

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EFFECTO DE DIFERENTES ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN SOBRE
LAS VARIABLES BIOFÍSICAS, EN DOS SISTEMAS LECHEROS DE BASE
PASTORIL, CON CARGAS ANIMALES CONTRASTANTES, DURANTE EL
VERANO**

por

Milton PUERTO DA SILVA

Ximena BURGUEÑO NAVARRO

**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 **Atribución – No Comercial**”.



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director/a:

Ing. Agr. (Mag.) Gastón Ortega

Tribunal:

Ing. Agr. (Mag.) Gastón Ortega

Ing. Agr. (Dra.) Cecilia Loza

Ing. Agr. María Pía Briñón

Fecha: 26 de setiembre de 2025

Estudiante:

Milton Puerto da Silva

Ximena Burgueño Navarro

AGRADECIMIENTOS

A mi familia y amigos que estuvieron presentes apoyando en este largo camino que fue mi carrera.

A mis padres, Elen y Carlos, por su apoyo inquebrantable y constante a lo largo de toda mi carrera. A mis abuelos, quienes estarían orgullosos, y este logro también les pertenece. A Leandro, por acompañarme y motivarme en todo éste proceso. A mis hermanos, gracias por estar siempre pendientes, por esas preguntas constantes de “¿cómo va la tesis?”. A Alejandra, compañera y amiga, gracias por estar siempre.

A nuestro tutor Gastón Ortega por permitirnos formar parte de la investigación, y a todo el equipo que colaboró en el desarrollo de la misma.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	8
LISTA DE ACRÓNIMOS	10
LISTA DE UNIDADES/ SÍMBOLOS/ NOMBRE DE LA UNIDAD	11
RESUMEN.....	13
ABSTRACT	14
1 Introducción	15
1.1 Objetivos:.....	16
1.1.1 Objetivos Generales.....	16
1.1.2 Objetivos específicos	16
2 Revisión Bibliográfica.....	17
2.1 Contexto de la Lechería en Uruguay	17
2.1.1 Intensificación como vía para mejorar los resultados productivos y la eficiencia	17
2.2 Rodeo Lechero	18
2.3 Carga Animal	20
2.3.1 Efecto del incremento de la carga animal	21
2.3.1.1 Carga animal y forraje cosechado	23
2.3.2 Suplementación: uso de concentrados y reservas.....	23
2.3.3 Rotación forrajera y superficie de pastoreo	26
2.3.3.1 Utilización de las pasturas y manejo del pastoreo.....	27
2.3.4 Pasturas: base de la alimentación de los sistemas lecheros.....	30
2.3.4.1 Monitoreo del área de pastoreo	31
2.3.4.2 Pasturómetro C-Dax® como herramienta para estimar disponibilidad de forraje	32
2.3.4.3 Como mejorar la utilización del forraje producido	32
2.4 Producción y productividad de leche y sólidos.....	33
2.5 Impacto económico del aumento de caRga	34

3	Materiales y Métodos	36
3.1	Localización y periodo experimental	36
3.2	Recurso edafológico	37
3.3	Clima.....	38
3.3.1	Precipitaciones.....	38
3.3.2	Temperatura.....	39
3.3.3	Ambiente Térmico	40
3.4	Diseño experimental.....	42
3.4.1	Animales y tratamientos.....	42
3.4.2	Recurso forrajero, y arreglo espacial de los tratamientos	42
3.4.3	Áreas destinadas a encierro	44
3.4.4	Manejo de los tratamientos	45
3.4.4.1	Criterios de pastoreo y gestión de las pasturas como base de la alimentación.....	45
3.4.4.2	Gestión del área de pastoreo.....	45
3.4.4.3	Gestión de la suplementación.....	46
3.4.4.4	Rutina de ordeño.....	46
3.5	Determinaciones en las pasturas	47
3.5.1	Disponibilidad de forraje en la plataforma de pastoreo	47
3.5.2	Tasa de crecimiento	47
3.5.3	Stock de forraje.....	47
3.6	Determinaciones en los animales	48
3.6.1	Consumo de forraje directo	48
3.6.2	Asignación de forraje y eficiencia de cosecha	48
3.6.3	Consumo de reservas y concentrados	48
3.6.4	Peso vivo y condición corporal	49
3.6.5	Producción y composición de leche	49
3.7	Análisis estadístico	49
4	Resultados y Discusión.....	51
4.1	Pasturas	51
4.1.1	Tasa de crecimiento	51
4.1.2	Producción y cosecha directa de forraje	52
4.1.3	Stock de forraje en la superficie efectiva de pastoreo	53

4.1.4	Asignación y cosecha de forraje.....	54
4.1.4.1	Turnos de pastoreo.....	56
4.1.4.2	Eficiencia de cosecha.....	58
4.2	Animales	58
4.2.1	Consumo total de los animales de los tratamientos AP y BC	58
4.2.1.1	Consumo total.....	58
4.2.1.2	Composición del consumo	59
4.2.1.3	Estructura de alimentación por unidad de superficie.....	60
4.2.2	Condición Corporal y Peso Vivo.....	63
4.2.3	Producción y composición de la leche.....	65
4.3	Indicadores productivos y margen de alimentación	68
5	Conclusiones	71
6	Referencias Bibliográficas.....	73

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Escala de ITH para interpretación de riesgo de estrés calórico	19
Tabla 2 ITH para el riesgo de estrés térmico durante el periodo del experimento	41
Tabla 3 Rotación forrajera asociada a los tratamientos AP y BC.....	44
Tabla 4 Promedio mensual de TC diaria en sistemas AP y BC entre diciembre 21- marzo 22	52
Tabla 5 Forraje producido y cosechado acumulado mensual por AP y BC entre diciembre 21- marzo 22.....	53
Tabla 6 Disponible pre y post pastoreo, asignación y consumo aparente cosechado directamente promedio AP y BC	55
Tabla 7 Consumo mensual promedio (kg MS/VO/mes) para AP y BC entre diciembre 21- marzo 22.....	59
Tabla 8 Consumo total (kg MS/VO/día) como promedio mensual para AP y BC durante el ensayo	60
Tabla 9 Relación entre PV y áreas de pastoreo para AP y BC en el periodo experimental	65
Tabla 10 Indicadores y Márgenes de alimentación para BC y AP respecto al estrato superior de PCC.....	69
 Figura 1 Estrategias para aumentar la productividad en los tambos.....	18
Figura 2 Curva de producción de leche en sistemas pastoriles según época de parto	20
Figura 3 Consumo diario de pasturas, reservas y concentrados por vaca, y su proporción por estaciones.....	26
Figura 4 Producción de forraje de una rotación con y sin verdeo de verano	29
Figura 5 Ubicación del predio donde se realizó la investigación	36
Figura 6 Mapa Carta de suelos 1: 40.000	37
Figura 7 Ubicación del Grupo CONEAT dentro del área de estudio	38

Figura 8	Precipitaciones registradas y balance hídrico (acumulado mensual) durante el periodo experimental.....	39
Figura 9	Régimen de temperatura mensual durante el periodo experimental	40
Figura 10	Evolución del ITH (expresado semanalmente) durante el periodo experimental	41
Figura 11	Distribución de los potreros en el área del experimento.....	43
Figura 12	Tasas de crecimiento diarias (expresadas semanalmente) durante el período diciembre 21- marzo 22	51
Figura 13	Evolución del stock forrajero (expresado semanalmente) durante el periodo diciembre 21- marzo 22	54
Figura 14	Proporción (%) durante los 90 días del ensayo de pastoreos y encierro....	56
Figura 15	Días en encierro y turnos de pastoreo (diciembre 21- marzo 22 para AP y BC)	57
Figura 16	Consumo total acumulado (kg MS/haPP) durante el periodo diciembre 21- marzo 22 en sistema AP	61
Figura 17	Consumo total acumulado (kg MS/haPP) durante el período diciembre 21- marzo 22 en sistema BC.....	62
Figura 18	Consumo promedio total para AP y BC durante el periodo experimental, y consumo según PPC.....	63
Figura 19	Condición corporal (como promedio mensual) en los sistemas AP y BC durante el ensayo	64
Figura 20	Acumulado mensual de sólidos (kg G+P/haPP) entre diciembre 21- marzo 22 para AP y BC	66
Figura 21	Proporción (%) de grasa y proteína mensual de los sistemas AP y BC....	66
Figura 22	Producción de leche promedio (kg leche/VO/día) como promedio mensual en los sistemas AP y BC	67

LISTA DE ACRÓNIMOS

INALE	Instituto Nacional de la Leche
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
NRC	National Research Council
OPYPA	Oficina de Programación y Política Agropecuaria
RRHH	Recursos Humanos
RPM	Ración parcialmente mezclada

LISTA DE UNIDADES/ SÍMBOLOS/ NOMBRE DE LA UNIDAD

g/kg MS	Gramos por kilogramos de materia seca
G+P/ha PP	Grasa más proteína por hectárea plataforma
pastoreo	
ha	Hectárea
ha PP	Hectárea plataforma pastoreo
SEP	Superficie efectiva de pastoreo
kg BF/VO/día	Kilogramos en base fresca por vaca ordeño por día
kg leche/ha PP	Kilogramos de leche por hectárea plataforma
pastoreo	
kg MS/ha	Kilogramos de materia seca por hectárea
kg MS/ha/año	Kilogramos de materia seca por hectárea por año
kg MS/ha PP	Kilogramos de materia seca por hectárea plataforma
pastoreo	
kg MS/VO	Kilogramos de materia seca por vaca ordeño
kg MS/VO/día	Kilogramos de materia seca por vaca ordeño por día
kg MS/VO/año	Kilogramos de materia seca por vaca ordeño por año
l/VO	Litros por vaca ordeño
l/VO/día	Litros por Vaca ordeño por día
MS/ha	Materia seca por hectárea
t MS/ha	Toneladas de materia seca por hectárea
t MS/ha/año	Toneladas de materia seca por hectárea por año
t MS/ha VM/año	Toneladas de materia seca por hectárea vaca masa
por año	
U\$S/VO/día	Dólares por vaca ordeño por día
U\$S/ha/año	Dólares por hectárea por año
VO/ha	Vaca ordeño por hectárea

VO/ha PP	Vaca ordeño por hectárea plataforma pastoreo
VO/ha SEP pastoreo	Vaca ordeño por hectárea superficie efectiva
VM/ha VM	Vaca masa por hectárea vaca masa

RESUMEN

La lechería es el sector con mayores ingresos por hectárea (ha), aunque si bien la producción anual en millones de litros no ha variado en demasía en la última década, el rodeo lechero del país ha decrecido, con una pérdida de explotaciones, y de área total explotada, y con un consecuente aumento de la carga animal de los sistemas. El objetivo del presente trabajo consistió en comparar un sistema de alta productividad (AP), con una carga animal promedio en el área plataforma de pastoreo (PP) de 2.7 vaca ordeño por PP (VO/ha PP) orientado a alcanzar alta productividad de leche por ha, suplementado con concentrado, y con reservas producidas fuera del área de PP. Otro sistema de bajo costo (BC), con una carga animal promedio de 1.6 VO/ha PP, con la simplicidad operativa como premisa, auto-sostenido desde el punto de vista de la fibra, con la totalidad de la reserva producida en el área de PP, donde los animales se suplementaron con concentrado y con reservas (producidas en el área de PP). Los dos sistemas se manejaron con el mismo modelo forrajero, una rotación de 6 años, con base perenne, sin verdeo de verano (VV), El criterio de pastoreo se basó en el control del stock forrajero, y la tasa de crecimiento (TC) semanal. El trabajo se llevó a cabo en la Unidad de lechería del Centro Regional Sur (CRS), en el departamento de Canelones (Uruguay), entre el 21 de diciembre de 2021 y el 21 de marzo de 2022. Los sistemas no presentaron diferencias significativas en el consumo de forraje por cosecha directa (con diferencias en las oportunidades de pastoreo), de reservas, y de concentrado por ha. Los sistemas fueron diferentes en la producción de forraje al tiempo que esas diferencias, no se tradujeron en consumos de forraje por VO. Los sistemas no difirieron en la producción de leche por vaca ordeño (VO), pero si en la producción de leche y sólidos por ha PP. Los márgenes de alimentación por VO fueron superiores en el sistema BC, alcanzándose mejores márgenes por superficie con el sistema AP.

Palabras claves: carga animal, simplicidad operativa, estrategias de alimentación, producción de leche, cosecha de forraje

ABSTRACT

Dairy farming is the sector with the highest income per hectare (ha). Although annual production in millions of liters has not changed significantly over the last decade, the country's dairy herd has declined, with a loss of farms and total farmed area, and a consequent increase in the stocking rate of the systems. The objective of this study was to compare a high-productivity (HP) system with an average stocking rate in the grazing platform (GP) area of 2.7 milking cows per GP (MC/ha GP), aimed at achieving high milk productivity per ha, supplemented with concentrate, and with reserves produced outside the GP area. Another low-cost (LC) system with an average animal load of 1.6 MC/ha GP, with operational simplicity as a premise, self-sustaining from the fiber point of view with the entire reserve produced in the GP area, where the animals were supplemented with concentrate and with reserves (produced in the GP area). Both systems were managed with the same forage model, a 6-year perennial rotation without summer greening (SG). Grazing criteria were based on forage stock control and weekly growth rate (GR). The work was carried out at the Dairy Unit of the Southern Regional Center (CRS), in the department of Canelones (Uruguay), between December 21, 2021, and March 21, 2022. The systems did not show significant differences in forage intake by direct harvest (with differences in grazing opportunities), reserves, and concentrate per hectare. The systems differed in forage production, but these differences did not translate into forage intake per LC. The systems did not differ in milk production per milking cow (MC), but they did differ in milk and solids production per ha GP. Feed margins per MC were higher in the LC system, while better margins per surface area were achieved with the HP system.

Keywords: animal load, operational simplicity, feeding strategies, milk production, forage harvesting

1 INTRODUCCIÓN

La producción de leche ocupa un 5 % de la superficie agropecuaria de Uruguay, y representa el 9 % del valor bruto de producción agropecuaria (*El sector lechero*, 2025; Instituto Nacional de la Leche [INALE], 2024). Sin embargo, es el sector con mayores ingresos de exportación por hectárea (ha), donde un 73 % de la leche producida se vuelca al mercado externo (INALE, 2024).

En los últimos 20 años, la situación de la lechería ha cambiado, si bien la producción anual en millones de litros no ha variado demasiado, el rodeo lechero y el área total explotada del país bajó, con una pérdida de explotaciones en todos los estratos de tamaño; sin embargo, este factor fue acompañado de un aumento de la carga animal entre el 2011 y 2018 (1.01 y 1.14 VM/ha VM, respectivamente) (Chilibroste & Battegazzore, 2018).

