida que sería deseable (Geremia, 2016). Por otra parte, se ha sugerido que el pastoreo nocturno podría reflejar

una adaptación conductual al estrés térmico más que una estrategia para aumentar el consumo de MS, ya que en acuerdo con los resultados de este experimento (C. Giribaldi & M. Vicino, comunicación personal, 2025), se ha reportado que no se correlacionó con la ganancia de peso en vaquillonas de carne (Eckhardt et al., 2025). Estos últimos autores, sugieren que la cantidad de MS consumida durante la noche es incierta y que la limitada visibilidad durante las horas de oscuridad puede restringir la capacidad de identificar la altura, la disponibilidad y la calidad del forraje, lo que podría conducir a un menor consumo de MS (por unidad de tiempo) en comparación con el pastoreo diurno. Más aún, al analizar la producción de calor de las vaquillonas durante las horas nocturnas, puede observarse que la misma fue mayor ($P < 0,05$) en el tratamiento sin árboles que en los tratamientos de SSP, sin efecto de la densidad arbórea ($625, 549$ y 539 ± 33 kJ/kg PV^{0,75} por d para Control, 2F y 4F, respectivamente, $P = 0,79$; C. Giribaldi & M. Vicino, comunicación personal, 2025). Esta mayor producción de calor durante las horas de la noche en las vaquillonas Control que en las vaquillonas pastoreando SSP (2F y 4F) estaría en acuerdo con un mayor consumo de MS en estas horas (Brosh, 2007) y una mayor dificultad de disipación del calor por la mayor exposición al sol y temperaturas elevadas de estas vaquillonas durante el día que no permitiría el descenso deseable de la temperatura corporal (Geremia, 2016). Sin embargo, a pesar de que las vaquillonas 2F presentaron un tiempo de pastoreo en las franjas horarias de la noche similar a las Control y mayor a las 4F, la producción de calor durante la noche no se diferenció entre las vaquillonas en SSP, sugiriendo un menor consumo de MS nocturno o una mayor facilidad para disipar el calor en las vaquillonas 2F que en las Control. Por otro lado, se observó un mayor tiempo de pastoreo (total y como proporción del tiempo paradas) en las horas del mediodía para las vaquillonas Control, sin diferencias entre tratamientos con presencia de árboles. Por lo tanto, el mayor consumo de MS (C. Giribaldi & M. Vicino, comunicación personal, 2025) y tasa de consumo de MS encontrados en las vaquillonas que pastorearon en ausencia vs. en presencia de árboles (Control vs. 2F y 4F), podría explicarse por el comportamiento en estas horas, pudiendo existir un aporte, aunque de magnitud incierta, del pastoreo nocturno (Eckhardt et al., 2025).

En acuerdo con nuestros resultados en que independientemente del tratamiento, el tiempo de pastoreo disminuyó al aumentar el ITH, se ha indicado que en situaciones de extremo riesgo de ocurrencia de estrés calórico (elevado ITH) los animales tienden a disminuir su actividad de pastoreo y reorganizar su actividad de rumia, que puede aumentar en términos relativos al tiempo de pastoreo (Blackshaw & Blackshaw, 1994; Eckhardt et al., 2025). Como se mencionó anteriormente los rumiantes asocian la actividad de rumia a situaciones de seguridad y confort (Albright, 1993; Newman et al., 1995) existiendo una preferencia por la postura echada (Kilgour, 2012) y por el resguardo bajo la sombra (Leme et al., 2005). De hecho, al analizar las horas diurnas, a mayores ITH, por un lado hay un aumento en todos los tratamientos en los minutos de no pastoreo echadas en la franja de 2h, que se da en mayor magnitud en los tratamientos de SSP. A su vez, la proporción del tiempo que las vaquillonas estuvieron echadas del tiempo de no pastoreo, en franjas de 2h, se incrementó sólo en los SSP sugiriendo que para las

vaquillonas en estos tratamientos, la sombra podría haber favorecido la rumia en las horas de altos valores de ITH.

En contraste con el mayor tiempo de pastoreo (total y como proporción del tiempo paradas) observado en las horas del mediodía en las vaquillonas del tratamiento Control, investigaciones previas indican que en estas horas debería haber una disminución de la actividad de pastoreo de los animales sin vs. con acceso a sombra, teniendo estos últimos un comportamiento más constante a lo largo del día, sin picos de actividad tan marcados (Fedrigo et al., 2019; Geremia, 2016; Karki & Goodman, 2009), lo que podría estar reflejado en los patrones más constantes de descanso + rumia echadas durante el día para las vaquillonas 4F. Sin embargo, en acuerdo con Barragán et al. (2017) el tiempo de pastoreo de las vaquillonas (total y como proporción del tiempo parada, a escala día o en las franjas horarias diurnas), asociado a más sesiones de pastoreo, pero de menor duración, disminuyó con el incremento del ITH.

Cabe destacar que, durante el período experimental, el ITH promedio para las franjas de horas diurnas (08- 20h), fue de $90,2 \pm 6$ y el rango de ITH estuvo entre 76 y 100. Brown-Brandl et al. (2005) proponen como criterio, que valores de: $74 \leq \text{ITH} \leq 78$ indican una situación de “alerta”; $78 \leq \text{ITH} \leq 84$ de “peligro”; y de $\text{ITH} \geq 84$ se califican como una “emergencia”. Es así que, los niveles de ITH a los que estuvieron expuestas las vaquillonas en este trabajo fueron realmente elevados indicando un alto estrés térmico, comprometiendo su bienestar y comportamiento normal, además de posiblemente la efectividad de los mecanismos de adaptación ante el estrés. En efecto, investigaciones previas que reportan menores tiempos de pastoreo diarios en animales sin vs. con acceso a sombra fueron realizados en situaciones no tan extremas de estrés térmico (ITH máximos de 72 a 93; Barragán et al., 2017; García Cruz, 2010; Geremia, 2016). Estas diferencias en ITH podrían contribuir a explicar las diferencias entre el presente trabajo y los reportes previos, asociado a que, se ha hallado que cuando el ITH se vuelve demasiado alto, y más aún si es por una elevada humedad relativa, puede suceder que la protección que ofrece la sombra sea insuficiente para mitigar los efectos negativos del estrés calórico en los animales. Con elevados niveles de humedad, se ve limitada la evaporación a través de los procesos de respiración y transpiración, principales mecanismos de enfriamiento para los animales, disminuyendo su efectividad. A su vez, la sombra, si bien contribuye a mitigar la afectación por estrés calórico, principalmente por una disminución en la temperatura ambiente, puede generar un microclima con mayor humedad relativa, lo que implica de nuevo una mayor dificultad para disipar el calor en condiciones de estrés muy extremas, escenario donde la sombra se vuelve una estrategia insuficiente para modificar significativamente el comportamiento ingestivo de los animales (Blackshaw & Blackshaw, 1994; West, 2003).

El tiempo de no pastoreo (rumia + descanso) que las vaquillonas estuvieron echadas a escala de día (min/d) fue mayor en las vaquillonas 4F, y las vaquillonas en los dos SSP (2F y 4F) pasaron más tiempo echadas (total y como proporción del tiempo de no pastoreo) que las vaquillonas Control en las horas del mediodía. A su vez, las

vaquillonas Control tendieron a pasar más tiempo paradas cuando no estaban pastoreando que las vaquillonas en SSP. Los resultados indican que las vaquillonas del tratamiento Control, sin acceso a sombra, optaron en mayor medida por estar de pie (rumia + descanso o pastoreando), acentuándose el efecto alrededor del mediodía, cuando el ITH alcanzó sus máximos valores y los animales sufrirían más el estrés por calor. Por otro lado, por unidad de incremento de ITH aumentó el tiempo de no pastoreo paradas de las vaquillonas Control en las franjas diurnas, y disminuyó para las vaquillonas 4F, sin efecto en 2F. Esto coincide con lo reportado por varios autores, que constataron una preferencia a descansar de pie en animales sin sombra a elevados niveles de ITH (Barragán et al., 2017; Ferreira, 2010; García Cruz, 2010; Muller et al., 1994), y que a su vez el tiempo de descanso echado responde negativamente al estrés por calor (Berman, 2006). Yokoyama-Kano et al. (2004) explican que el descanso de pie podría favorecer la pérdida de calor por convección, asociado a una mayor circulación del aire. Al descansar echados, los animales reducen su capacidad de disipar calor, pero es un descanso más eficiente energéticamente, lo que podría estar relacionado con que los animales con esta preferencia están en una mejor situación en cuanto a su confort térmico. En contrapartida, cuando el ITH comienza a descender en horas previas (16-18 h) al pico de pastoreo del atardecer, las vaquillonas Control pasan más tiempo echadas (total y como proporción del tiempo de no pastoreo) que las vaquillonas en los tratamientos 2F y 4F.

Estas estrategias distintas de comportamiento echada/parada probablemente reflejen adaptaciones frente a condiciones ambientales locales y diferencias en el microclima. En este trabajo no se midió el microclima pero en años anteriores, durante el verano, se encontraron valores de ITH promedio diarios menores bajo los árboles ($86 \pm 0,4$) que en los callejones y a pleno sol ($88 \pm 0,4$), además de una diferencia entre densidades de árboles a las 10 h, ($75 \pm 1,4$ y $84 \pm 1,4$ para 4F y 2F respectivamente; $P < 0,05$) (Llanos et al., 2025). Estas mediciones se realizaron con los árboles con dos años de edad, y sería de esperar que las diferencias se vayan acentuando a medida que crecen los árboles.

Si bien en este experimento no se observaron diferencias en la ganancia media de peso de las vaquillonas entre tratamientos (C. Giribaldi & M. Vicino, comunicación personal, 2025), como se mencionó anteriormente, las tasas de consumo de forraje (g MS/min) fueron mayores en las vaquillonas que pastorearon campo natural en ausencia de árboles (Control) que en los SSP (2F y 4F). Las tasas de consumo de forraje estimadas en el presente trabajo se encuentran en el rango de las observadas para vacas de cría pastoreando campo natural (entre 11 y 13 g MS/min; M. Do Carmo et al, comunicación personal, s.f). De manera similar, Da Silva y Carvalho (2005) indican que las tasas de consumo máximas de forraje de campo nativo en vaquillonas de carne están en el rango de 6,6 a 11,6 g MS/min, asociando las menores tasas de consumo a mayores alturas de forraje, resultado de una mayor cantidad de estructuras reproductivas de las plantas. Da Silva y Carvalho (2005) explican que, en el Bioma *Campos* la tasa de consumo de forraje es función de la heterogeneidad vertical y horizontal de la pastura que, en interacción con distintos factores bióticos y abióticos, determinan la cantidad de bocados y la distribución

espacial de los mismos. En acuerdo con nuestros resultados, aunque los valores de tasa de consumo de forraje fueron en promedio muy superiores a las obtenidas en este experimento, Geremia (2016) evaluando vaquillonas lecheras pastoreando una pastura tropical (*Brachiaria brizantha* cv. Piatã) observó que la tasa de consumo de forraje de vaquillonas a pleno sol fue mayor que la de aquellas en SSP con sombra intensa (714 árboles/ha). El autor (Geremia, 2016) encontró que la mayor tasa de consumo de vaquillonas en pleno sol, se asoció a una mayor masa de forraje y relación hoja/tallo que en los SSP, ya que, como respuesta adaptativa a la sombra, en las pasturas bajo SSP los tallos se elongan determinando una menor relación hoja/tallo (Martuscello et al., 2009; Paciullo et al., 2008, 2011). En este sentido, Benvenutti et al. (2006) y Fonseca et al. (2012) indican que esta mayor proporción de tallos en la pastura tiende a disminuir la tasa y tamaño (masa) de bocado, los dos componentes determinantes de la tasa de consumo, lo que podría explicar entonces la menor tasa de consumo de forraje en SSP, donde se dan estas modificaciones estructurales en la pastura.

En este ensayo, la disponibilidad de forraje fue similar entre tratamientos mientras que la dMO (%) fue mayor en el tratamiento Control que en los SSP. De hecho, existió una correlación positiva entre la tasa de consumo de forraje (g MS/min) y la dMO. La mayor dMO en las vaquillonas pastoreando sin acceso a sombra (Control vs. 2F y 4F) se asoció a un mayor contenido de MO y carbohidratos solubles en la MS del forraje en este tratamiento. Si bien, en el presente trabajo, no se evalúo la estructura de la pastura, la mayor tasa de consumo, el mayor contenido de carbohidratos solubles y la mayor dMO podrían sugerir una mayor relación hoja/tallo y estructura de forraje más favorable para una cosecha eficiente por parte del animal en el tratamiento Control (Ciavarella et al., 2000). Más aún, Carvalho et al. (2009) explican que la digestión rápida de los nutrientes contenidos en las hojas permite una mayor ingesta de forraje pudiendo aumentar la tasa de consumo también. Varios ensayos previos (Geremia, 2016; Lin et al., 2001; Paciullo et al., 2007) indican, en contraste con nuestros resultados, que la sombra aumenta el contenido de PC del forraje, con efectos inconsistentes en el contenido de FDN y en la digestibilidad del forraje. Sin embargo, se ha reportado que una mejor calidad del forraje ofrecido, en muchos casos no se refleja en un aumento en la tasa de consumo, porque prima el impacto de la estructura de la pastura (Geremia, 2016). En la misma línea, Sollenberger y Vanzant (2011) discuten que, si bien la calidad nutritiva del forraje define el potencial de ganancia individual para un animal de producción, la cantidad y estructura de forraje disponible es la principal determinante de la proporción del potencial de ganancia realmente lograda.

En este trabajo, la eficiencia individual medida como RHP, se correlacionó positivamente con la tasa de consumo de forraje, lo que indicaría que las vaquillonas más eficientes, aquellas que producen menos calor (ineficiencia) a un mismo peso metabólico y ganancia media diaria, son aquellas que consumen forraje a una tasa menor. Si bien Marín et al. (2024) reportan que la RHP puede ser utilizada como índice de eficiencia individual (característica heredable y repetible), no hay publicaciones que relacionen esta medida con variables de comportamiento animal. En acuerdo con nuestros resultados,

Kenny et al. (2018) en una revisión de RFI en ganado de carne en confinamiento, reportan que animales menos eficientes (alto RFI) consumen a mayores tasas y Fitzsimons et al. (2014) reportan también mayores tasas de consumo de ensilaje de pradera en vacas de cría menos eficientes (alto RFI). A su vez, Brown et al. (2022) determinaron que la tasa de consumo es mayor en vacas lecheras de alto RFI alimentadas con dietas totalmente mezcladas. Varios trabajos que evalúan animales con distintos RFI en pastoreo reportan menores consumos de MS de forraje en vacas, vaquillonas y toros de razas carníceras de bajo vs. alto RFI (Manafazar et al., 2015; Trujillo et al. 2013; Wiley et al., 2016). Sin embargo, otros reportes (Lawrence et al., 2012, 2013; Oliveira et al., 2016) no encontraron diferencias en el consumo de MS en animales con RFI diferentes, cuando fueron evaluados en pastoreo.