Durante el periodo 2011 a 2020 la producción individual de la vaca ordeñe (VO) aumentó 27%, al igual que lo hizo la VO/VM, lo que se tradujo en incrementos de unos 2000 millones de litros (Barboza, 2021; Vidal, 2014), y una producción de leche de 2881 lt/ha/año (Pedemonte et al., 2022). Esto, ha generado a partir del año 2015, cambios en la forma de alimentar en los sistemas de producción de leche en Uruguay, viéndose aumentado el uso de concentrados por ha (300%), mientras que el forraje consumido en pastoreo, sumado a las reservas sólo aumentó un 24% comparativamente, con consumos de pasturas promedios de 3000 kg MS/ha (Fariña et al., 2018), determinando que la lechería continúe en un proceso de intensificación con base en la mayor suplementación con concentrado, y reservas forrajeras.

En sistemas, que sostengan una alta carga animal, es indispensable evaluar diferentes manejos en épocas críticas (manejo del pastoreo, importación de alimentos, simplicidad operativa, uso de recursos humanos (RRHH), encierros estratégicos parciales y/o totales, áreas de alimentación). En esta línea, “Lechería del 2030” (2019) señala que los sistemas a investigar a nivel nacional pueden ser simples de operar, con baja demanda de RRHH, y con menores costos de producción, capaces de generar todo el forraje necesario para su consumo; habiendo además sistemas con altas productividades, donde los costos son más elevados, explicados por una mayor inversión inicial, el uso de insumos y la mayor demanda de personal. Entre ambos extremos, existen otras formas de producción con capacidades competitivas frente al mercado global. En este contexto, el

presente trabajo se propuso analizar diferentes alternativas en el proceso de intensificación de los sistemas lecheros en Uruguay, comparando dos sistemas con distintas cargas – 2,7 VO/ha PP y 1,6 VO/ha PP–, empleando estrategias contrastantes de alimentación y manejo.

La hipótesis de este trabajo es:

La carga animal influye en la estrategia de utilización del forraje y en la productividad por ha en verano, de modo que sistemas con menor carga optimizan el uso de los recursos forrajeros mediante un mayor tiempo de pastoreo efectivo, manteniendo la producción individual de leche y sólidos, pero con menores márgenes por ha y mayor resiliencia en la disponibilidad de forraje, mientras que sistemas con mayor carga ejercen mayor presión sobre el pasto, reduciendo el stock disponible y afectando la eficiencia del uso de la superficie de pastoreo.

1.1 OBJETIVOS:

1.1.1 Objetivos Generales

Evaluar el impacto en las variables biofísicas de dos sistemas lecheros con carga animal contrastante: uno de alta productividad (AP), y otro de bajo costo (BC) de 2.7 VO/ha PP y 1.6 VO/ha PP respectivamente, de simplicidad operativa en la aplicación de la estrategia de alimentación.

1.1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el desempeño biofísico de dos sistemas lecheros, analizando: estructura de la alimentación, tiempos destinados a la actividad de pastoreo y encierro, producción de leche y de sólidos individual y por ha, producción y cosecha de forraje; evolución semanal del forraje disponible en el área de pastoreo directo–stock de forraje (kg MS /ha SEP)- y forraje desaparecido por animal y por ha.
- Determinar los márgenes de alimentación por VO y ha, vinculado a cada estrategia de alimentación.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTEXTO DE LA LECHERÍA EN URUGUAY

Uruguay exporta a más de 60 mercados el 73% de los lácteos que se producen (INALE, 2024). La producción anual supera los 2.000 millones de litros de leche, alcanzando en 2021 el pico en volumen remitido a planta (2.118 millones de litros), y en 2023 el pico máximo histórico en kilos de sólidos (162 millones de kilos de sólidos) (INALE, 2024). En el ejercicio 2018/2019 según la Encuesta Lechera de un total de 3174 establecimientos lechero registrados, 2221 remitieron a industria, concentrando éstos últimos una superficie de 505.247 ha (227 ha promedio por establecimiento), caracterizados por tener en promedio 109 VO, raza Holando americano- canadiense (79%) con una producción diaria de 18 l/VO/día (Pedemonte et al., 2022). Si bien la lechería ha alcanzado un aumento en volumen total, se registró una pérdida de establecimientos lecheros (3094) durante el periodo 2014-2022, con una producción anual de 5614 l/VM, y con un contenido de grasa butirosa y proteína promedio de 3.85% y 3.43% respectivamente (Oficina de Estadísticas Agropecuarias [DIEA], 2023).

Las unidades de producción, mantienen una estructura de la alimentación que combina la cosecha directa de pasturas mejoradas (63 % del área lechera mejorada), y la suplementación con concentrado energético, y forrajes conservados (DIEA, 2023).

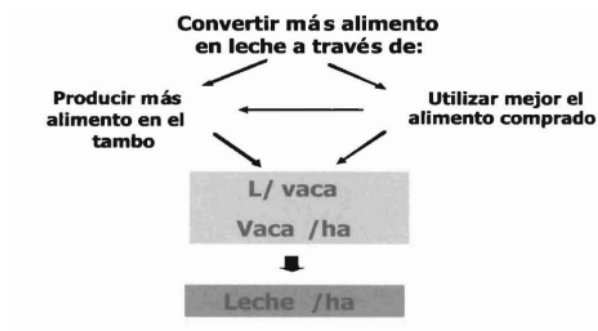
2.1.1 Intensificación como vía para mejorar los resultados productivos y la eficiencia

Los cambios tecnológicos aplicados en el negocio lechero en Uruguay, se deben a cambios en las exigencias de los mercados internacionales, y por eventos climáticos nacionales, que impulsan la búsqueda de una forma de producir que incremente la producción de leche a un bajo costo, priorizando en efecto, la base pastoril de los sistemas lecheros, asumiendo el menor costo del forraje producido dentro del tambo, en relación al forraje comprado (Hernández, 2016). Es la persistencia y la estacionalidad de las pasturas lo que limita el crecimiento forrajero, en detrimento de una mayor utilización, compensándose con suplementos. La intensificación llega de la mano de alimentos extra prediales (forrajes y concentrados) así como de la mayor producción y aprovechamiento del forraje producido en el predio, y una mayor productividad por vaca (La Manna, 2008). Según García y Fariña (2010) se alcanzan mayores producciones de leche por ha, mejorando la producción y la cosecha de forraje, o siendo eficientes en el uso de

suplementos comprados, tanto sean concentrados comerciales, granos o reservas (figura 1).

Figura 1

Estrategias para aumentar la productividad en los tambos



Nota. Tomado de García y Fariña (2010).

García y Fariña (2010) sostienen que, en la práctica, la mayor producción de leche por ha se alcanza con mayores producciones individuales, aumentando la carga animal, o combinando ambas. El desafío está en continuar el camino de la intensificación sin impactar negativamente en la producción y utilización del forraje producido dentro del sistema de producción, haciendo un manejo eficiente de la suplementación. Fariña et al. (2011) por su parte, sostienen que los sistemas que aumentan la producción de leche por ha, a través de una mayor carga animal, son más efectivos que los sistemas que aumentan la producción de leche por vaca, tanto en términos de respuesta animal como de eficiencia en el uso de suplementos a nivel de todo el sistema. Chilibraste y Battegazzore (2018) evaluando producción individual, carga y suplementación con concentrados y reservas forrajeras para 320 matrículas durante el periodo 2013-2018, obtuvieron que el promedio de producción de leche fue 19.0 ± 0.42 l/VO para una carga promedio 1.1 ± 0.02 VM/ha VM, con un consumo promedio de 17 kg de materia seca (MS), representando el consumo de forraje por cosecha directa un 56 %, y la suplementación un 44% (18% consumo de reservas, y 26% de concentrados).

2.2 RODEO LECHERO

Los animales raza Holando americano - canadiense representan el 83 % del rodeo de vacas lecheras, mientras que la raza Normando, cruza y otras totalizan el 11 %, y un 6 % la raza Holando neozelandés (INALE, 2019). Son biotipos que encuentran el confort térmico con temperaturas ambientales comprendidas entre los 5 y 21 °C,

humedad relativa (HR) menor al 50%, y velocidad de viento menores a los 8 km/hora, condiciones que se traducen en un buen desempeño productivo (Bartaburu, 2001).

Para La Manna et al. (2014) las razas lecheras sufren estrés térmico cuando la temperatura sobrepasa el rango óptimo, con probabilidad de estrés calórico durante el verano de acuerdo con el Índice de Temperatura y Humedad Relativa (ITH), índice que permite caracterizar el ambiente y relacionarlo con la respuesta biológica del ganado (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], 2024) (tabla 1). Por lo que ofrecer pasturas de calidad, acceso a sombra y agua durante las horas de mayor temperatura, mejora el balance térmico de los animales (Valtorta et al., 2008).

Tabla 1

Escala de ITH para interpretación de riesgo de estrés calórico

ITH	Referencia
hasta 67,9	sin riesgo (verde)
68 hasta 71,9	alerta (amarillo)
72 a 78,9	peligro (naranja)
79 o mayor	emergencia (rojo)

Nota. Elaborado a partir de datos meteorológicos de INIA (2024).

Valores de ITH entre 35 y 70 significan zona de confort térmico para el ganado lechero, tomándose como valor crítico el 68 para vacas de alta producción de la raza Holando (La Manna et al., 2014).

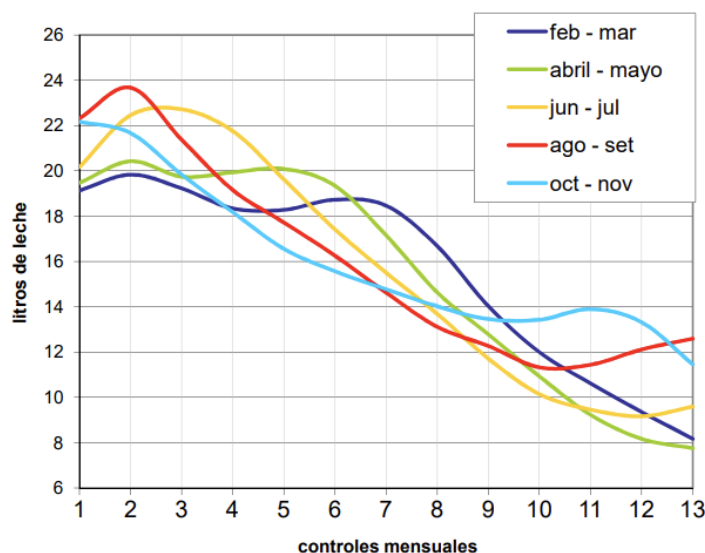
La producción de leche sólo comienza a disminuir cuando el ITH excede consistentemente 74 durante los 4 días anteriores (Polsky & von Keyserlingk, 2017).

Si bien el clima en la época estival afecta además el comportamiento, la fisiología, y en consecuencia el bienestar de los animales, éstos hacen frente a las condiciones desfavorables, a través de una serie de mecanismos que les permiten mitigar y mantener la temperatura corporal dentro del rango normal (Schütz et al., 2010). Frente a condiciones de estrés térmico, el animal se ve obligado a adaptarse al medio, lo que produce una marcada bajada en el consumo voluntario de MS, y un aumento de los requerimientos energéticos, que desencadenan menores producciones de leche (Cony et

al., 2004). En la figura 2, se visualizan las curvas de lactancia promedio, de acuerdo a las épocas de parto, para las condiciones de Uruguay del ganado Holando en condiciones pastoriles, basado en el análisis de la información de tambos comerciales, e investigaciones desarrolladas en la Estación experimental Dr. M.A. Cassinoni.

Figura 2

Curva de producción de leche en sistemas pastoriles según época de parto



Nota. Tomado de Chilbroste et al. (2011).

2.3 CARGA ANIMAL

La carga animal es un factor clave para explicar la productividad de los sistemas de producción de leche (Fossatti, 2004), siendo la práctica de manejo que más repercute en la eficiencia de los sistemas lecheros de base pastoril (Comerón et al., 2007).

Es la variable más importante, que influye, además, en la producción de leche por vaca y por ha, a través de sus efectos sobre la producción de forraje y el consumo (Fales et al., 1995), siendo este último el principal factor que determina la productividad animal (Cerdas Ramírez, 2013).

Durán (1978) define la capacidad de carga como: el número de vacas alimentadas por unidad de superficie durante un determinado período (vacas/ha/año) que ha soportado una pastura en condiciones de manejo bien definidas, relacionando la capacidad de carga directamente con el rendimiento de la pastura, regulando la utilización instantánea, las alturas post pastoreo, modificando la tasa de crecimiento (TC), e incidiendo en consecuencia en la producción estacional, y en la persistencia del recurso

forrajero (Zanoniani & Boggiano, 2008). En vacas lecheras, se debe lograr el máximo de consumo de MS, permitiendo que la vaca pueda expresar el potencial productivo (Vélez de Villa, 2013). El consumo depende de la cantidad de forraje disponible, el estado en que se encuentre -altura y densidad-, el tiempo de acceso (Méndez et al., 2019), y regulado entre otros factores por medidas de manejo, tales como la asignación de forraje por vaca. Debe considerarse, que las modificaciones en el consumo por asignación, traen como consecuencia variaciones en la producción de leche individual y por ha (Álvarez et al., 2006).

La carga animal óptima dependerá de una serie de factores, incluido el potencial de rendimiento de las pasturas (determinado por el suelo, la densidad, las especies y la fertilidad) y los requerimientos energéticos de los animales, de acuerdo con el nivel de producción (Fales et al., 1995). Si se aumenta la carga para mejorar la productividad animal por unidad de superficie, pueden verse afectadas las pasturas (Zibil et al., 2016).

2.3.1 Efecto del incremento de la carga animal

En la investigación realizada por Macdonald et al. (2008), donde evaluaron cinco niveles de cargas animales (2.2, 2.7, 3.1, 3.7 y 4.3 VO/ha) durante tres lactancias sucesivas sobre la producción de forraje de una pastura de Raigrás perenne, encontraron que aumentó la producción de pasturas por ha al aumentar la carga, mientras que la masa de forraje post pastoreo disminuyó linealmente, reflejando un aumento en la tasa de utilización de la pastura. Por su parte, con excepción del porcentaje de grasa y lactosa, todas las variables de producción de leche por VO disminuyeron proporcionalmente al aumentar la carga animal, mientras que la producción de leche por ha aumentó linealmente. La razón del menor rendimiento por vaca a medida que aumentó la carga, se lo atribuyeron al menor consumo de forraje fresco. En ésta línea, de la evaluación de Baudracco et al. (2011) sobre una pastura base de alfalfa, evaluando el efecto de la carga, encontraron que la carga no tuvo efecto sobre la producción, calidad, persistencia o la composición botánica; resultó que el consumo y la ingesta total de MS de forraje por animal, disminuyó frente a aumentos en la carga, sólo a mitad de la lactancia. A mayores cargas (evaluando 1.6, 2.1 y 2.6 VO/ha) el forraje consumido aumentó en 2.4 t MS/ha/año; mientras que la eficiencia de pastoreo (forraje consumido/asignación de forraje) se incrementó siendo 143 g/kg MS mayor para 2.6 VO/ha, que para 1.6 VO/ha, compensando la menor asignación de forraje por vaca. En un sistema exclusivamente pastoril, aumentos en la carga conllevan una mayor utilización de las pasturas y un mayor

consumo de forraje, mientras que bajas cargas se traducen en mayores remanente después del pastoreo (Comerón et al., 2007).