Sin embargo, contrario a lo esperado en acuerdo con los resultados reportados de RFI, la RHP no se correlacionó con ninguna otra de las variables relacionadas con el comportamiento de pastoreo. Baldwin et al. (1980) definen que la producción de calor de los animales se compone del incremento calórico, que representa precisamente el aumento en la producción de calor asociado al consumo de alimento, explicado por los procesos de fermentación, digestión, metabolismo y excreción de los nutrientes, y de la energía de mantenimiento que incluye el gasto energético asociado a la actividad de búsqueda de alimento y caminata que acompaña al consumo de forraje. Por lo que, en contraste con los resultados del presente trabajo, sería esperable que cambios en el comportamiento de pastoreo que impacten sobre el consumo de MS y el gasto energético de mantenimiento afecten la eficiencia individual (RHP). De hecho, evaluando la relación entre la eficiencia alimenticia individual, medida como RFI, con el comportamiento de animales en confinamiento, Kenny et al. (2018) reportan que aquellos de alto RFI (menos eficientes) dedicaron un 12% más de tiempo a la actividad de consumo, y Fitzsimons et al. (2014) sostienen que vacas de carne preñadas menos eficientes (alto RFI) dedican más tiempo a la actividad de consumo de ensilaje de gramíneas. Sin embargo, Lawrence et al. (2012, 2013) no encontraron patrones consistentes en el comportamiento de pastoreo entre vaquillonas o vacas de carne en lactación divergentes en su RFI. Cantalapiedra-Híjar et al. (2018) concluyen en su revisión sobre RFI y comportamiento ingestivo, que a pesar de que estas diferencias de comportamiento en los animales explican en parte las variaciones en el RFI en animales en confinamiento, los trabajos sobre la contribución relativa del comportamiento en la variación del RFI en animales en pastoreo son inconsistentes, lo que principalmente se puede adjudicar a las dificultades de la estimación del consumo de forraje en sistemas pastoriles (Lawrence et al., 2012).

Por otra parte, en el presente trabajo tampoco se encontraron correlaciones entre el comportamiento postural y la RHP individual. En contraste, Lawrence et al. (2012) reportaron que, cuando estuvieron en pastoreo, vaquillonas de bajo RFI pasaron una menor proporción del tiempo paradas y mayor proporción echadas que vaquillonas de alto RFI. A su vez, resultados en ovejas (Almasi et al., 2023) y vacas lecheras (Nascimento et al., 2024), reportan un mayor tiempo ocioso y de descanso echado en animales más eficientes (bajo RFI). Sin embargo, es importante destacar que, en nuestro

conocimiento, este es el primer trabajo que intenta asociar la eficiencia individual, medida como RHP, con variables de comportamiento. El número de animales evaluados así como el tiempo de duración de la determinación de RHP puede haber limitado los resultados. En este sentido, en el presente trabajo la RHP fue determinada para un período de corta duración en comparación con otras investigaciones que midieron RHP (11 vs. 70 días, en este trabajo vs. Marín et al., 2024) o RFI (70 a 91 días de período de medición; Lawrence et al., 2012; Oliveira et al., 2016; Wiley et al., 2016) como indicadores de eficiencia alimenticia individual. Particularmente, Oss et al. (2016) reportan que utilizando períodos de 3 días de medición de HR por animal, mientras que la técnica HR-O2P tiene una elevada exactitud (0,97), su precisión es moderada (0,52). Por tanto, la técnica es de gran utilidad en la medición de RHP para grupos de animales (si el *n* es adecuado), pero tiene ciertas limitaciones en la estimación de la eficiencia individual, para lo que se propone un aumento del tiempo de evaluación.

6. CONCLUSIÓN

El comportamiento postural y de pastoreo de las vaquillonas en el verano mostró claros patrones a lo largo del día, que evidencian el ritmo circadiano que comanda el comportamiento animal con efectos tanto de la presencia de árboles (Control vs. 2F y 4F) como del ITH (estrés calórico), sin grandes diferencias entre las distintas densidades de plantación (2F vs. 4F). El tiempo de descanso + rumia echadas (min/d) fue mayor para las vaquillonas en SSP, y en las vaquillonas Control existió una preferencia a estar de pie. A pesar de que el tiempo dedicado al pastoreo no fue diferente entre tratamientos, disminuyó con aumentos del ITH y a su vez las vaquillonas Control presentaron una mayor tasa de ingestión de forraje (g MS/min) así como un mayor tiempo de pastoreo en horas del mediodía y de la noche. Por otra parte, las vaquillonas más eficientes, de baja RHP, presentaron menores tasas de consumo de forraje, pero, contrario a lo esperado, la eficiencia alimenticia individual, no se correlacionó con ninguna otra variable del comportamiento de pastoreo o postural. Estos resultados sugieren una mejora en el bienestar animal y un menor impacto del estrés calórico en SSP.

7. BIBLIOGRAFÍA

Albright, J. L. (1993). Feeding behaviour of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 76(2), 485-498. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(93\)77369-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(93)77369-5)

Allden, A. G., & McDWhittaker, I. A. (1970). The determinants of herbage intake by grazing sheep: The interrelationship of factors influencing herbage intake and availability. *Australian Journal of Agricultural Research*, 21(5), 755-766.

Almasi, F., Stear, M. J., Khansefid, M., Nguyen, H., Desai, A., & Pryce, J. E. (2023). The repeatability and heritability of traits derived from accelerometer sensors associated with grazing and rumination time in an extensive sheep farming system. *Frontiers in Animal Science*, 4, Artículo e1154797. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1154797>

Amaya García, E. J., & Rivas de los Santos, N. E. (2012). *Recria de terneras Hereford en silvopastoreo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/9762>

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(12), 3415-3420. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-611>

Archer, J., Richardson, E., Herd, R., & Arthur, P. (1999). Potential for selection to improve efficiency of feed use in beef cattle: A review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(2), 147-162. <https://doi.org/10.1071/A98075>

Baldissera, T. C., Pontes, L. da S., Barro, R. S., Giostri, A. F., Guera, K. C. S., Michetti, M., da Silva, V. P., & Carvalho, P. C. de F. (2014). Phyllochron and leaf lifespan of four C4 forage grasses cultivated in association with trees. *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 2(1), 12-14. [https://doi.org/10.17138/TGFT\(2\)12-14](https://doi.org/10.17138/TGFT(2)12-14)

Baldwin, B. R., Forsberg, N. E., & Hu, C. Y. (1985). Potential for altering partition in the lactating cows. *Journal of Dairy Science*, 68(12), 3394-3402. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)81252-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)81252-2)

Baldwin, R. L., Smith, N. E., Taylor, J., & Sharp, M. (1980). Manipulating metabolic parameters to improve growth rate and milk secretion. *Journal of Animal Science*, 51(6), 1416-1428. <https://doi.org/10.2527/jas1981.5161416x>

Ball, A. J., & Thompson, J. M. (1995). The effect of selection for differences in ultrasonic back fat depth on the feed utilisation for maintenance and biological efficiency in sheep. *Proceedings of the Australian Association of Animal Breeding and Genetics*, 11, 403-407. <https://www.aaabg.org/livestocklibrary/1995/ab95082.pdf>

Barragán, W. A., Mahecha, L., Moreno, J., & Cajas, Y. S. (2017). Comportamiento ingestivo diurno y estrés calórico de vacas bajo sistemas silvopastoriles y pradera sin árboles. *Livestock Research for Rural Development*, 29(12), Artículo e234. <http://www.lrrd.org/lrrd29/12/wils29234.html>

Barragán-Hernández, W. A., Mahecha-Ledesma, L., & Cajas-Jirón, Y. S. (2015). Variables fisiológicas-metabólicas de estrés calórico en vacas bajo silvopastoreo y pradera sin árboles. *Agronomía Mesoamericana*, 26(2), 211-223. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v26i2.19277>

Basarab, J. A., Price, M. A., Aalhus, J. L., Okine, E. K., Snelling, W. M., & Lyle, K. L. (2003). Residual feed intake and body composition in young growing cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 83(2), 189-204. <https://doi.org/10.4141/A02-065>

Beatty, D. T., Barnes, A., Taylor, E., Pethick, D., McCarthy, M., & Maloney, S. K. (2006). Physiological responses of Bos taurus and Bos indicus cattle to prolonged continuous heat and humidity. *Journal of Animal Science*, 84(4), 972-985. <https://doi.org/10.2527/2006.844972x>

Benvenutti, M. A., Gordon, I. J., & Poppi, D. P. (2006). The effect of the density and physical properties of grass stems on the foraging behaviour and instantaneous intake rate by cattle grazing an artificial reproductive tropical sward. *Grass and Forage Science*, 61(3), 272-281. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2006.00531.x>

Beretta V., Simeone A., & Bentancur O. (2013). Manejo de la sombra asociado a la restricción del pastoreo: Efecto sobre el comportamiento y performance estival de vacunos. *Agrociencia (Uruguay)*, 17(1), 131-140. <https://doi.org/10.31285/AGRO.17.527>

Berman, A. (2006). Extending the potential of evaporative cooling for heat-stress relief. *Journal of Dairy Science*, 89(10), 3817-3825. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(06\)72423-7/fulltext](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(06)72423-7/fulltext)

Berry, D. P., & Crowley, J. J. (2013). Cell Biology Symposium: Genetics of feed efficiency in dairy and beef cattle. *Journal of Animal Science*, 91(4), 1594-1613. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5862>

Blackshaw, J. K., & Blackshaw, A. W. (1994). Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34(2), 285-295. <https://scispace.com/papers/heat-stress-in-cattle-and-the-effect-of-shade-on-production-1n4io9riio>

Blomberg, K. (2011). *Automatic registration of dairy cows grazing behaviour on pasture* [Tesis de maestría, Swedish University of Agricultural Sciences]. Epsilon Archive for Student Projects. <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:slu:epsilon-6-404>

Boscana Goires, M. R., & Varela Casadey, E. F. (2011). *Factores que influyen en la incorporación del rubro forestal en predios agropecuarios de los departamentos de Florida, Flores y Durazno* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/9714>

Brosh, A. (2007). Heart rate measurements as an index of energy expenditure and energy balance in ruminants: A review. *Journal of Animal Science*, 85(5), 1213-1227. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-298>

Brown, W. E., Cavani, L., Peñagaricano, F., Weigel, K. A., & White, H. M. (2022). Feeding behaviour parameters and temporal patterns in mid-lactation Holstein cows across a range of residual feed intake values. *Journal of Dairy Science*, 105(10), 8130-8142. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22093>

Brown-Brandl, T. M., Eigenberg, R. A., Nienaber, J. A., & Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle: Part 1: Analyses of indicators. *Biosystems Engineering*, 90(4), 451-462. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.12.006>

Bussoni Guitart, A., Alvarez, J., Cubbage, F., Ferreira, G., & Picasso, V. (2019). Diverse strategies for integration of forestry and livestock production. *Agroforestry Systems*, 93, 333-344. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0092-7>

Cabrera Leal, M., Duarte Ortega, M., Gutiérrez Arias, M. M., & Lozano Picón, R. (Coords.). (2010). *2ª Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. IDEAM. <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Segunda%20comunicacion%20nacional%20Espanol%20Colombia.pdf>

Cantalapiedra-Híjar, G., Abo-Ismail, M. K., Carstens, G. E., Guan, L. L., Hegarty, R. S., Kenny, D. A., McGee, M., Plastow, G. S., Relling, A. E., & Ortigues-Marty, I. (2018). Review: Biological determinants of between-animal variation in feed efficiency of growing beef cattle. *Animal*, 12(Suppl. 2), s321-s335. <https://doi.org/10.1017/S1751731118001489>

Carvalho, P. C. F., da Trindade, J. K., da Silva, S. C., Bremm, C., Mezzalira, J. C., Nabinger, C., Amaral, M. F., Carassai, I. J., Martins, R. S., Genro, T. C. M., Gonçalves, E. N., Amaral, G. A., Gonda, H. L., Poli, C. H. E. C., & dos Santos, D. T. (2009). Consumo de forragem por animais em pastejo: Analogias e simulações em pastoreio rotativo. En S. C. da Silva, C. G. S. Pedreira, J. C. de Moura, & V. P. de Faria (Eds.), *Simpósio sobre manejo de pastagem: Intensificação de sistemas de produção animal em pasto: Anais* (pp. 61-93). FEALQ.

Ciavarella, T. A., Dove, H., Leury, B. J., & Simpson, R. J. (2000). Diet selection by sheep grazing *Phalaris aquatica* L. pastures of differing water-soluble carbohydrate content. *Australian Journal of Agricultural Research*, 51(6), 757-764.

Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation. (2007). *Nutrient requirements of domesticated ruminants*. <https://www.rexresearch1.com/CattleLibrary/NutrientRequirementsDomesticatedRuminants.pdf>

Costa, M., González, J., & Martínez, V. (2023). *Modelado cuantitativo para sistemas silvopastoriles* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/39112>

Cuartas Cardona, C. A., Naranjo Ramírez, J., Tarazona Morales, A., & Barahona Rosales, R. (2013). Uso de la energía en bovinos pastoreando sistemas silvopastoriles intensivos con Leucaena leucocephala y su relación con el desempeño animal. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8(1), 70-81.

Cubbage, F., Balmelli, G., Bussoni, A., Noellemyer, E., Pachas, A. N., Fassola, H., Colcombet, L., Rossner, B., Frey, G., Dube, F., De Silva, M. L., Stevenson, H., Hamilton, J., & Hubbard, W. (2012). Comparing silvopastoral systems and prospects in eight regions of the world. *Agroforestry Systems*, 86, 303-314. <https://doi.org/10.1007/s10457-012-9482-z>

Da Silva, S. C., & Carvalho, P. C. F. (2005). Foraging behaviour and herbage intake in the favourable tropics/sub-tropics. En D. A. McGilloway (Ed.), *Grassland: A global resource* (pp. 81-95). Wageningen Academic Publishers.

Damasceno, J. C., Baccari Júnior, F., & Targa, L. A. (1999). Respostas comportamentais de vacas holandesas, com acesso à sombra constante ou limitada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(4), 709-715.

Davies, P., Méndez, D., & Pighin, D. (2013). Efecto de la disponibilidad de sombra en verano sobre la ganancia de peso de novillos en engorde a corral en el noroeste bonaerense. En A. Pordomingo (Ed.), *Avances en calidad de carne de ovinos, caprinos, porcinos y aves: Avances en bienestar animal: Implicancias de la alimentación, la genética y el manejo* (pp. 158-161). INTA.

De Passillé, A. M., Jensen, M. B., Chapinal, N., & Rushen, J. (2010). Technical note: Use of accelerometers to describe gait patterns in dairy calves. *Journal of Dairy Science*, 93(7), 3287-3293.

De Souza, W., Barbosa, O. R., Marques, J. A., Gasparino, E., Cecato, U., & Barbero, L. M. (2010). Behavior of beef cattle in silvopastoral systems with eucalyptus. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39(3), 677-684. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010000300029>

DiCostanzo, A., Meiske, J. C., Plegge, S. D., Peters, T. M., & Goodrich, R. D. (1990). Within-herd variation in energy utilization for maintenance and gain in beef cows. *Journal of Animal Science*, 68(7), 2156-2165. <https://doi.org/10.2527/1990.6872156x>

Dong, R., Ferris, C. P., McDowell, D. A., & Yan, T. (2015). Effects of diet forage proportion on maintenance energy requirement and the efficiency of metabolizable energy use for lactation by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(12), 8846-8855.