McCarthy et al. (2010) buscando comprender la respuesta de la producción de leche por vaca y por ha frente a aumentos en la carga animal, realizaron un estudio basado en un metaanálisis de experimentos comprendidos entre el año 1960 al 2008, encontrando que un aumento de una vaca por ha en la carga, redujo la producción de leche por vaca en un 8,7%, mientras que la producción por ha aumentó en un 19,6%. Los contenidos de grasa y de lactosa en la leche no se vieron afectados por el aumento de una vaca por ha, mientras que el contenido de proteína se redujo en un 1,9%. Los autores plantean que, si bien las producciones individuales son menores, explicados por la menor cantidad diaria de forraje disponible, por una mayor intensidad de pastoreo, existe una relación positiva entre la carga y la producción de leche por ha.

En esa misma dirección, Baudracco et al. (2011) observaron que la producción de leche por vaca se vio disminuida a niveles más altos de carga; el contenido de grasa se mantuvo invariable, con diferencias en el rendimiento de proteína láctea por animal, donde se registró una tendencia a una disminución. La producción de leche aumentó en 5840 l/ha/año, y la producción de sólidos (grasa y proteína) aumentó en 443 kg/ha/año, destacándose la importancia de los alimentos suplementarios, principalmente al comienzo de la lactancia, para amortiguar las reducciones productivas esperables, frente a aumentos en la carga animal.

En cuanto a experiencias que vinculan carga animal y productividad para las condiciones de Uruguay, el Proyecto 10-MIL, instalado en INIA La Estanzuela desde 2017 a 2019, tuvo como objetivo evaluar cuatro sistemas lecheros que no presentaran diferencias en peso vivo (PV) (1140 kg PV/ha VM promedio), si en número de animales, con cargas animales de 2,0 y 2,4 VM/haVM, combinando dos estrategias de alimentación -manda dieta donde la asignación de forraje fue fija (30 % de la dieta), y manda pasto con asignaciones flexibles- y genotipo animal (Holando tradicional y Holando neozelandés) (Fariña, 2019). El objetivo fue alcanzar una cosecha de forraje de 10 t MS/haVM (pastoreo directo y reservas) y producir como mínimo 1.000 kg sólidos/ha VM (grasa + proteína bruta); resultando que en los cuatro sistemas se alcanzaron los objetivos de cosecha y producción propuesto (Fariña, 2019), al tiempo que Chilibroste y Battezzore (2018) reportan datos de cosechas de forraje entre 3 y 5 t MS/ha VM/año para predios comerciales. La información analizada durante el periodo 2013-2018, muestra un

potencial de producción de entre 10 y 15 t MS/ha/año, y un consumo de forraje promedio en predios comerciales de Uruguay en el entorno de las 5.3 t MS/ha (directo y mecánico) (Chilibroste & Battagazzore, 2019). Cabe resaltar que si bien al aumentar la carga animal, disminuye la cantidad de forraje disponible para el consumo de los animales, puede verse un efecto compensatorio en la producción por ha, explicado por la mayor cantidad de animales (Parga, 2003).

Un manejo del pastoreo que priorice una mayor tasa de consumo de forraje, resulta en una mayor ingesta diaria de pastura, una mayor producción de leche y sólidos lácteos, y aumentos en el PV de la vaca, independientemente del nivel de suplementación con concentrado, a costas de una menor carga animal y, en consecuencia, de una menor producción de leche y sólidos por ha (Gareli et al., 2023).

2.3.1.1 Carga animal y forraje cosechado

La relación entre la carga animal, el forraje producido y cosechado, y la suplementación se basa en cómo estas variables afectan la productividad de los sistemas lecheros de base pastoril. Según Ortega et al. (2024) el aumento de la carga animal incrementa la cantidad de forraje cosechado directamente, por la mayor presión de los animales sobre las pasturas, mejorando la eficiencia en la cosecha, si bien se cuenta con menos días en que los animales están a uno o dos turnos de pastoreo, viéndose reducida la asignación de forraje por vaca después del pastoreo, requiriendo una mayor suplementación con reservas forrajeras y concentrados para mantener la productividad de las vacas lecheras. No se constató un efecto de la carga animal sobre el PV de los animales, 502 kg/VO y 506 kg/VO para las cargas 1.5 VO/ha y 2.0 VO/ha respectivamente. La carga animal no afectó significativamente la producción total de las pasturas, alcanzando producciones anuales entre 7.393 y 7.962 kg MS/ha/año, pero influyó en la cantidad cosechada directamente por las vacas. Los sistemas con 1.5 vacas/ha cosecharon menos forraje directamente que aquellos con 2.0 VO/ha (4.439 kg MS/ha/año y 5.774 kg MS/ha/año respectivamente) (Ortega et al., 2024)

2.3.2 Suplementación: uso de concentrados y reservas

Los sistemas lecheros presentan desbalances estructurales entre oferta y demanda, lo que conlleva al uso de reservas forrajeras y concentrados, aumentando la complejidad operativa, necesidad de infraestructura y presión sobre los recursos, para corregir ese desbalance (Chilibroste et al., 2011). Las variaciones estacionales en la

disponibilidad de forraje que se dan a lo largo del año, vuelven fundamentales la suplementación con reservas forrajeras y concentrados (Aguerre et al., 2017; Zarza et al., 2010), aumentando el consumo de MS total (+ 24 %), la producción de leche (+ 22 %), la proteína en leche (+ 4%), pero bajando el porcentaje de grasa (- 6%), evidenciando la necesidad de suplementar para alcanzar el potencial genético (Bargo et al., 2003). Baudracco et al. (2010) plantea que en general, el nivel de suplementación y la carga animal responden al potencial genético para la producción de leche, a la magnitud de la respuesta al suplemento, al precio de la leche, y al costo de los suplementos. La inclusión de suplementos, frente a aumentos en la carga, puede tener efectos sinérgicos, mejorando la eficiencia en la utilización del forraje, el desempeño productivo individual y por ha, y aumentando la rentabilidad.

Frente a cargas altas, es fundamental que el consumo de MS sea el adecuado para cada momento, con un manejo planificado de la pastura, sumado al uso de reservas forrajeras y de concentrado (Chilibroste et al., 2008), incorporando reservas a la dieta para cubrir los déficits de forrajes que sean previsibles – déficit estacionales- y los que no lo son– déficit por eventualidades climáticas- (Astigarraga, 2004). Aunque los sistemas lecheros en Uruguay basan su producción de leche en la cosecha de pasturas, todos hacen algún uso de suplementos, debido a la estacionalidad típica del crecimiento de las pasturas. Los déficits de crecimiento en otoño e invierno, también se ven agravados por la alta proporción de potreros sembrados, debido a la secuencia rotacional de forrajes anuales y pastos perennes que generalmente duran de 3 a 4 años (“Lechería del 2030”, 2019).

Durán (2004) plantea que resulta imprescindible considerar los concentrados, para poder regular de manera planificada el consumo diario de MS mes a mes.

Según Astigarraga (2004), cuando la carga animal se ajusta a la disponibilidad de alimento fibroso, el concentrado se destina principalmente a la producción de leche, lo que mejora la eficiencia en su uso. Define el concentrado como un complemento alimenticio diseñado para reforzar la dieta, especialmente en términos de energía, permitiendo alcanzar niveles de producción superiores a los que puede ofrecer el alimento fibroso por sí solo. La suplementación con reservas forrajeras y concentrados, no solo representan una herramienta que permite aumentar la capacidad de carga del sistema productivo, sino que también repercute en la productividad por unidad de superficie, y en el rendimiento por vaca (Peruchena, 2003), siendo claves para lograr un buen manejo del

pastoreo, evitando sobrepastoreo, y una baja disponibilidad de MS/ha, permitiendo pastorear con un crecimiento suficiente, que no limite el potencial de las pasturas (Durán, 2004). Es claro que, sin aumentos de carga, el aumento del uso de concentrados y de reservas forrajeras no es rentable, siendo necesarios en conjunto para mantener cargas altas y mantener o aumentar la producción individual en épocas de otoño e invierno o de sequía en verano, donde la oferta de forraje verde se ve limitada, ayudando a aumentar la oferta total de alimentos del sistema (Acosta, 1997).

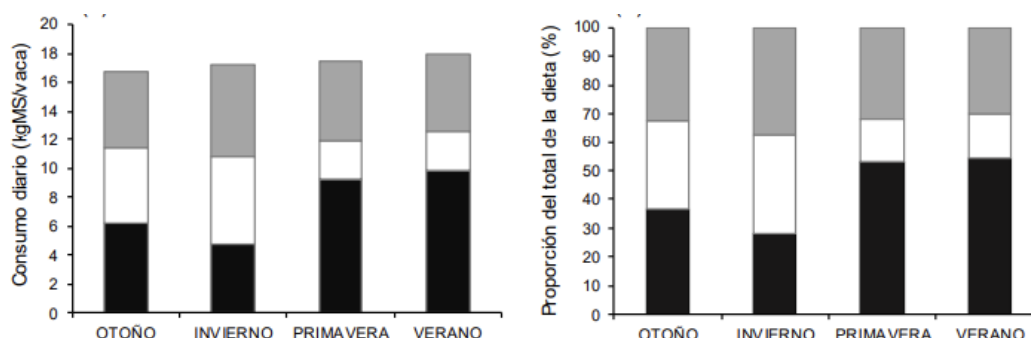
Lazzarini et al. (2014) analizando 40 tambos, durante el período 2004-2012 mostró que, si bien el uso de suplementos llevo a consumos de forraje considerablemente menores por vaca y por ha, se registraron leves incrementos en la producción individual de leche, y un moderado aumento de la carga animal.

De una base de datos nacional de 256 establecimientos lecheros de 2013 a 2017, resultó que la alimentación de los rodeos lecheros comprendía: forraje cosechado directamente por las vacas (3944 ± 358 kg MS/ha), reservas ($1367 \pm 87,4$ kg MS/ha) y concentrados (1831 ± 126 kg MS/ha), significando el forraje de cosecha propia más del 75% de la dieta, mientras que sólo el 25% del consumo de MS era concentrado comprado (Fariña & Chilibróste, 2019b). La productividad media fue de 8831 ± 266 l/haPP y $624 \pm 15,2$ kg/haPP de sólidos lácteos, con una carga de $1,15 \pm 0,03$ VO/ha (Fariña & Chilibróste, 2019b).

Por su parte, Aguerre y Chilibróste (2018) del análisis de 28 tambos comerciales entre junio de 2016 y mayo de 2017, con una carga promedio anual de $1,22 \pm 0,10$ VM/haVM, concluyeron que si bien el consumo de forraje por pastoreo directo y de reservas forrajeras, fluctuaron entre primavera/verano y otoño/invierno, las variaciones en los niveles de concentrado, fueron menores, registrando diferencias sólo en las estaciones de invierno y otoño, evidenciando que los menores consumos de pastura en la dieta por cosecha directa son cubiertos por la suplementación con reservas forrajeras (figura 3). Durante el verano, el consumo de pastura significó un 54 % de la dieta, las reservas el 15 %, y el concentrado representó un 31 %, significando 9.8, 2.8, y 5.4 kgMS/ha/día respectivamente.

Figura 3

Consumo diario de pasturas, reservas y concentrados por vaca, y su proporción por estaciones



Nota. Extraído de Méndez (2019).

Resultó que en los sistemas con menor eficiencia de cosecha (EC) los animales consumieron 2 kg menos de pastura en relación a los de mayor eficiencia, debido a la suplementación con concentrados; situación que se asoció con mayores producciones de leche (23.1 l/VO/día), y se tradujo en una menor eficiencia de uso del concentrado (306 g concentrado/ l de leche) a diferencia de los animales de mayor eficiencia (250 g concentrado/ l de leche) con producciones individuales menores (19.9 l/VO/día) (Aguerre & Chilbroste, 2018).

Ortega et al. (2024) probaron que la carga animal influyó en los niveles de forraje conservado, y concentrados necesarios para cubrir las demandas energéticas de los animales. Los sistemas con una carga de 2.0 VO/ha requirieron un mayor suministro de forraje conservado y concentrado, aumentando en 1.085 kg MS/ha/año en promedio, en relación a los sistemas de menor carga animal (1.5 VO/ha).

2.3.3 Rotación forrajera y superficie de pastoreo

Una rotación forrajera se define como una sucesión planificada en el tiempo y en el espacio de cultivos anuales, ya sean de grano o forrajeros, y pasturas plurianuales (Durán, 2008). Su principal objetivo es maximizar y estabilizar la producción de forraje, permitiendo su aprovechamiento tanto para cosecha directa como para reservas forrajeras. Además, considera factores económicos y ambientales, buscando lograr una producción lechera sustentable, manteniendo la pastura como base de la dieta (Durán & La Manna, 2009b; García & Fariña, 2010).

Para implementar una rotación forrajera, es esencial definir objetivos productivos claros, y planificar la rotación considerando las características del suelo y la topografía del establecimiento lechero. Esto implica detallar el manejo anual de los potreros, las especies, variedades y mezclas forrajeras seleccionadas, además del uso de fertilizantes y herbicidas (Durán, 2008). Asimismo, es fundamental contemplar las necesidades de los animales, especialmente en función de la época de parición y la producción objetivo, ya que estos factores determinan un incremento en los requerimientos nutricionales y en consecuencia, la necesidad de suplementación con reservas forrajeras (Durán & La Manna, 2009a).

En Uruguay, la baja persistencia de las pasturas sembradas obliga a evaluar cuidadosamente la duración de las especies, el manejo del pastoreo y el nivel de engramillamiento, al planificar una rotación forrajera, ya que estos factores afectan directamente la superficie efectiva de pastoreo (SEP) (Formoso, 2009). Para mejorar la persistencia y la producción de forraje, se recomiendan mezclas forrajeras que combinen gramíneas y leguminosas (Carámbula, 2000, 2002). Las gramíneas, como Raigrás perenne, Festuca y Dactylis, son componentes claves en pasturas de corta y larga duración. Sin embargo, debido a las altas temperaturas del verano, estas especies suelen tener una vida útil limitada, con una alta mortalidad de plantas en el primer verano, lo que restringe su duración (Formoso, 2010). Las condiciones estivales pueden resultar en pérdidas de cobertura, resignando la productividad y la persistencia de las praderas largas, si no se minimiza la pérdida de macollos, con pastoreos aliviados (Lattanzi et al., 2022). Las pasturas templadas perennes, según Agnusdei (2013), pueden alcanzar entre el 60 % y el 70 % del ciclo productivo potencial.