Dong, R., Yan, T., Ferris, C. P., & McDowell, D. A. (2015). Comparison of maintenance energy requirement and energetic efficiency between lactating Holstein-Friesian and other groups of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 98(2), 1136-1144. <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8629>

Eckhardt, R., Arablouei, R., McCosker, K., Bishop-Hurley, G., Bagnall, N., Hayes, B., Reverter, A., Ingham, A. & Bernhardt, H. (2025). Insights into thermal stress effects on performance and behavior of grazing cattle via multimodal sensor monitoring. *Scientific Reports*, 15, Artículo e27941. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-13264-0>

Fedrigo, J. K., Benítez, V., de Souza, M., Morales, V., Piñeyro, P., Viana, V., Blumetto, O., Cancela, H., Bertoncelli, P., Laufer, G., González-Barrios, P., Siri, P., Báez, F., García, L., Ciganda, V., Pravia, V., & Viñoles, C. (2024). Understanding the changes induced by the incorporation of trees in low densities into livestock systems: Relevance of a long-term interdisciplinary experimental platform. *Agroforestry Systems*, 98, 2337-2352. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01065-9>

Fedrigo, J. K., Benítez, V., Santa Cruz, R., Posse, J. P., Barro, R. S., Hernández, J., Mantero, C., Morales Olmos, V., Silveira, E. D., & Viñoles, C. (2018). Oportunidades y desafíos para los sistemas silvopastoriles en Uruguay. *Veterinaria (Montevideo)*, 54(209), 20-30.

Fedrigo, J. K., Santa Cruz, R., Benítez, V., Courdin, V., Ferreira, G., Posse, J., & Viñoles, C. (2017). Forraje, temperatura y producción animal en un sistema silvopastoril en Uruguay. En J. Chará, P. Peri, J. E. Rivera, E. Murguetitio, K. Castaño (Eds.), *IX Congreso Internacional de Sistemas Silvopastoriles: Aportes a los Objetivos de Desarrollo Sostenible* (pp. 130-135). CIPAV.

Fedrigo, J. K., Santa Cruz, R., Benítez, V., Courdin, V., Ferreira, G., Posse, J. P., & Viñoles, C. (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>

Feldhake, C. M., & Belesky, D. P. (2009). Photosynthetically active radiation use efficiency of *Dactylis glomerata* and *Schedonorus phoenix* along a hardwood tree-induced light gradient. *Agroforestry Systems*, 75(2), 189-196. <https://doi.org/10.1007/s10457-008-9175-9>

Ferreira, F., Pires, M. F. A., Martinez, M. L., Coelho, S. G., Carvalho, A. U., Ferreira, P. M., Facury Filho, E. J., & Campos, W. E. (2006). Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 58(5), 732-738. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352006000500005>

Ferreira, L. C. B. (2010). *Respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos submetidos a diferentes ofertas de sombra* [Tesis de maestría, Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional da UFSC. <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/94704>

Ferrell, C. L., & Jenkins, T. G. (1985). Cow type and the nutritional environment: Nutritional aspects. *Journal of Animal Science*, 61(3), 725-741. <https://doi.org/10.2527/jas1985.613725x>

Fitzsimons, C., Kenny, D. A., Fahey, A. G., & McGee, M. (2014). Feeding behavior, rumen fermentation variables and body composition traits of pregnant beef cows differing in phenotypic residual feed intake offered grass silage. *Journal of Animal Science*, 92(5), 2170-2181. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-7438>

Fitzsimons, C., McGee, M., Keogh, K., Waters, S. M., & Kenny, D. A. (2017). Molecular physiology of feed efficiency in beef cattle. En C. G. Scanes & R. A. Hill (Eds.), *Biology of domestic animals* (pp. 120-163). Wiley.

Fonseca, L., Mezzalira, J. C., Bremm, C., Filho, R. S. A., Gonda, H. L., & Carvalho, P. C. de F. (2012). Management targets for maximising the short-term herbage intake rate of cattle grazing in Sorghum bicolor. *Livestock Science*, 145(1-3), 205-211. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.02.003>

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2010). *An international consultation on integrated crop-livestock systems for development: The way forward for sustainable production intensification*. <https://www.fao.org/4/i2160e/i2160e00.pdf>

Fraser, A. F. (1983). The behaviour of maintenance and the intensive husbandry of cattle, sheep and pigs. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 9(1), 1-23. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(83\)90002-6](https://doi.org/10.1016/0167-8809(83)90002-6)

Frazzi, E., Calamari, L., Calegari, F., & Stefanini, L. (2000). Behavior of dairy cows in response to different barn cooling systems. *Transactions of the ASAE*, 43(2), 387-394.

Freiría, G. (2024). Comercio exterior. En P. Couto, G. Freiría., & D. Martín (Coord.), *Anuario estadístico agropecuario 2024* (pp. 225-274). DIEA. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/diea/anuario2024>

García Cruz, F. J. (2010). *Efecto de la cobertura arbórea en potreros y el estado de lactancia, sobre el comportamiento diurno de ganado doble propósito manejado bajo pastoreo en el trópico sub-húmedo* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. Repositorio de Conocimiento Institucional del CATIE. https://www.researchgate.net/publication/235685498_Efecto_de_la_cobertura_arborea_en_potreros_y_el_estado_de_lactancia_sobre_el_comportamiento_diurno_de_ganado_doble_proposito_manejado_bajo_pastoreo_en_el_tropico_sub-humedo

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* [Disertación doctoral, Universidade de São Paulo]. Biblioteca Digital USP. <https://doi.org/10.11606/T.11.2016.tde-10112016-164332>

Gibb, M. J. (1998). Animal grazing/intake terminology and definitions. En M. G. Keane & E. O'Riordan (Eds.). *Proceedings of a Workshop held in Dublin on September 24-25, 1996: Pasture ecology and animal intake* (pp. 21-37).

Gibb, M. J., Huckle, C. A., & Nuthall, R. (1998). Effect of time of day on grazing behaviour by lactating dairy cows. *Grass and Forage Science*, 53(1), 41-46. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2494.1998.00102.x>

Goncherenko, G. A., Báez, F., Fedrigo, J. K., Santa Cruz, R., Claramunt, M., Mercadante, V. R. G., & Viñoles, C. (2024). Silvopastoral systems as a strategy to attenuate the negative effects of heat stress on productivity of beef cows grazing natural grassland. *Agroforestry Systems*, 98, 1995-2011. <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01081-9>

Google Earth. (2025). [Plataforma de investigación de Polo Agroforestal, Cerro Largo, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 3 de setiembre de 2025, de https://earth.google.com/earth/d/1Cig4v5LI_5AxOMXogvxPLWazSTDhBkHt?usp=sharing

Grantz, D. A. (1990). Plant response to atmospheric humidity. *Plant, Cell & Environment*, 13(7), 667-679. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01082.x>

Gregorini, P., Tamminga, S., & Gunter, S. A. (2006). Behavior and daily grazing patterns of cattle. *The Professional Animal Scientist* 22(3), 201-209. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)31095-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)31095-0)

Hansen, P. J. (2004). Physiological and cellular adaptations of zebu cattle to thermal stress. *Animal Reproduction Science*, 82-83, 349-360. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2004.04.011>

Hislop, A. M., & Claridge, J. N. (Eds.). (2000). *Agroforestry in the UK*. Forestry Commission. <https://cdn.forestryresearch.gov.uk/2000/03/fcbu122.pdf>

Horwitz, W., & Latimer, G. W. (Eds.). (2007). *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed.). AOAC International.