2.3.3.1 Utilización de las pasturas y manejo del pastoreo

Un efecto inicial de la rotación es la variación en el área no pastoreable durante el año o por estación. Esta área incluye superficies en barbecho, recién sembradas o con pasturas en etapa inicial, en las cuales el pastoreo no es recomendable (Durán, 1992). La disponibilidad y el consumo mensual de forraje, dependen del área pastoreable, los potreros accesibles para las vacas y del forraje disponible, siendo éste último un factor determinante en los niveles de consumo, afectado por el punto de partida de la pastura, y la TC estacional. El sobrepastoreo ocurre cuando el área de pastoreo es insuficiente, el crecimiento del forraje no compensa el consumo, y se regresa al potrero antes de alcanzar la disponibilidad óptima para pastorear. Es crucial planificar una rotación forrajera que

permita generar reservas temprano en primavera, para disponer de forraje en verano, evitando sobrepastoreos y manteniendo la producción en caso de sequías (Durán, 2008). Estos factores, combinados con prácticas severas de defoliación realizadas en esta estación, pueden superar los límites de tolerancia fisiológica y morfológica de las plantas, perdiendo unidades productivas, como macollos, tallos y estolones, llevando eventualmente a la pérdida de plantas (Formoso, 1995).

Debe evitarse sobrepastorear las pasturas, por la disminución de la SEP en verano, y otoño. El sobrepastoreo estival de gramíneas perennes invernales deprime aún más la producción de forraje durante el verano, agravando el problema, pudiendo perder pasturas, comprometiendo la producción del siguiente otoño-invierno (Acevedo et al., 2021). Cuanto más severo sea el mismo, mayor será el efecto negativo en las siguientes estaciones; el sobrepastoreo de primavera deprime la producción de otoño-invierno en 17 %, el de verano un 30 % y el de primavera sumado al de verano un 49 %, disminuyendo así a la mitad el área de pastoreo de otoño-invierno (Mieres & Moreira, 2018); debiendo suplementar a los animales antes de incurrir en la práctica de sobrepastoreo, especialmente en periodos de altas temperaturas (Formoso, 2009).

Los rodeos lecheros uruguayos han basado su alimentación en el pastoreo directo de pasturas de praderas perennes, y verdeos (Chilibroste & Battegazzore, 2014).

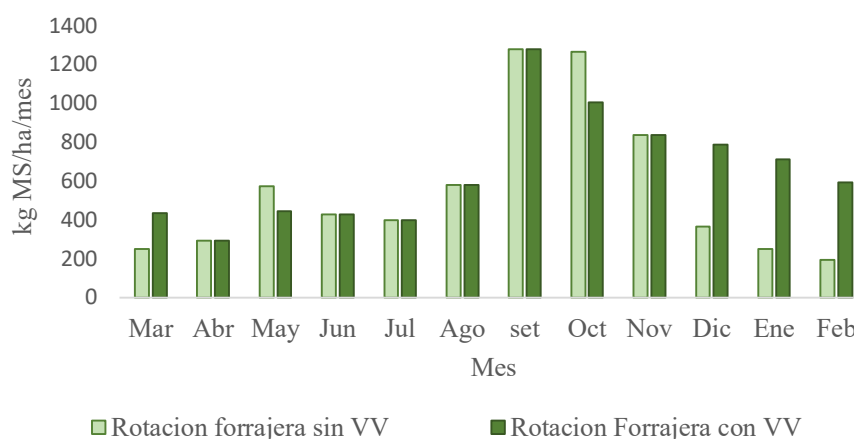
Una rotación típica de los tambos comerciales en Uruguay, basados en pasturas, es una rotación de 4 años combinando verdeos, y 3 años de pasturas perennes. Según Zanoniani (2010) introducir especies perennes en las mezclas forrajeras, significa un menor costo de implantación de las pasturas, y permite pastoreos de otoño, en relación a las especies anuales, las cuales son altamente dependientes de la fecha de siembra; reflejándose en producciones de forraje otoño-invernal más estables, y mayores producciones de leche por vaca y por ha. Según Leborgne (2018) una rotación forrajera típica en Uruguay puede producir un acumulado anual de 9325 kg MS/ha año.

Si bien una rotación forrajera típica en los predios lecheros, alterna la secuencia de cultivos anuales (verdeos de invierno -VI- y verano -VV-) con praderas, buscando eliminar los barbechos en primavera, y minimizar su duración, se puede prescindir de la siembra de sorgo forrajero como VV, optimizando el uso del suelo, reduciendo los tiempos improductivos, permitiendo implantar las praderas de primer año en fecha, consiguiendo praderas que lleguen con varios pastoreos al verano. La producción

estacional de los sorgos forrajeros a través de pastoreos frecuentes o cortes mecánicos, se concentra en los meses de verano, coincidiendo con los momentos críticos de disponibilidad de forraje, la dificultad radica en los tiempos de barbecho y el crecimiento inicial de la pastura posterior al verdeo (Fassio et al., 2002) (figura 4).

Figura 4

Producción de forraje de una rotación con y sin verdeo de verano



Nota. Elaborado a partir de datos de R. Mello (comunicación personal, 20 de mayo, 2021), Zanoniani et al. (2003) y Leborgne (2018).

Según Durán (2008) en el año 2006, en la Unidad de lechería de INIA, evaluando el efecto de reducir los cultivos anuales entre praderas sucesivas (un cultivo de verano en el cuarto año de la pradera plurianual), y el uso de mezclas bianuales base de cebadilla (o raigrás) y trébol rojo, se consiguió reducir los tiempos de barbecho, los gastos de gasoil, fertilización, y herbicidas. Alcanzando una rotación larga muy productiva 9235 kgMS/ha/año (Durán, 1992). Con una carga de 1.4 VM/ha suplementadas a razón de 1300 kgMS de ensilaje y 1600 kg de concentrados/ha VM/año, se consiguieron producciones de 6500 l/VM y 9100 l/ha. En contraposición, con rotaciones cortas, se ve deprimida la SEP, mayormente en verano y otoño, donde cae la oferta total de forraje de la rotación (Formoso, 2006).

Se debe tener en cuenta que el rendimiento de las pasturas y más que nada de las gramíneas, se ve afectado cuando se aumenta la frecuencia e intensidad de la defoliación, ya que se daña la mayor parte de las reservas que se ubican en la base de las vainas o pseudotallos (Gallarino, 2010). En la práctica, comúnmente se ve priorizado el requerimiento animal antes que un adecuado manejo de las pasturas que favorezca el

potencial de producción, ajustando la frecuencia e intensidad de defoliación, en épocas de déficit y de abundancia de la pastura (García, 2003).

De la evaluación de las rotaciones forrajeras de 322 matrículas del Proyecto Producción Competitiva (PCC) (Chilibroste & Battegazzore, 2019) resultó que la producción de forraje en el área VM fue de 6028 kg MS/ha/año para una carga promedio de 1.1 VM/ha VM (Chilibroste & Battegazzore, 2014).

Según Fariña y Chilibroste (2019a) la cosecha de forraje por pastoreo directo en promedio alcanza las 3 toneladas de MS/ha en los sistemas locales, lo que representa una desventaja competitiva frente a los sistemas internacionales, que logran producir hasta 15 toneladas de MS/ha.

Ortega et al. (2024), en base a los resultados arrojados en el análisis comparativo entre dos cargas altas -1.5 y 2 VO/ha PP-, con manejos de pastoreo contrastantes, demostraron que existe un efecto de la carga sobre el forraje cosechado directamente por los animales (4.591 y 5.749 kg MS/ha/año para las cargas 1.5 y 2 VO/ha PP respectivamente), pero no sobre el forraje total producido (7650 kgMS/ha/año en promedio) ni en el forraje total cosechado en el área de pastoreo (directo + mecánica), logrando eficiencias de cosecha (directa y mecánica) del 88% para cargas de 1,5 VO/ha PP, y de 82% para cargas de 2,0 VO/ha PP; 65 y 63 % de cosecha directa respectivamente.

2.3.4 Pasturas: base de la alimentación de los sistemas lecheros

La producción de pasturas es fundamental para una producción competitiva, ya que es el componente más económico de la dieta (Morón, 2008).

Es necesario proyectar en los sistemas de altas cargas una estrategia que concilie los requerimientos del sistema, con un manejo de la pastura que permita alcanzar mayores producciones, planificando la secuencia de pastoreos de acuerdo a las TC y de cuanto forraje debe acumularse antes de cada pastoreo (Astigarraga, 2004; Tuñón et al., 2018).

Según Ortega et al. (2024) la carga afecta los tiempos de acceso a la pastura, donde cargas de 1.5 VO/ha PP tuvieron más turnos de pastoreo que cargas de 2.0 VO/ha PP (68% vs. 61%, respectivamente). Los animales del grupo de carga 2.0 VO/ha PP tuvieron mayor tiempo a un turno de pastoreo (12%), mientras que con la carga de 1.5 VO/ha PP se consiguieron mayores oportunidades de pastoreos a doble turno (14%) comparativamente.

El manejo del pastoreo en pasturas mezclas de gramíneas y leguminosas debe estar controlado, el ingreso debe realizarse cuando la luz empieza a ser limitante, con alturas de 15 a 20 cm, o tres hojas por macollo en gramíneas, y el retiro se debe realizar cuando aún quedan hojas fotosintéticamente activas, 5 a 7 cm de altura, significando producciones de +1200 kg MS/ha, y un 25 % en la persistencia (Zanoniani et al., 2003).

2.3.4.1 Monitoreo del área de pastoreo

Según Pravia et al. (2013), sin una base certera que sirva para comparar y sin el adecuado entrenamiento, la estimación visual de la disponibilidad de MS no asegura que sea certera, pudiendo cometer errores al momento del manejo, viéndose afectada la productividad, la persistencia del recurso forrajero, y en consecuencia la performance animal.

Es preciso conocer cuánto come un animal de lo que se le ofrece, en cualquier actividad de producción animal, para determinar cuán eficiente es la transformación a producto secundario (Dulau, 2011). En tal sentido, estimar la disponibilidad de forraje en el área de pastoreo es un desafío, en donde la cantidad de forraje es muy variable debido a las interacciones existentes en los procesos de crecimiento, senescencia, y hasta el propio consumo por parte de los animales (Pravia et al., 2013). El forraje remanente es lo que queda luego de la defoliación por cosecha directa o por corte mecánico, y el manejo de un remanente óptimo, garantiza que las pasturas alcancen su potencial, al controlar el consumo por las vacas, y la calidad. Es esencial evitar remanentes muy altos o muy bajos, monitoreando diariamente con recorridas detalladas, impidiendo pérdidas de calidad por desperdicio o enlenteciendo de los rebrotes posteriores (Fariña et al., 2017).

Para Pravia et al. (2013), los métodos a considerar para la determinación de disponibilidad, dependen no solo de los objetivos que se busquen, sino también de los recursos disponibles -capital humano y materiales-, condiciones de la vegetación, entre otros.

Los métodos se pueden agrupar en dos categorías: destructivos y no destructivos; si bien estos últimos son menos precisos que los primeros, tienen como ventaja el menor tiempo operativo y el esfuerzo, ya que se basan en estimaciones visuales, medida de altura y/o de la densidad de la pastura. Si bien se acepta la altura para estimar disponibilidad de forraje, ésta forma de estimación deja de lado el hecho de que la vegetación no presenta

una arquitectura uniforme, sino que se encuentra en constante cambio (McCutcheon, 2011).

2.3.4.2 Pasturómetro C-Dax® como herramienta para estimar disponibilidad de forraje

El medidor de pasto C-Dax® se trata de un accesorio remolcable, que determina la altura de forraje promedio, a medida que el forraje rompe la trayectoria de la luz puede tomar numerosas lecturas de coberturas de pasto (200 por segundo) a través de un potrero, y se debe usar a velocidades de 20 km/h como máximo (Rennie et al., 2009). Presenta mediciones confiables independientemente de las condiciones climáticas, y frente a cualquier condición de luz (Yule et al., 2010).

Para Rennie et al. (2009) éste instrumento tiene el potencial de hacer mediciones rápidas, precisas, reduciendo el tiempo para obtener las estimaciones en el área de interés, resaltando además que esta poco influenciado por quien realiza la tarea, debido a la mínima entrada del operador, a diferencia de otros métodos, donde se aprecian mayores variaciones, explicados por la técnica y la subjetividad. La bibliografía habla de reducciones de 1/6 del tiempo de medición en comparación con el Rising Plate Meter (RPM) siendo el costo inicial 10 veces mayor (Schori, 2015).

La complejidad del C-Dax® radica en el uso de ecuaciones de calibración del fabricante, lo que vuelve primordial la necesidad de generar ecuaciones bajo las condiciones locales de manejo de las praderas, permitiendo una mejor predicción del rendimiento (King et al., 2010).

Este método de medición entonces, resulta ser una alternativa de fácil y rápida aplicación para el manejo del pastoreo en predios de escala comercial, tratándose de una herramienta económica, práctica y rápida, que no requiere de corte, recolección de muestras y pesaje posterior.

En Uruguay, la experiencia con el C-Dax ha sido evaluada y calibrada por INIA (La Estanzuela) y la Facultad de Agronomía (Centro Regional Sur) (Fariña et al., 2017; Ortega et al., 2024).

2.3.4.3 Como mejorar la utilización del forraje producido

La metodología 3R tiene como cometido fundamental cosechar todo el crecimiento del forraje de la PP, a través del monitoreo sistemático de las pasturas,

permitiendo ajustar las prácticas de pastoreo, optimizando el consumo, y reduciendo los costos asociados a la suplementación y/o la compra de alimentos adicionales.

El sistema se basa en una recorrida semanal de los potreros, donde se evalúa el estado fisiológico de las plantas, se estima la disponibilidad de los potreros, y se calcula el stock promedio en la SEP. La premisa es tener indicadores que faciliten la sincronización entre la oferta de forraje disponible, y la demanda de los animales, lo que permite mantener un nivel constante de stock de forraje en los potreros, evitando el sobrepastoreo y la subutilización de las pasturas. El control y monitoreo del “stock de forraje” y la TC de la SEP optimizan el aprovechamiento de las pasturas, permiten a los productores anticiparse a posibles déficits de forrajes, o a la necesidad de ajustar las decisiones de pastoreo y suplementación, mejorando el manejo de los sistemas (Fariña et al., 2017).