Huertas, S. M., Bobadilla, P. E., Alcántara, I., Akkermans, E., & van Eerdenburg, F. J. C. M. (2021). Benefits of silvopastoral systems for keeping beef cattle. *Animals*, 11(4), Artículo e992. <https://doi.org/10.3390/ani11040992>

Johnson, D. E., Johnson, K. A., & Baldwin, R. L. (1990). Changes in liver and gastrointestinal tract energy demands in response to physiological workload in ruminants. *The Journal of Nutrition*, 120(6), 649-655. <https://doi.org/10.1093/jn/120.6.649>

Jose, S., Walter, D., & Kumar, B. M. (2019). Ecological considerations in sustainable silvopasture design and management. *Agroforestry Systems*, 93, 317-331. <https://doi.org/10.1007/s10457-016-0065-2>

Karki, U., & Goodman, M. S. (2009). Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. *Agroforestry Systems*, 78, 159-168. <https://doi.org/10.1007/s10457-009-9250-x>

Kenny, D. A., Fitzsimons, C., Waters, S. M., & McGee, M. (2018). Invited review: Improving feed efficiency of beef cattle: The current state of the art and future challenges. *Animal*, 12(9), 1815-1826.
<https://doi.org/10.1017/S1751731118000976>

Kilgour, R. J. (2012). In pursuit of “normal”: A review of the behaviour of cattle at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, 138(1-2), 1-11.
<https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.12.002>

Kirkland, R. M., Yan, T., Agnew, R. E., & Gordon, F. J. (2002). Efficiency of use of body tissue energy for milk production in lactating dairy cows. *Livestock Production Science*, 73(2-3), 131-138. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(01\)00259-7](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(01)00259-7)

Lawrence, P., Kenny, D. A., Earley, B., & McGee, M. (2012). Grazed grass herbage intake and performance of beef heifers with predetermined phenotypic residual feed intake classification. *Animal*, 6(10), 1648-1661.
<https://doi.org/10.1017/S1751731112000559>

Lawrence, P., Kenny, D. A., Earley, B., & McGee, M. (2013). Intake of conserved and grazed grass and performance traits in beef suckler cows differing in phenotypic residual feed intake. *Livestock Science*, 152(2-3), 154-166.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2012.12.024>

Ledgerwood, D. N., Winckler, C., & Tucker, C. B. (2010). Evaluation of data loggers, sampling intervals, and editing techniques for measuring the lying behavior of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93(11), 5129-5139.
<https://doi.org/10.3168/jds.2009-2945>

Leme, T. M. S. P., Pires, M. F. Á., Verneque, R. S., Alvim, M. J., & Aroeira, L. J. M. (2005). Comportamento de vacas mestiças Holandês × Zebu em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. *Ciência e Agrotecnologia*, 29(3), 668-675. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/595009>

Lin, C. H., McGraw, R. L., George, M. F., & Garrett, H. E. (2001). Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. *Agroforestry Systems*, 53(3), 269-281.
<https://doi.org/10.1023/A:1013323409839>

Llanos, P. N., Gonzalez, C. M., Fedrigo, J. K., Benitez, V., & Viñoles, C. (2025). Early-stage Eucalyptus-based silvopastures improve thermal comfort conditions for cattle grazing native grasslands during summer. *Agroforestry Systems*, 99, Artículo e255. <https://doi.org/10.1007/s10457-025-01347-w>

Lofgreen, G. P., Meyer, J. H., & Hull, J. L. (1957). Behavior patterns of sheep and cattle being fed pasture or soilage. *Journal of Animal Science*, 16(4), 773-780.
<https://doi.org/10.2527/jas1957.164773x>

Mader, T. L., Davis, M. S., & Gaughan, J. B. (2007). Effect of sprinkling on feedlot microclimate and cattle behavior. *International Journal of Biometeorology*, 51(6), 541-551. <https://doi.org/10.1007/s00484-007-0093-8>

Manafazar, G., Basarab, J. A., Baron, V. S., McKeown, L., Doce, R. R., Swift, M., Undi, M., Wittenberg, K., & Ominski, K. (2015). Effect of post-weaning residual feed intake classification on grazed grass intake and performance in pregnant beef heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, 95(3), 369-381. <https://doi.org/10.4141/cjas-2014-184>

Marín, M. (2023). *Evaluación de la eficiencia de uso de la energía de vaquillonas Hereford en pastoreo* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/36989>

Marín, M. F., Naya, H., Espasandín, A. C., Navajas, E., Devincenzi, T., & Carriquiry, M. (2024). Energy efficiency of grazing Hereford heifers classified by paternal residual feed intake. *Translational Animal Science*, 8, Artículo etxae005. <https://doi.org/10.1093/tas/txae005>

Martiskainen, P., Järvinen, M., Skön, J. P., Tiirkainen, J., Kolehmainen, M., & Mononen, J. (2009). Cow behaviour pattern recognition using a three-dimensional accelerometer and support vector machines. *Applied Animal Behaviour Science*, 119(1-2), 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.03.005>

Martuscello, J. A., Jank, L., Gontijo Neto, M. M., Laura, V. A., & da Cunha, D. de N. F. V. (2009). Produção de gramíneas do gênero Brachiaria sob níveis de sombreamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38(7), 1183-1190. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700004>

McCleery, R. H. (1977). On satiation curves. *Animal Behaviour*, 25, 1005-1015.

Meehan, D. J., Cabrita, A. R. J., Maia, M. R. G., & Fonseca, A. J. M. (2021). Energy: Protein ratio in ruminants: Insights from the intragastric infusion technique. *Animals*, 11(9), Artículo e2700. <https://doi.org/10.3390/ani11092700>

Mellado, M., Sepúlveda, E., Mesa-Herrera, C., Veliz, F. G., Arevalo, J. R., Mellado, J., & De Santiago, A. (2013). Effects of heat stress on reproductive efficiency of high yielding Holstein cows in a hot-arid environment. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26(3), 193-200. <https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324829>

Menezes, A. C. B., Valadares Filho, S. C., Benedeti, P. D. B., Zanetti, D., Paulino, M. F., Silva, F. F., & Caton, J. S. (2020). Feeding behavior, water intake, and energy and protein requirements of young Nellore bulls with different residual feed intakes. *Journal of Animal Science*, 98(9), Artículo eskaa279. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa279>

Moe, P. W., Tyrrell, H. F., & Flatt, W. P. (1971). Energetics of body tissue mobilization. *Journal of Dairy Science*, 54(4), 548-553. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(71\)85886-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(71)85886-1)

Moreau, M., Siebert, S., Buerkert, A., & Schlecht, E. (2009). Use of a tri-axial accelerometer for automated recording and classification of goats' grazing behaviour. *Applied Animal Behaviour Science*, 119(3-4), 158-170. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.04.008>

Muller, C. J. C., Botha, J. A., & Smith, W. A. (1994). Effect of shade on various parameters of Friesian cows in Mediterranean climate in South Africa: 3. Behaviour. *South African Journal of Animal Science*, 24(2), 61-66. <https://www.sasas.co.za/journals/effect-of-shade-on-various-parameters-of-friesian-cows-in-a-mediterranean-climate-in-south-africa-3-behaviour/>

Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S., & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.02.011>

Nascimento, B. M., Cavani, L., Caputo, M. J., Marinho, M. N., Borchers, M. R., Wallace, R. L., Santos, J. E. P., White, H. M., Peñagaricano, F., & Weigel, K. A. (2024). Genetic relationships between behavioral traits and feed efficiency traits in lactating Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 107(10), 8141-8149. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-24526>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2016). *Nutrient Requirements of Beef Cattle* (8th ed.). National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/19014>