En situaciones experimentales la implementación de éste sistema de manejo ha resultado en cosechas de entre 9 y 10 toneladas de pasturas (entre pastoreo directo y reservas), logrando producciones en leche de 1.400 kg de sólidos/ha/año (Otaño et al., 2021).

2.4 PRODUCCIÓN Y PRODUCTIVIDAD DE LECHE Y SÓLIDOS

Fales et al. (1995) demostraron que la producción de leche por ha está directamente relacionada con la carga animal. Según McMeekan (1961) un aumento en la carga reduce la producción por vaca, pero aumenta la producción por superficie. Fariña et al. (2011), reportaron que el sistema que aumenta la carga, no se vio afectado por éste aumento; mientras mantuvo la producción de leche por vaca, logró aumentar la producción total de leche por ha, explicado por una mayor eficiencia en el uso de suplementos, suministrados para compensar el déficit en el consumo de forraje.

Fariña y Chilibroste (2019b) analizando la productividad de 256 sistemas lecheros comerciales en Uruguay de 2013 a 2017 probaron que el crecimiento en productividad (producción de leche por ha) se debió a las mayores cargas, lo que permitió un aumento de la cosecha de forraje por ha (pastura y forrajes conservados), y mayor suministro de suplementos importados.

Chilibroste y Battezzore (2014) encontraron una relación entre carga y las variables productivas, donde para una carga de 1.34 VM/ha VM la producción individual -20.9 l/día- superó a razón de +3.3 l/VO/día la producción de las cargas menores (0.87

VM/ha VM), equivalente a una producción de 4365 l/ha (-3873 l/ha en relación a la carga más alta). Por su parte, la diferencia en sólidos/ha fue de +279 kg, a favor del sistema de mayor carga (583 kg/ha) asociándose con un mayor consumo de concentrados (+963), reserva (+864) y forraje (+1623) kg/ ha VM (Chilibroste & Battegazzore, 2014).

De la experiencia llevada a cabo por Ortega et al. (2024) resultó que la producción promedio anual de leche en el área de PP fue de 12590 y 17112 l/ha y 986 y 1334 kg/ha de sólidos para las cargas 1.5 VO/ha y 2.0 VO/ha respectivamente. La producción de leche individual no difirió significativamente entre tratamientos, con producciones promedio en el entorno de los 23 l/VO/día. Sin embargo, si se observaron diferencias en la producción de sólidos, especialmente en la grasa, en favor de los sistemas con mayor carga (+ 0.4 kg/VO/día).

Del Proyecto INIA 10-MIL resultó que la carga animal y la estrategia de alimentación “manda pasto” y “manda dieta”, no incidió sobre la producción de leche y de sólidos, con producciones de leche promedio de 22.8 l/día y 21.3 l/día respectivamente, alcanzándose el objetivo de los 1000 kg de sólido/ha VM (grasa + proteína) (Fariña, 2019).

2.5 IMPACTO ECONÓMICO DEL AUMENTO DE CARGA

El margen de alimentación es un indicador del ingreso de capital (IK) de la actividad lechera, ya que un margen positivo significa que los ingresos superan los costos de alimentación, situación deseable e indispensable para mantener la viabilidad económica del sistema. El IK leche de los predios, es uno de los principales indicadores utilizados para evaluar el resultado económico en el área de vaca masa (VM) de los sistemas; el IK leche representa más del 80 % del IK total de la empresa (Chilibroste & Battegazzore, 2019).

Es una herramienta de monitoreo rápida y precisa de la eficiencia de alimentación del rodeo lechero, que permite evaluar la producción y ajustar la dieta Cooperativa Nacional de Productores de Leche (*Margen de alimentación*, s.f.).

El margen de alimentación representa el saldo positivo que queda de la producción de leche luego de descontar los gastos de alimentación por litro producido, y considera todos los costos de alimentación del rodeo: pasturas, reservas, concentrado y suministro (Chilibroste & Battegazzore, 2014). Se puede presentar tanto en U\$S/VO/día y acumulados por unidad de superficie U\$S/ha/año, y se asocia con el resultado

económico de la empresa. Representa la ganancia económica luego de descontarle al valor bruto de la leche, el costo total de alimentación para producirla, significando ésta última el 60-65 % de los costos del tambo (*Margen de alimentación*, s.f.).

En los sistemas de producción donde la cosecha directa representa el 48 a 54% de la dieta de los animales en el año, se determinó una alta asociación entre productividad (litros o kilogramos sólidos /ha VM/año) y margen de alimentación (U\$S/ha VM/día) (Chilibroste, 2015; Chilibroste & Battegazzore, 2014). Tambos con mayor eficiencia de conversión de pastura por VO, presentan mejores márgenes sobre alimentación por ha que los tambos de menor eficiencia, 4.0 y 3.9 U\$S/VO/día respectivamente (Aguerre & Chilibroste, 2018).

Si bien los costos de alimentación varían entre 10 y 20 centavos de dólar por litro, entre sistemas la gran diferencia la define la cosecha de forraje (Chilibroste & Battegazzore, 2019). Es altamente aceptado que el resultado económico de un predio está basado en la producción por unidad de superficie e individual de cada vaca (Mendoza et al., 2011), un mayor consumo de forraje por ha podría sostener un mayor número de vacas por superficie y mayor productividad (l/haVM)) (Fariña, 2019).

Los factores más importantes de la rentabilidad entre predios lecheros basados en pastoreo, son principalmente la carga animal y la productividad de leche por vaca (Klein, 2003), mejorando la rentabilidad aquellos predios que con aumentos de la carga animal, consiguen aumentar los consumos de pasto por ha (Baudracco et al., 2010).

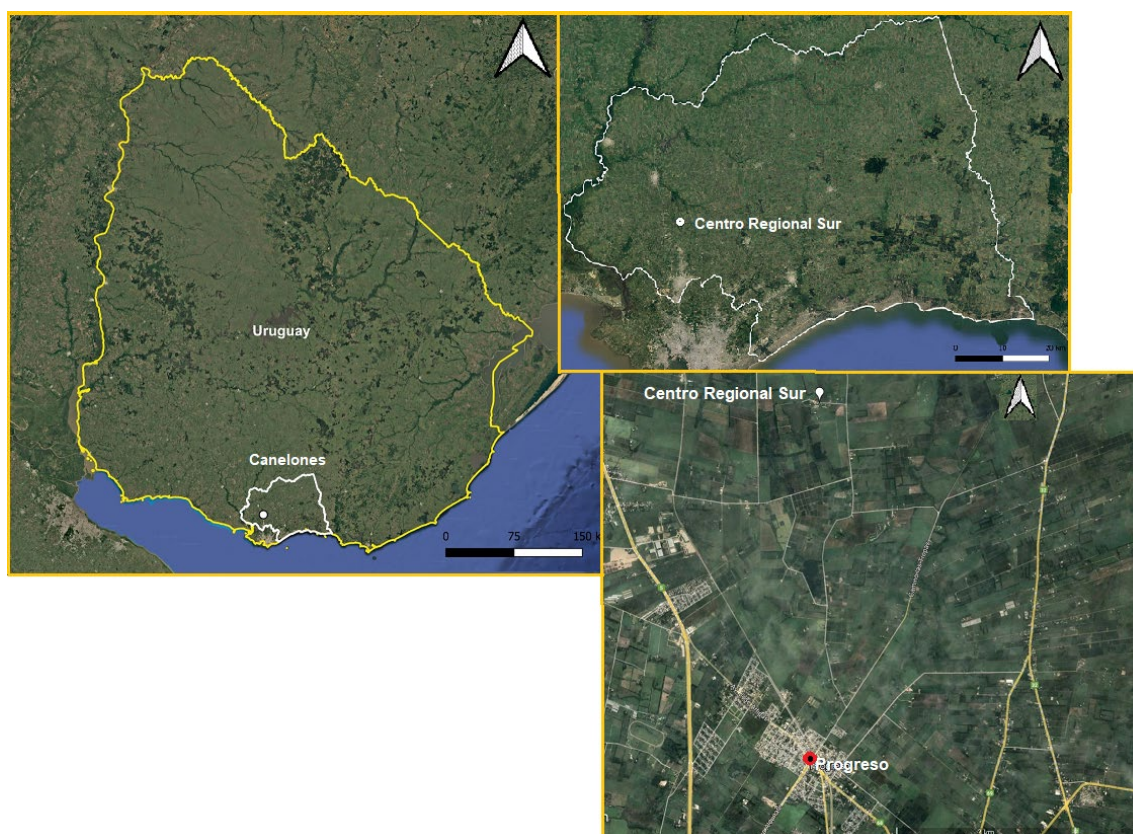
3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN Y PERIODO EXPERIMENTAL

La investigación se llevó a cabo durante la estación estival, comprendida entre el 21 de diciembre de 2021 hasta el 21 de marzo de 2022, en la Unidad de lechería del Centro Regional Sur (CRS) de la Facultad de Agronomía, ubicado sobre camino Folle en el km 35.500, departamento de Canelones, Uruguay (coordenadas 34° 36.810 S, 56° 13.088 W).

Figura 5

Ubicación del predio donde se realizó la investigación



Nota. Adaptado de imágenes satelitales de Google Earth (2025).

El trabajo se desarrolló en el marco del proyecto Estrategias de intensificación en sistemas pastoriles intensivos de producción de leche, contrastantes en inversión de infraestructura, simplicidad operativa y costos de producción, promovida por la Red Tecnológica de la Cadena Láctea (RTCL) apoyado por UdelaR (Facultad de Agronomía y Facultad de Veterinaria), y Conaprole, con la participación de PGG Wrightson Seeds,

Colaveco, e INALE. En el mismo se evaluó el impacto de la intensificación sobre variables económicas, sociales y ambientales.

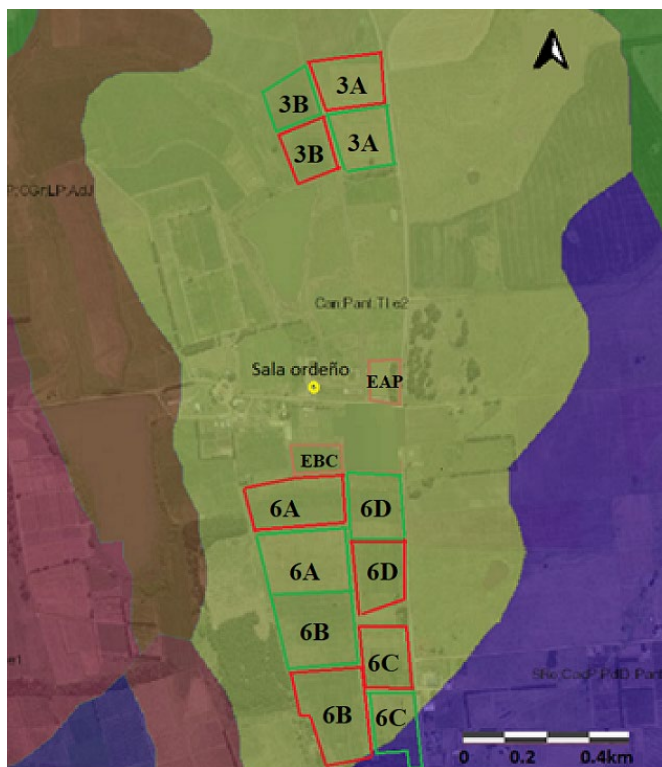
3.2 RECURSO EDAFOLÓGICO

Los mapas se extrajeron del visor de la Dirección General de Recursos Naturales (DGRN, s.f.), según coordenadas del sitio experimental, filtrando en el menú Contenidos por Carta de Suelos, en Suelos, por Grupos CONEAT (Figura 6 y 7).

Se observa en la figura 6 que la casi totalidad del área del ensayo (38.96 ha) corresponde a un complejo indiferenciado de suelos integrado por las series: Canelones, (Vertisol Rúptico Típico Limo Arcilloso), Pantanoso (Brunosol Éútrico Típico Limo Arcilloso), y Tala Rodríguez (Vertisol Rúptico Lúvico Limo Arcilloso). El área restante (1.04 ha), por su parte, pertenece al complejo indiferenciado de suelos integrado por las series: Santa Rosa (Brunosol Subéútrico Lúvico Limo Arcilloso.), Cañada. De Prudencio (Brunosol Subéútrico Típico Limo arcilloso), Paso de los Difuntos (Brunosol Subéútrico Lúvico Limo arcilloso) y Pantanoso (Brunosol Éútrico Típico Limo arcilloso) (DGRN, s.f.).

Figura 6

Mapa Carta de suelos 1: 40.000



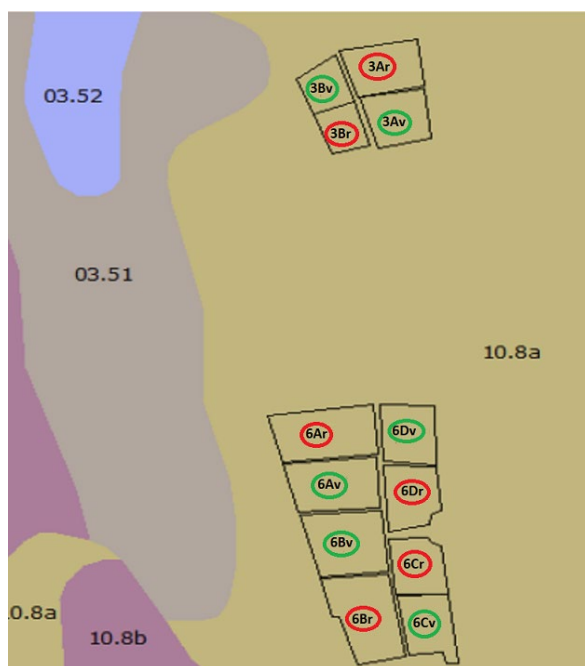
Nota. Adaptado de DGRN (s.f.).

Los grupos CONEAT mostraron la totalidad del área ocupada por el grupo Coneat 10.8 a (figura 7), con un índice de productividad de 105.

Los suelos corresponden a Vertisoles Rúpticos Típicos y Lúvicos (Grumosoles), Brunosoles Éutricos y Subéutricos Típicos (Praderas Negras y Pardas medias), de color negro o pardo muy oscuro, textura franca arcillo limosa, fertilidad alta y moderadamente bien drenados (DGRN, s.f.).

Figura 7

Ubicación del Grupo CONEAT dentro del área de estudio



Nota. Adaptado de DGRN (s.f.).

3.3 CLIMA

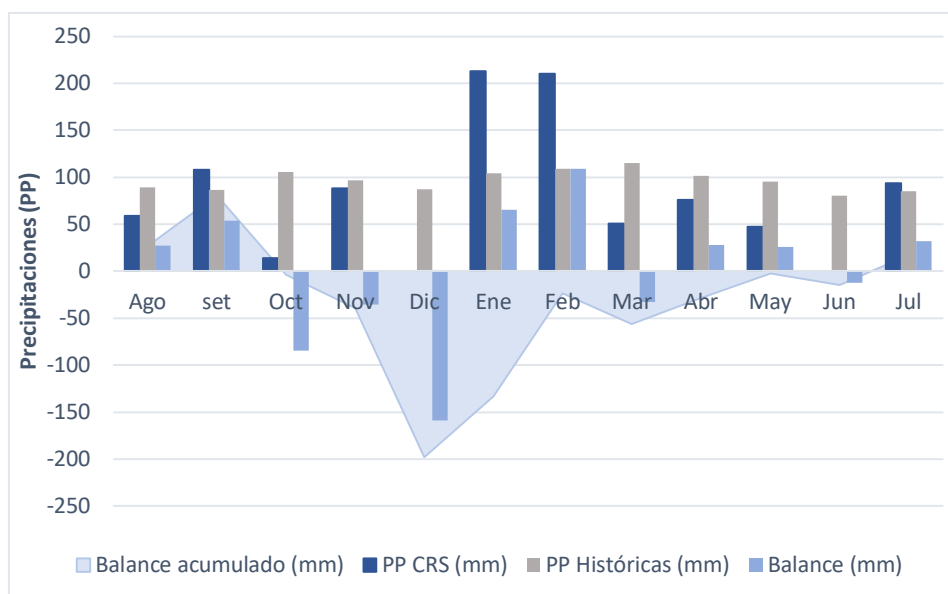
3.3.1 Precipitaciones

Para la caracterización climática se consideró la base de datos de CRS, aportada por el equipo docente (G. Ortega, comunicación personal, 26 de marzo, 2022).

Las precipitaciones se distribuyeron con un máximo en enero y febrero, 213 y 210 mm respectivamente, descendiendo de forma progresiva hacia marzo -51 mm- superando el promedio histórico durante enero y febrero; sin embargo, en diciembre no se registraron precipitaciones, estando por debajo del promedio histórico, situación que se venía sosteniendo desde octubre, motivo por el cual se entró al verano con un balance hídrico negativo (figura 8).

Figura 8

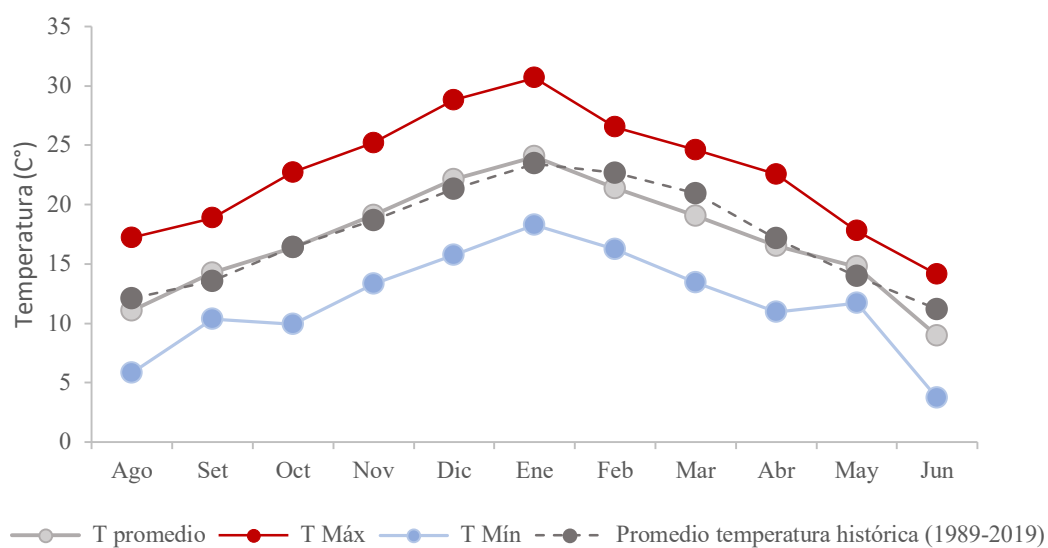
Precipitaciones registradas y balance hídrico (acumulado mensual) durante el periodo experimental



Nota. * Periodo histórico correspondiente a la serie de datos comprendidos entre los años 1989-2019. Elaborado a partir de planillas de Clima de CRS (G. Ortega, comunicación personal, 26 de marzo, 2022).

3.3.2 Temperatura

La temperatura media durante el ensayo fue $21.6 \pm 1.8^{\circ}\text{C}$, con máximas entre los 27.4 y 41.3°C , con el pico de máxima el 14 de enero, y con promedios de temperaturas por debajo del promedio histórico durante los meses siguientes (figura 9).

Figura 9*Régimen de temperatura mensual durante el periodo experimental*

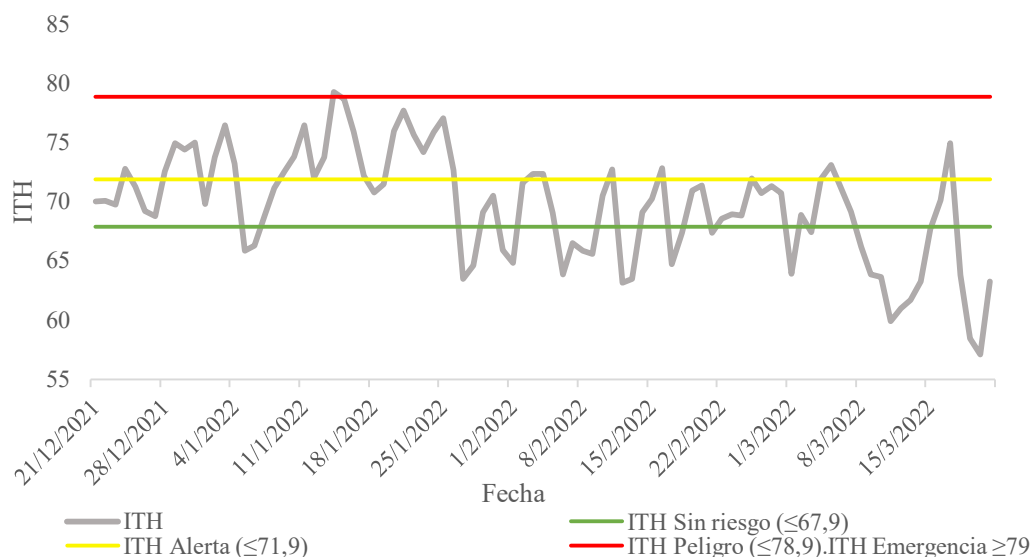
Nota. * Periodo histórico correspondiente a la serie de datos comprendidos entre los años 1989-2019. Las temperaturas máximas y mínimas se expresan en términos mensuales, como promedio de las temperaturas diarias. Elaborado a partir de planillas de Clima de CRS (G. Ortega, comunicación personal, 26 de marzo, 2022).

3.3.3 Ambiente Térmico

Durante el ensayo el ITH promedio fue 69.7 ± 4.6 , alcanzando la zona de peligro hacia fines de diciembre y enero, momento en que se registraron los mayores niveles de temperatura y humedad, oscilando entre la zona de alerta y sin riesgo el resto del periodo (figura 10).

Figura 10

Evolución del ITH (expresado semanalmente) durante el periodo experimental



Nota. * Periodo histórico correspondiente a la serie de datos comprendidos entre los años 1989-2019. Elaborado a partir de planillas de Clima de CRS (G. Ortega, comunicación personal, 12 de junio, 2025).

Como se observa en la tabla 2, durante el periodo experimental (PE) solo para el 14 de enero se alcanzó un ITH de 79.3. Del 20 al 25 de enero se registraron índices que superaron los 74, (76.0, 77.8, 75.7, 74.2, 75.9, y 77.1), situación que pudo significar estado de emergencia por estrés térmico para el rodeo lechero.

Tabla 2

ITH para el riesgo de estrés térmico durante el periodo del experimento

ITH	Días
sin riesgo	29 días
alerta	29 días
peligro	31 días
emergencia	1 días

3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

3.4.1 Animales y tratamientos

El ensayo contó con ochenta y nueve vacas, en lactancia media, raza Holando, Jersey, y Kiwi (cruza) del rodeo general del CRS, distribuidas en dos sistemas, uno con 56 VO, y otro con 33 VO durante el PE, distribuidas en un área de 20.7 ha de PP, significando una carga animal promedio 2.7 y 1.6 VO/haPP (tratamiento AP y BC respectivamente).

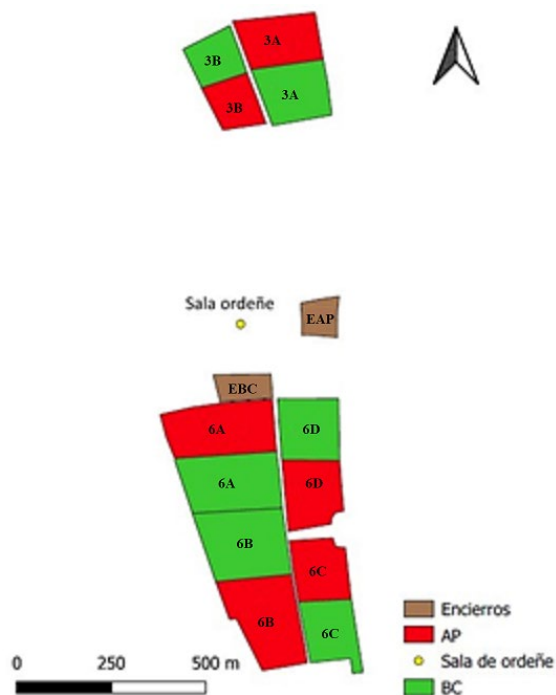
Los animales seleccionados para el desarrollo del proyecto se mantuvieron durante tres años de evaluación (2021-2024) bajo las mismas condiciones, fluctuando el número de animales según se sucedieran: secados por vacas próximas al parto, problemas reproductivos, sanitarios que obligaron a apartar a los animales para recibir tratamiento, y/o ser refugadas-descartadas en los casos que así lo ameritaran, siguiendo los protocolos ya establecidos en el tambo. Ambos tratamientos se estructuraron buscando paridad, asegurando un equilibrio dentro de éstos en fecha de parto (24 de junio ; 15 de junio), números de lactancia (3.2 ; 3.3), días de leche promedio al inicio del ensayo (180 días ; 184 días) (lactancia media), producción de leche (18.55 ± 4.44 ; 17.44 ± 3.73), PV (485.07 ± 73.57 ; 504 ± 75.6) y CC pre-experimental (3.01 ± 0.33 ; 2.94 ± 0.37) para los sistemas AP y BC respectivamente; asegurando que no hubieran sesgos en las variables bajo estudio explicados por el factor animal entre tratamientos.

3.4.2 Recurso forrajero, y arreglo espacial de los tratamientos

Las áreas de pastoreo consistieron en una rotación de 6 años de duración combinando 2 años de praderas bianuales -praderas cortas- (*Lolium multiflorum* ciclo largo + *Cichorium intybus* + *Trifolium pratense*; resiembra *Lolium multiflorum* en el segundo otoño), y 4 años de pasturas –praderas largas- base *Lolium arundinacea* con leguminosas, y *Dactylis glomerata* con *Trifolium repens*. A cada tratamiento (Rojo-AP- y Verde-B) se le asignaron 6 potreros que totalizaban 20.7 ha de PP (figura 11; tabla 3).

Figura 11

Distribución de los potreros en el área del experimento



Nota. Aportado por G. Ortega (comunicación personal, 16 de febrero, 2022).

La distribución espacial de los potreros en toda el área destinada al desarrollo del ensayo, se hizo uniformemente, evitando sesgos explicados por la distancia de la sala de ordeño, el tipo de suelo, y las pasturas. Las áreas de descanso de los animales se limitaron cercanas a la sala de ordeño. Durante el ensayo, la superficie efectiva de pastoreo de los sistemas AP y BC se vio disminuida, debido a que las áreas con raigrases bianuales, y con praderas de cuarto año, fueron “quemados” para barbecho, reduciéndose el área de pastoreo a 17.6 ha en enero (quema de los potreros 6D) y a 9.7 ha en febrero y marzo (quema de los potreros 3A, y 6A).

Tabla 3*Rotación forrajera asociada a los tratamientos AP y BC*

Potreros	Superficie (ha)	Dic-21	Ene/feb-2022
3A	3,30	D + TB 4°	Barbecho
3B	2	D + TB 3°	D + TB 3°
6A	4,6	Ach + Rg + L	Barbecho
6B	4,85	F + TB + A 1°	F + TB + A 1°
6C	2,8	F + TB + TR 2°	F + TB + TR 2°
6D	3,15	Rg M	Barbecho

Nota. Ach: Achicoria (Puna II); A: Alfalfa (Chaná); D: Dactylis (INIA Oberón); F: Festuca (INIA Fortuna); L: Lotus (San Gabriel); Rg M: Raigrás (Italiano Magno o WS3); TB: Trébol Blanco (Amaru); TR: Trébol Rojo (INIA Antares).

La rotación forrajera no incluyó VV, por lo cual las transiciones provenientes de los potreros con praderas de cuarto año pasaron a barbecho químico -en enero-, así como los componentes bianuales en su segundo año (aquellos que tenían achicoria), y sumado a ellos los raigrases bianuales, que por motivos de sequía no persistieron.

3.4.3 Áreas destinadas a encierro

Las áreas de descanso/encierro difirieron entre tratamientos: el tratamiento BC contó con un área total de 1.21 ha con sombra y agua disponible, donde se les ofrecía silopack en aros de hierro, cuando no tuvieron acceso a ninguna sesión de pastoreo. Por su parte, el área de descanso de los animales del tratamiento AP con 1.1 ha, además de contar con sombra y agua, consideraba una playa de alimentación a la salida del tambo donde se les ofrecía una suplementación estructural con reservas de forraje y concentrado, y una zona de encierro “cama a cielo abierto”. Instalación que se comenzó a utilizar por atrasos en su ejecución en el mes de marzo.

Los potreros de descanso se utilizaron cuando las TC fueron bajas, con un stock de forraje por debajo del objetivo, y/o cuando las condiciones para ingresar a la pastura no fueron las óptimas por lluvias, donde las condiciones edáficas (piso) pudieran significar pérdidas en la biomasa por efecto del pisoteo, o dificultades en la accesibilidad.

3.4.4 Manejo de los tratamientos

3.4.4.1 Criterios de pastoreo y gestión de las pasturas como base de la alimentación

Los tratamientos AP y BC fueron manejados en base a los mismos criterios de pastoreo de entrada y salida a las franjas. El manejo del pastoreo fue rotativo en franjas, las cuales se subdividían con cercas electrificadas dentro de los potreros, y se marcaban de acuerdo a la sesión de pastoreo (AM/PM). En el tratamiento AP las franjas eran diarias, mientras que para el tratamiento BC las franjas se armaban cada 3 días.