Newman, J. A., Parsons, A. J., Thornley, J. H. M., Penning, P. D., & Krebs, J. R. (1995). Optimal diet selection by a generalist grazing herbivore. *Functional Ecology*, 9(2), 255-268. <https://doi.org/10.2307/2390572>

Nielsen, M. K., MacNeil, M. D., Dekkers, J. C. M., Crews, D. H., Rathje, T. A., Enns, R. M., & Weaber, R. L. (2013). Life-cycle, total-industry genetic improvement of feed efficiency in beef cattle: Blueprint for the Beef Improvement Federation. *Professional Animal Science*, 29(6), 559-565. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30285-0](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30285-0)

Nielsen, P. P. (2013). Automatic registration of grazing behaviour in dairy cows using 3D activity loggers. *Applied Animal Behaviour Science*, 148(3-4), 179-184. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2013.09.001>

Noblet, J., Karege, C., Dubois, S., & van Milgen, J. (1999). Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: Effect of sex and genotype. *Journal of Animal Science*, 77(5), 1208-1216. <https://doi.org/10.2527/1999.7751208x>

O'Driscoll, K., O'Brien, B., Gleeson, D., & Boyle, L. (2010). Milking frequency and nutritional level affect grazing behaviour of dairy cows: A case study. *Applied Animal Behaviour Science*, 122(2-4), 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2009.11.014>

Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2014). *Anuario estadístico agropecuario 2014*. MGAP.

Oficina de Programación y Política Agropecuaria. (2015). *Anuario OPYPA 2015*. MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2015>

Oliveira, L. F., Ruggieri, A. C., Branco, R. H., Cota, O., Canesin, R. C., Costa, H. J. U., & Mercadante, M. E. Z. (2016). Feed efficiency and enteric methane production of Nellore cattle in the feedlot and on pasture. *Animal Production Science*, 58(5), 886-893. <https://doi.org/10.1071/AN16303>

Oss, D. B., Marcondes, M. I., Machado, F. S., Tomich, T. R., Chizzotti, M. L., Campos, M. M., & Pereira, L. G. R. (2016). Technical note: Assessment of the oxygen pulse and heart rate method using respiration chambers and comparative slaughter for measuring heat production of cattle. *Journal of Dairy Science*, 99(11), 8885-8890. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11157>

Paciullo, D. S. C., Campos, N. R., Gomide, C. A. M., de Castro, C. R. T., Tavela, R. C., & Rossiello, R. O. P. (2008). Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 43(7), 917-923. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2008000700017>

Paciullo, D. S. C., Carvalho, C. A. B., Aroeira, L. J. M., Morenz, N. J. F., Lopes, F. C. F., & Rossiello, R. O. P. (2007). Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(4), 573-579. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>

Paciullo, D. S. C., de Castro, C. R. T., Gomide, C. A. M., Maurício, R. M., Pires, M. F. Á., Müller, M. D., & Xavier, D. F. (2011). Performance of dairy heifers in a silvopastoral system. *Livestock Science*, 141(2-3), 166-172. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.012>

Pastorini, V., & Acosta, P. (2011). Aportes del Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca para la integración de la forestación en predios ganaderos. En *Anuario OPYPA 2011* (pp. 283-297). MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/aportes_del_mgap_para_la_integracion_de_la_forestacion_en_predios_ganaderos_2.pdf

Peri, P. L., Dube, F., & Varella, A. C. (2016). Silvopastoral systems in the subtropical and temperate zones of South America: An overview. En P. L. Peri, F. Dube, & A. C. Varella (Eds.), *Silvopastoral systems in Southern South America* (pp. 1-8). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24109-8>

Pezo, D., & Ibrahim, M. (1999). *Sistemas silvopastoriles* (2^a ed.). CATIE.

Pezzopane, J. R. M., Bosi, C., Nicodemo, M. L. F., Santos, P. M., da Cruz, P. G., & Parmejiani, R. S. (2015). Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia*, 74(1), 110-119.
<https://www.scielo.br/j/brag/a/nSgdtY6z738TGnJmpzZx9DC/?format=pdf&language=en>

Phillips, C. (2002). *Cattle behaviour and welfare* (2nd ed.). Blackwell Science.

Pires, M. F. A., & Paciullo, D. S. (2015). Bem-estar animal em sistemas integrados. En F. V. Alves, V. A. Laura, & R. G. Almeida (Eds.), *Sistemas agroflorestais: A pecuária sustentável* (pp. 117-133). EMBRAPA.
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1029183>

Quesada, F., Somarriba, E., & Malek, M. (2010). *ShadeMotion 2.2: La simulación de árboles en terrenos planos horizontales o inclinados*. CATIE.

Rayas-Amor, A. A., Morales-Almaráz, E., Licona-Velázquez, G., Vieyra-Alberto, R., García-Martínez, A., Martínez-García, C. G., Cruz-Monterrosa, R. G., & Miranda-de la Lama, G. C. (2017). Triaxial accelerometers for recording grazing and ruminating time in dairy cows: An alternative to visual observations. *Journal of Veterinary Behavior*, 20, 102-108.
<https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.04.003>

Rhoads, M. L., Rhoads, R. P., VanBaale, M. J., Collier, R. J., Sanders, S. R., Weber, W. J., Crooker, B. A., & Baumgard, L. H. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows: I. Production, metabolism, and aspects of circulating somatotropin. *Journal of Dairy Science*, 92(5), 1986-1997.
<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1641>

Richardson, E. C., & Herd, R. M. (2004). Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle: 2. Synthesis of results following divergent selection. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(5), 431-440.
<https://connectsci.au.an/article-abstract/44/5/431/135397/Biological-basis-for-variation-in-residual-feed>

Rook, A. J., Huckle, C. A., & Penning, P. D. (1994). Effect of sward height and concentrate supplementation on the ingestive behaviour of spring-calving dairy cows grazing grass-clover swards. *Applied Animal Behaviour Science*, 40(2), 101-112. [https://doi.org/10.1016/0168-1591\(94\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0168-1591(94)90075-2)

Rovira, P. (2012). Riesgo de estrés calórico en la región este del Uruguay. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Jornada Anual: Unidad Experimental Palo a Pique 2012* (pp. 23-28).
https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/Ad_695.pdf

Rovira, P. (2014). The effect of type of shade on physiology, behaviour and performance of grazing steers. *Animal*, 8(3), 470-476.
<https://doi.org/10.1017/S1751731113002413>

Ruckebusch, Y., & Bueno, L. (1978). An analysis of ingestive behaviour and activity of cattle under field conditions. *Applied Animal Ethology*, 4(4), 301-313. [https://doi.org/10.1016/0304-3762\(78\)90002-0](https://doi.org/10.1016/0304-3762(78)90002-0)

Sancho, L., Arocena, I., & Ordeig, L. (2021). *Definición, caracterización y cuantificación del área bajo sistemas silvopastoriles, para el seguimiento de las contribuciones establecidas en la Contribución Determinada a nivel Nacional de Uruguay*. MA, MGAP, GEF, PNUD. https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/noticias/informe_final.pdf

Saravia, C. G., & Cruz, G. (2003). *Influencia del ambiente atmosférico en la adaptación y producción animal*. Universidad de la República. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/33989>

Shrode, R. R., Quazi, F. R., Rupel, I. W., & Leighton R. E. (1960). Variation in rectal temperature, respiration rate, and pulse rate of cattle as related to variation in four environmental variables. *Journal of Dairy Science*, 43(9), 1235-1244.

Simeone, A., Beretta, V., Elizalde, J., & Caorsi, J. (2011). Cuantificando la importancia de la sombra en un corral de terneros destetados precozmente. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *13a Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Alimentación a corral en sistemas ganaderos: ¿Cuándo y cómo?* (pp. 14-20). UPIC.