La TC y el stock forrajero de los potreros de la PP, se estimó una vez por semana, cada martes invariablemente durante el PE registrando la cantidad de forraje disponible, capaz de ser ofrecido a los animales en pastoreo. Los criterios de decisión de manejo de la plataforma se establecieron de acuerdo a si se estaba por encima o por debajo del stock forrajero objetivo 2200 ± 200 kg MS/ha (estimado por C-Dax®) y si la TC permitía asignaciones de forraje entre los 4 a 11 kgMS/VO, o superiores a 12 kgMS/VO, determinando uno o doble turno de pastoreo respectivamente. Significaron el encierro (no acceso al pastoreo) de los animales, disponibilidades por debajo de los 2200 kgMS/ha, y condiciones de exceso hídrico que impidieran el acceso al pastoreo.

3.4.4.2 Gestión del área de pastoreo

Para el manejo del pastoreo se aplicaron las bases del sistema de manejo en tres pasos desarrollado por el equipo de investigación de la Unidad de Lechería de la Estanzuela (Fariña et al., 2017), utilizado a nivel experimental por INIA “Proyecto 10-MIL” (Fariña, 2019) y Fagro (Ortega et al., 2024), modelo de las 3R: Recorrida, Rotación y Remanente. El recorrido semanal se iniciaba en la mañana hasta el mediodía, cada martes durante los 90 días del trabajo, utilizando el C-Dax®, en pasadas diagonales, siguiendo una transecta, capturando toda la variabilidad dentro de los potreros, permitiendo calcular con los datos de biomasa disponible registrados, la TC promedio diario (kg MS/ha/día) y el “stock” de pastura promedio (kg MS/ha) en la PP. La asignación diaria de pastura (kg MS/VO/día), se calculó dividiendo la TC por la carga animal en la PP, de esa manera se determinaba la cantidad de forraje disponible para ofrecer a los animales, y se planificaban los turnos de pastoreo, buscando que los animales cosecharan el crecimiento sin afectar el stock.

Los pastoreos iniciaban en los potreros que al momento del monitoreo semanal tuvieran la mayor disponibilidad de forraje (2200 ± 200 kg MS/ha), considerando además que el momento óptimo para pastorear las gramíneas se alcanzaba con 2,5 a 3 hojas.

3.4.4.3 Gestión de la suplementación

Las vacas del sistema BC fueron suplementadas con henolaje producto de los excedentes de primavera dentro de la PP; mientras que a los animales del sistema AP se le ofreció henolaje, ensilaje de sorgo (de diciembre a febrero), y ensilaje de maíz (para el mes de marzo) según disponibilidad en el tambo -producidos fuera del área de pastoreo-, mezclado en el mixer con cascarilla de soja o concentrado comercial (TMR).

Los animales en los dos tratamientos fueron suplementados durante los dos ordeños diarios, en comederos individuales con concentrado proteico Prolacta 18 (18% de proteína cruda), a razón de 5.28 kgMS/VO/día durante todo el periodo. Es preciso destacar que se mantuvo invariable la cantidad entregada a los animales en sala, por las dificultades operativas que significaba ajustar el sistema de descarga automático de ración en los comederos a los requerimientos particulares de cada tratamiento.

La dieta se planificó semanalmente buscando por cosecha directa el mayor consumo de forraje posible, y luego ajustando la dieta con ensilaje y concentrados, en la Planilla Lecheras, brindada por el director del trabajo (G. Ortega, comunicación personal, 27 de enero, 2022) siguiendo las recomendaciones nutricionales de mantenimiento y producción potencial de las vacas con el National Research Council (2001) según: PV, número de lactancias, producción de leche, y contenido de grasa, considerando una producción potencial de 6500 litros de leche por lactancia.

3.4.4.4 Rutina de ordeño

Diariamente se realizaron dos turnos de ordeño por día, a las 05:00 AM y 15:00 PM respectivamente, horas que determinaron los turnos de pastoreo: turno AM (07:00 h a 14:00 h) y turno PM (17:00 h a 03:00 h). De acuerdo a la planificación semanal del manejo de los sistemas AP y BC, una vez terminado los ordeños, los animales iban a pastorear, o permanecían en encierro en los potreros de descanso. Se registraron los días en los que los animales estuvieron a doble turno de pastoreo, a un turno o en encierro total (sin acceso a pastoreo). El pastoreo se realizó en periodos de 8 horas, determinados por las horas del ordeño, una vez que los animales salían de la sala, en caso de pastoreo, se dirigían a la parcela correspondiente hasta el próximo ordeño. El tiempo dedicado al

pastoreo se expresó como un porcentaje del total de turnos. Las decisiones se tomaron semanalmente, teniendo en cuenta los requerimientos nutricionales, la TC diaria de las pasturas, y la cantidad de forraje disponible.

El encierro de los animales a 1 o 2 turnos se realizó con el objetivo de restringir el consumo de forraje por cosecha directa, manteniendo y/o recuperando en consecuencia el stock objetivo en la SEP, en aquellos momentos donde la TC fue baja o nula.

3.5 DETERMINACIONES EN LAS PASTURAS

3.5.1 Disponibilidad de forraje en la plataforma de pastoreo

Con el C-Dax® se obtuvieron mediciones de altura de forraje que, mediante una ecuación ajustada para las pasturas del ensayo, permitieron estimar la biomasa disponible de cada potrero, y el stock de forraje del área, ponderando los potreros de la PP.

La ecuación ajustada en calibraciones anteriores al presente trabajo, fue aportada por el equipo docente.

C-Dax® $y = 13.469 \cdot x + 826$ (G. Ortega, comunicación personal, 21 de diciembre, 2021)

Siendo:

y la biomasa en kg MS/ha, y x la altura del forraje expresada en mm.

3.5.2 Tasa de crecimiento

La TC diaria se calculó como la diferencia entre dos estimaciones consecutivas de biomasa disponible para cada potrero, dividido los días entre dichas estimaciones. Para el cálculo en la PP, se consideraron los potreros que no estaban en pastoreo en esa semana.

3.5.3 Stock de forraje

Se realizó una recorrida semanal en todos los potreros de la SEP los días martes durante todo el periodo, donde se midió con C-Dax® siguiendo una transecta imaginaria, obteniendo el dato de forraje disponible por ha en cada potrero, calculando así el stock total.

3.6 DETERMINACIONES EN LOS ANIMALES

3.6.1 Consumo de forraje directo

Los pre y post pastoreo en kg MS/ha se midieron con C-Dax® obteniendo mediante la ecuación calibrada el dato de disponibilidad de biomasa; las mediciones de forraje pre-pastoreo (disponible) se realizaron previo al ingreso de los animales a pastorear, mientras que las mediciones post-pastoreo (remanente) se realizaron una vez que las vacas abandonaban las franjas de pastoreo. Las mediciones se realizaron en pasadas diagonales -en zigzag- con una amplitud de 10 o 15 metros capturando de la mejor manera la variabilidad dentro de cada franja. Los pre pastoreos se midieron máximo 72 horas antes del pastoreo (sobretudo previo a fin de semana). La pastura cosechada (kg MS/ha) se calculó como la diferencia entre la biomasa pre y post pastoreo, multiplicado por el área de la franja en cada potrero, y se la dividió por el número de vacas para conocer el consumo animal kg MS/VO/día.

3.6.2 Asignación de forraje y eficiencia de cosecha

El forraje asignado por animal (kg MS/VO/día) se calculó multiplicando el área de la franja de pastoreo diario por el forraje disponible -pre pastoreo- dividido el número de VO.

3.6.3 Consumo de reservas y concentrados

Se llevó un registro de lo ofrecido a los animales en sala, asumiendo que consumían todo lo ofrecido; en playa de alimentación se pesaban los alimentos ofrecidos y rechazados; en el caso del ensilaje la medición la arrojaba la balanza del mixer, y se hacía lectura de comedero. Cuando se ofreció henolaje, en ambos tratamientos, se pesó lo ofrecido a los animales, y se estimó visualmente el alimento rechazado como porcentaje de lo ofrecido. Se extrajeron periódicamente muestras de silopack y ración parcialmente mezclada ofrecido y rechazado, que se secaron en estufa a 60° C por 48 horas, para determinar el contenido de MS. El consumo de concentrado se mantuvo invariable durante los meses del ensayo, estando automatizada la cantidad ofrecida durante los ordeños, a razón de 6 kg BF/VO/día (5.28 kg MS/VO/día), y se asumió que se consumió el total de lo ofrecido.

La cantidad de reservas (henolaje + ensilaje), y concentrados consumidos por los animales (en kgMS/ha), se calculó considerando el consumo estimado y multiplicándolo

por el número de vacas por ha de cada sistema durante el periodo. Además, se estimó el consumo acumulado al final del ensayo de los diferentes componentes de la dieta.

3.6.4 Peso vivo y condición corporal

El PV se midió utilizando una balanza digital, registrando el peso individual de cada animal. Ambos datos fueron registrados y vinculados al número de caravana de registro del CRS.

Una vez por mes, idealmente el jueves de la tercera semana en horas de la mañana, se evaluó la condición corporal (CC) de los animales de todo el ensayo, utilizando la escala de cinco puntos 1-flaca- al 5-gorda (Ferguson et al., 1994), tratándose éste de un método subjetivo para evaluar reservas corporales de vacas secas y lactantes. Es preciso tener en cuenta la CC para un correcto suministro de nutrientes, de forma tal que se puedan suplir los requerimientos de mantenimiento, crecimiento, producción y gestación (Vélez de Villa, 2013).

3.6.5 Producción y composición de leche

Se obtuvo diariamente el dato de producción de leche de cada ordeño, registrados con un sistema automático individual mediante el programa Dairy Plan (G. Ortega, comunicación personal, 21 de diciembre, 2021).

Cada 15 días se realizó el control lechero y se tomaron muestras para el estudio de la composición de la leche en términos de sólidos (grasa (G) y proteína (P)).

La producción de leche, y de sólidos por ha en los tratamientos se calculó sumando las producciones diarias de todas las vacas dividido por el área de la PP. La producción acumulada de leche, y de sólidos por tratamiento se consiguió sumando las producciones individuales desde el 21 de diciembre al 21 de marzo.

3.7 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los tratamientos se conformaron mediante la asignación aleatoria de los animales, siguiendo un diseño completamente al azar, de modo que cualquier diferencia observada en la respuesta pudiera atribuirse al efecto del tratamiento y no a otros factores. La base de datos se elaboró en hojas electrónicas de Microsoft Excel 2016.

Los sistemas AP y BC representaron los dos tratamientos; para el análisis de datos se utilizó la estadística descriptiva, analizándose estadísticamente con un enfoque de poblaciones, empleando el estadístico de prueba T Student para la comparación de

medias de poblaciones independientes ($\alpha=0.05$) para las variables: stock de forraje, TC, tiempos de pastoreo, asignación y consumo de forraje por cosecha directa, reservas y concentrado, producción de leche y de sólidos, y CC.

Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Dónde: Y_{ij} : variable de interés; μ : efecto de la media general; τ_i : efecto relativo de la carga $i=1, 2$; ε_{ij} : error experimental

Hipótesis estadística

H_0 : Tratamiento AP = Tratamiento BC

H_a : Existen diferencias entre tratamiento

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

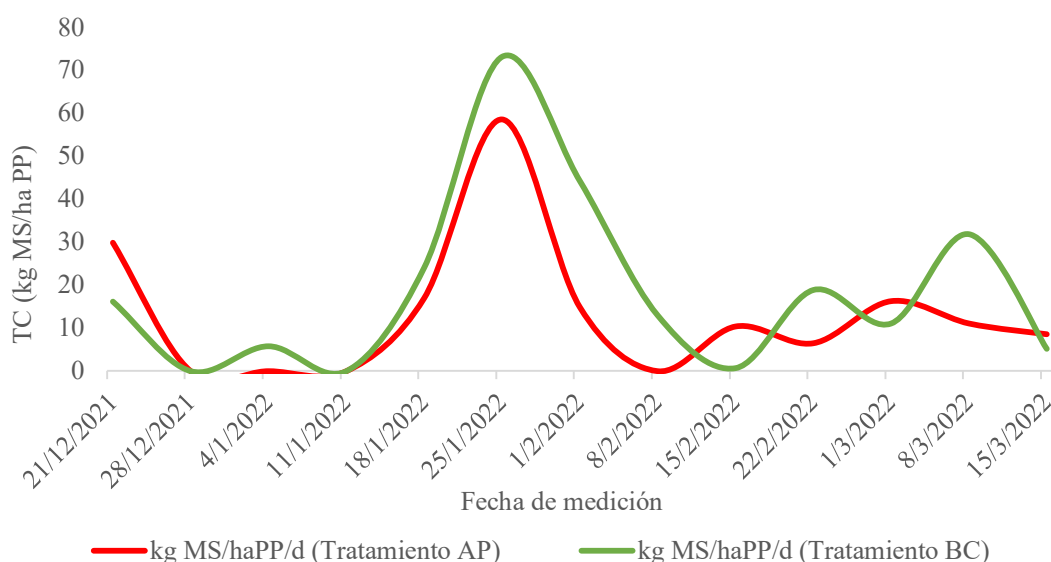
4.1 PASTURAS

4.1.1 Tasa de crecimiento

En la figura 12, se observa que las TC diarias alcanzaron un pico durante el mes de enero, en ambos sistemas, niveles máximos de todo el PE. Este aumento coincidió con un incremento en las precipitaciones y, en consecuencia, con una mayor disponibilidad de agua en el suelo (figura 8), lo que resultó en un menor estrés hídrico para las pasturas.

Figura 12

Tasas de crecimiento diarias (expresadas semanalmente) durante el período diciembre 21- marzo 22



Los incrementos en las TC se ven reflejados en la evolución del stock de forraje (figura 13), donde los sistemas AP y BC mostraron la misma tendencia, explicado por un manejo de las pasturas que priorizó el respetar los mismos criterios de entrada y salida de las franjas.

En la tabla 4 se observan las variaciones en las TC como promedios mensuales, las cuales oscilaron entre 15 y 20 kg MS/ha PP/día en el sistema AP, y entre 9 a 32 kg MS/ha PP/día en sistema BC. A pesar de las variaciones, no existió un efecto significativo de la carga animal sobre la TC, debido a que no existieron diferencias en la utilización de pasturas.