Simeone, A., Beretta, V., Elizalde, J. C., Cortazzo, D., & Viera, G. (2010). La problemática del verano en la recría y engorde de ganado de carne en condiciones de pastoreo y de corral. En A. Simeone & V. Beretta (Eds.), *12a Jornada Anual de la Unidad de Producción Intensiva de Carne: Ganadería a pasto, feedlot e Industria Frigorífica: ¿Es posible una integración de tipo ganar-ganar en la cadena de la carne?* (pp. 56-63). UPIC.

Sollenberger, L. E., & Vanzant, E. S. (2011). Interrelationships among forage nutritive value and quantity and individual animal performance. *Crop Science*, 51(2), 420-432. <https://doi.org/10.2135/cropsci2010.07.0408>

Sotomayor, A., & Teuber, O. (2011). Evaluación del efecto de los árboles manejados bajo ordenación silvopastoral en los parámetros climáticos del sitio, en relación a un manejo ganadero sin árboles. *Ciencia e Investigación Forestal*, 17(1), 23-40. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2011.357>

Tafernaberry, A. I., Savian, J. V., Kessler, J. D., Ciappesoni, G., Jaurena, M., Fernández-Turren, G., & De Barbieri, I. (2024). Using faecal nitrogen as a marker to estimate intake and digestibility in sheep fed multi-species native forage. *Animal Feed Science and Technology*, 314, Artículo e115996. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2024.115996>

Thom, E. C. (1959). The Discomfort Index. *Weatherwise*, 12(2), 57-61.

Trénel, P., Jensen, M. B., Decker, E. L., & Skjøth, F. (2009). Technical note: Quantifying and characterizing behavior in dairy calves using the IceTag automatic recording device. *Journal of Dairy Science*, 92(7), 3397-3401. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2040>

Trujillo, A. I., Casal, A., Peñagaricano, F., Carriquiry, M., & Chilibroste, P. (2013). Association of SNP of neuropeptide Y, leptin, and IGF-1 genes with residual feed intake in confinement and under grazing condition in Angus cattle. *Journal of Animal Science*, 91(9), 4235-4244. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6254>

Van Soest, P. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2nd ed.). Cornell University Press.

Varella, A. C., Barro, R. S., da Silva, J. L. S., Porfirio-da-Silva, V., & da Saibro, J. C. (2016). Silvo-pastoral systems in the cold zone of Brazil. En P. Peri, F. Dube, & A. Varella (Eds.), *Silvopastoral systems in Southern South America* (pp. 231-255). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24109-8>

Viñoles, C., Jaurena, M., De Barbieri, I., Do Carmo, M., & Montossi, F. (2013). Effect of creep feeding and stocking rate on the productivity of beef cattle grazing grasslands. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 56(4), 279-287.

Wang, Z., Pote, J., & Huang, B. (2003). Responses of cytokinins, antioxidant enzymes, and lipid peroxidation in shoots of creeping bentgrass to high root-zone temperatures. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128(5), 648-655. <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.5.648>

West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 86(6), 2131-2144. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73803-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73803-X)

Wiley, L. M., Tedeschi, L. O., Forbes, T. D. A., & Rouquette, F. M. (2016). Relationships between restricted residual feed intake of Brahman bulls measured in confinement and under different stocking intensities on Coastal bermudagrass pastures. *Professional Animal Scientist*, 32(5), 605-618. <https://doi.org/10.15232/pas.2015-01476>

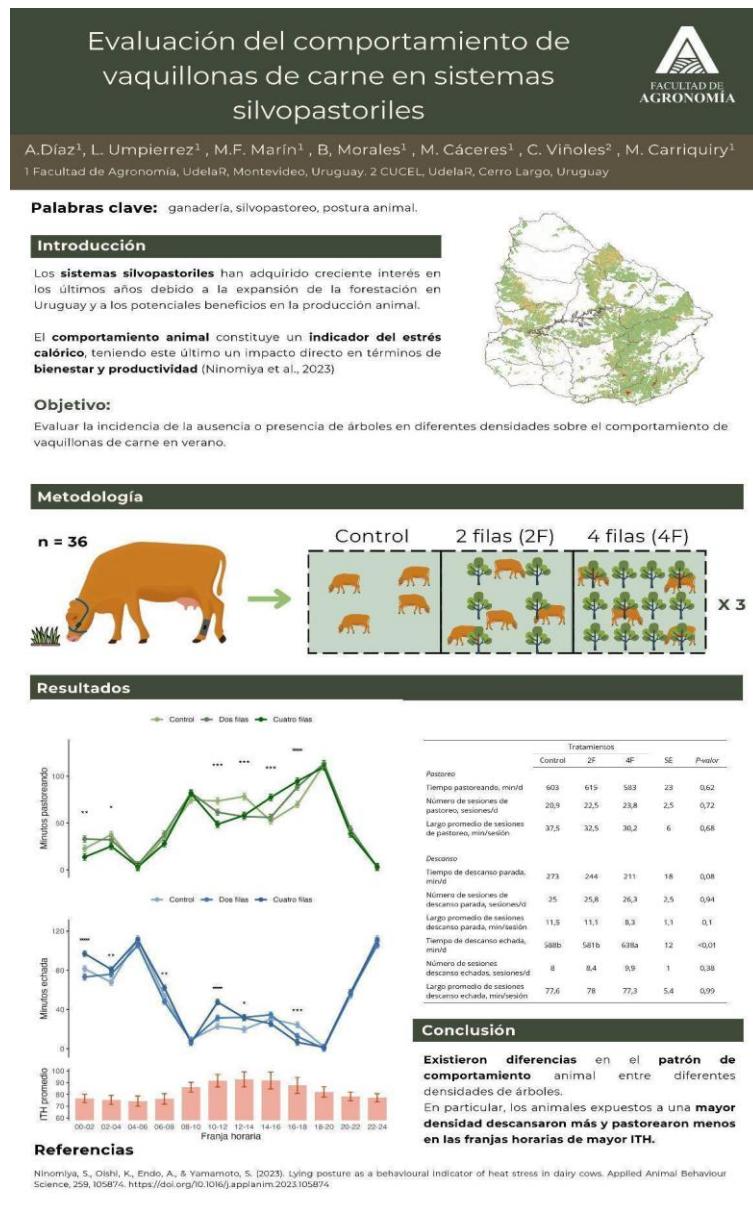
Wilm, E. H., Costello, D. F., & Klipple, G. E. (1944). Estimating forage yield by the double-sampling method. *Agronomy Journal*, 36(3), 194-203. <https://doi.org/10.2134/agronj1944.00021962003600030003x>

Yokoyama-Kano, J. S., Alzina-López, A., Farfán-Escalante, J. C., & Valencia-Heredia, E. R. (2004). Respuestas conductuales termorregulatorias de búsqueda de sombra en bovinos cruzados *Bos taurus* × *Bos indicus* criados en la zona costera y oriente del estado de Yucatán. *Revista Biomédica*, 15(1), 17-26. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v15i1.369>

8. ANEXO

Figura A1

E-póster presentado en la XXVIII Reunión ALPA – 8vo Congreso AUPA, Punta del Este.



Nota. Tomado de Díaz et al. (2025).

Bibliografía Anexo

Díaz, A., Umpiérrez, L., Marín, M. F., Morales, B., Cáceres, M., Viñoles, C., & Carriquiry, M. (2025, 22 de setiembre). *Evaluación del comportamiento de vaquillonas de carne en sistemas silvopastoriles* [Póster]. XXVIII Reunión ALPA, 8^{vo} Congreso AUPA, Punta del Este, Maldonado.