Tabla 4*Promedio mensual de TC diaria en sistemas AP y BC entre diciembre 21- marzo 22*

	Tasa de crecimiento (kg MS/ha PP/día)		P valor
	AP	BC	
Dic-21	15.4	9.2	0.71
Ene-22	17.5	22.9	0.76
Feb-22	17.1	32.1	0.29
Mar-22	20.2	32.5	0.65

Nota. Diferencias significativas con P valor ≤ 0.05

Las TC en el periodo diciembre -21 y marzo -22 fueron 17.6 kg MS/haPP en AP, y 24.2 kg MS/haPP en BC, valores que se encuentran en el entorno a los 20 kg MS/ha/día (García, 2003) para la misma época del año.

4.1.2 Producción y cosecha directa de forraje

No existieron diferencias entre los tratamientos en la producción total de forraje (p valor 0.57) ni en la cosecha por pastoreo directo (p valor 0.81), acumulándose 1617 kg MS/ha, con una cosecha de 1599 kg MS/ha durante todo el periodo en el sistema AP, mientras que el sistema BC tuvo una producción de 2362 kg MS/ha, y una cosecha directa de 1593 kg MS/ha (tabla 5), demostrando la mayor eficiencia del sistema AP para cosechar el forraje producido, aun disponiendo de menores turnos de pastoreo (figura 14), comparativamente, coincidiendo con el análisis de Ortega et al. (2024) quienes utilizando criterios claros de altura de entrada y salida de las franjas, y con una suplementación ajustada (forraje conservado y concentrado) con una carga 2 VO/ha PP (en relación a la carga de 1.5 VO/ha PP) reportaron mayores cosechas por pastoreo directo, pero no sobre el forraje total producido.

Tabla 5

Forraje producido y cosechado acumulado mensual por AP y BC entre diciembre 21-marzo 22

	Producción de forraje acumulada (kg MS/ha/mes)		Cosecha de forraje acumulada (kg MS/ha/mes)	
	AP	BC	AP	BC
Dic-21	169	102	160	166
Ene-22	712	812	229	424
Feb-22	1192	1712	765	1046
Mar-22	1617	2362	1599	1583

La rotación utilizada produjo el mayor volumen de forraje en enero en los dos sistemas (543 kgMS/ha y 710 kgMS/ha para AP y BC respectivamente), en relación a una rotación de pasturas con VV, donde los mayores volúmenes de forraje se distribuyen en enero y febrero, con producciones en el entorno a los 600-800 kgMS/ha/mes (figura 4), situación que permite de dos a tres pastoreos de diciembre a marzo, compensando la menor producción de las praderas, y admitiendo un manejo más aliviado de las pasturas.

En comparativa, una rotación con VV produce 2525 kgMS/ha en el periodo estival, mientras que la rotación de los módulos AP y BC produjo 1990 kgMS/ha, significando una diferencia de +535 kgMS/ha en favor de la rotación con verdeo (Zanoniani et al., 2003). Si bien incluir verdeo durante el verano permitiría contar con +374 kgMS para consumo de los animales -EC de 70 % promedio en los sistemas AP y BC- se vería aumentado el tiempo improductivo de la rotación, debido al tiempo de barbecho necesario para la siembra, ya que el rastrojo de sorgo por su alta relación C/N puede producir un efecto desfavorable sobre la pastura siguiente por su lenta descomposición, disminuyendo la SEP durante el otoño (Fassio et al., 2002), y por consiguiente el forraje disponible en la PP.

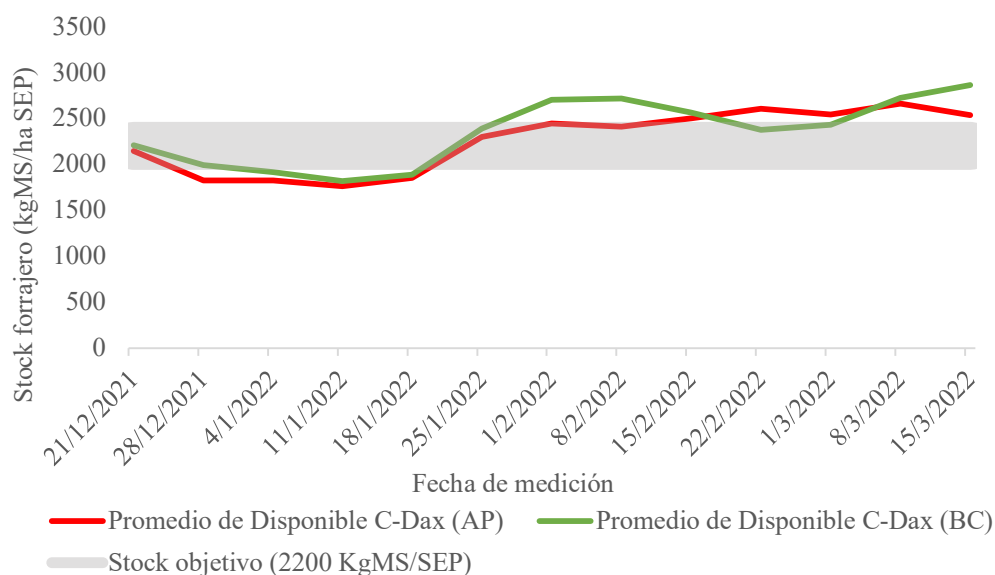
4.1.3 Stock de forraje en la superficie efectiva de pastoreo

El stock de forraje en la SEP siguió la misma tendencia en los dos sistemas (figura 13) alcanzándose el disponible de biomasa objetivo (2200 ± 200 kg MS/ha SEP). Los 2200 kg MS/ha SEP sirvieron de criterio -según se estuviera por encima o por debajo-

para una correcta planificación del manejo de las pasturas, acompañando la demanda animal con la disponibilidad de las mismas (Otaño et al., 2021), buscando igualar el consumo diario de forraje al crecimiento semanal, manteniendo estable el stock, con intervalos de pastoreos adecuados, que evitaron la pérdida de los rebrotes siguientes, tratando de asegurar la persistencia de la pastura (Lattanzi et al., 2022). La recorrida detallada de los potreros facilitó la toma de decisiones semanalmente (Fariña et al., 2017), manteniendo el stock de forraje objetivo.

Figura 13

Evolución del stock forrajero (expresado semanalmente) durante el periodo diciembre 21- marzo 22



Si bien aumentos en la carga pueden afectar la persistencia de las pasturas (Zibil et al., 2016), al igual que en el trabajo de Baudracco et al. (2011) donde evaluando carga no existió efecto sobre la producción de forraje (tabla 5), en el presente ensayo no hubo un efecto significativo de los tratamientos sobre la disponibilidad de forraje (p valor 0.51) siendo el stock 2261 ± 337 (desvío estándar) kg MS/ha SEP y 2352 ± 360 kg MS/ha SEP, para los sistemas AP y BC respectivamente.

4.1.4 Asignación y cosecha de forraje

En el sistema AP las asignaciones de forraje durante todo el periodo promediaron los 34 ± 7.4 kg MS/VO/día, con consumos promedio de 7 ± 1.6 kg MS/VO/día, significando una eficiencia de utilización de 20.7%; mientras que a los animales del tratamiento BC se los ofreció 42 ± 10.6 kg MS/VO/día con consumos de 7.5 ± 2.5 kg

MS/VO/día, representando una utilización de 17.6%; si bien según Comerón et al. (2007) aumentos en la carga se traducirían en mayores utilizations de los forrajes, en el presente ensayo no existieron diferencias significativas (tabla 6). Las asignaciones de forraje permitieron, durante todo el PE, utilizations que no se tradujeron en acumulación de forraje, y en consecuencia de pérdida de calidad, debido a que fue un factor controlado con medidas de manejo (turnos de pastoreo y encierros estratégicos) y con suplementación con reservas forrajeras, buscando mantener el stock de forraje de acuerdo al objetivo.

No hubo un efecto significativo de la carga sobre el forraje disponible, la asignación de forraje, y el consumo ($p>0.05$) (tabla 6).

Tabla 6

Disponible pre y post pastoreo, asignación y consumo aparente cosechado directamente promedio AP y BC

Tratamientos	AP	BC	P valor
Forraje disponible (kg MS/ha)	2582	2433	0.49
Forraje rechazo (kg MS/ha)	2026	1951	0.59
Asignación (kg MS/VO/día)	34	42	0.23
Consumo (kg MS/VO/día)	7.0	7.5	0.76

Nota. Diferencias significativas con P valor ≤ 0.05

Los momentos en que se alcanzaron mayores TC diarias, permitieron mayores asignaciones por animal, acelerando la velocidad de rotación, y por lo tanto el reingreso a pastorear en el mismo potrero, consiguiendo de esta manera mantener el stock de forraje entorno al objetivo (2200 kgMS/ha SEP).

Los pastoreos se planificaron además de acuerdo al estado de las pasturas y a las características propias de las especies que conformaban la rotación ya que: no se contó con la Achicoria, debido a problemas en la implantación durante el otoño previo; ni con el Raigrás perenne ya que si bien no tiene latencia estival, su crecimiento se vio reducido durante el verano, mientras que la Festuca y el Dactylis, con mejor capacidad de crecimiento bajo las condiciones estivales, cobraron mayor importancia en el aporte al

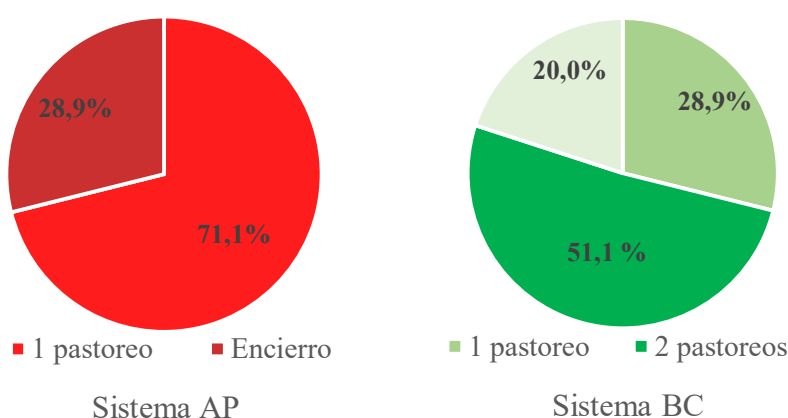
stock de forraje, cuidando en la Festuca la cosecha por pastoreo, debido a que pastoreos frecuentes podían resultar en la pérdida de plantas (Formoso, 2010; Lattanzi et al., 2022).

4.1.4.1 Turnos de pastoreo

Cuando la asignación de forraje superó el consumo previsto para un turno de pastoreo, ajustado de acuerdo a los objetivos de producción de los animales durante el ensayo, los animales pudieron pastorear a doble turno y a un turno (Sistema AP), permaneciendo en encierros totales y/o parciales cuando no se alcanzó el stock de referencia, con el objetivo de aumentar los días de descanso de la rotación, favoreciendo su recuperación (figura 13, 14 y 15).

Figura 14

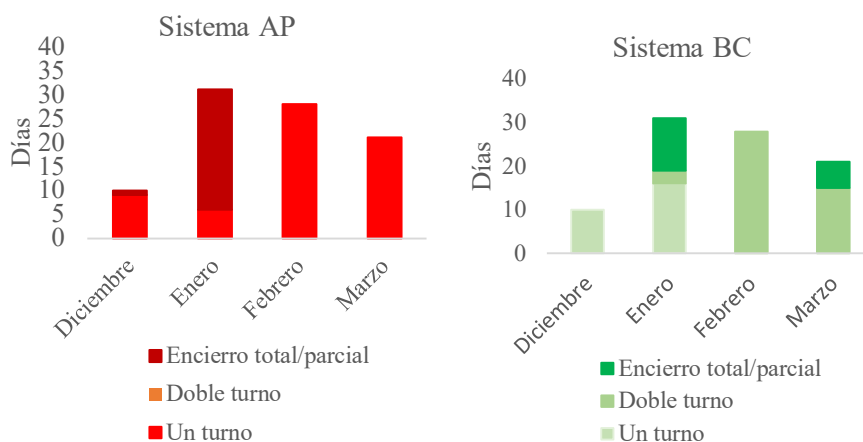
Proporción (%) durante los 90 días del ensayo de pastoreos y encierro



Durante los 90 días del ensayo, las vacas estuvieron la mayoría de los días en pastoreo (71 y 72 días, tratamiento AP y BC respectivamente) predominando en BC los días de doble turno de pastoreo (46 días), mientras que en AP fueron considerablemente superiores los días que los animales estuvieron a un turno de pastoreo (64 días). Es importante remarcar que los días de encierro como porcentaje del total del experimento, no difirieron en términos relativos entre tratamientos (figura 15), y se planificaron cuando la rotación forrajera no permitió entrar a pastorear, producto de la menor cobertura de las gramíneas perennes por muerte de macollos, evitando pérdidas de forraje por sobrepastoreo, y permitiendo mantener la producción de la PP (Durán, 2008).

Figura 15

Días en encierro y turnos de pastoreo (diciembre 21- marzo 22 para AP y BC)



En la figura 15 se presenta la distribución mensual del pastoreo/encierro para los sistemas AP y BC. Se observa que las vacas del sistema AP no pastorearon doble turno en todo el periodo, permaneciendo en encierro gran parte del mes de enero (25 días), en áreas específicas. Por su parte, en el sistema BC, fueron mayores los días en que los animales pastorearon doble turno (46 días), concentrándose éstos mayormente en febrero. Éstas decisiones de manejo buscaron asegurar la persistencia de las pasturas, y acompasar la curva de TC (figura 12) respetando las alturas de ingreso y salida a las franjas, ajustando la velocidad de pastoreo a la TC de las pasturas (Aguerre et al., 2017). Disponibilidades de forraje por debajo del objetivo entre el 28 de diciembre, y el 18 de enero se tradujeron en encierros (25 días AP; 12 días BC), y pasar de doble turno de pastoreo a un solo turno (sistema BC), recuperando el stock objetivo a principios de febrero y manteniéndose en adelante, entorno al objetivo (figura 13). Manejo alineado con lo planteado por Fariña et al. (2017) quien remarca la importancia de no comprometer las pasturas, priorizando la recorrida de los potreros para un manejo óptimo de los remanentes, superiores a los 5 cm de área foliar fotosintéticamente activa (Zanoniani et al., 2003). Es preciso aclarar que como lo plantea Aguerre y Chilbroste (2018) los menores consumo de pastura en la dieta por cosecha directa fueron cubiertos con suplementación, en el sistema AP se pudo sostener con la entrada de reservas externas a la PP, y en el sistema BC utilizando reservas propias realizadas en la primavera.

En parte, los encierros totales también se decidieron considerando las condiciones climáticas, registrándose en enero el máximo valor de ITH (79.3), con valores por encima de 74 de ITH, del 20 al 25 del mismo mes; los animales del tratamiento AP permanecieron

en encierro del 31 de diciembre al 26 de enero, mientras que el tratamiento BC lo hizo del 8 al 20 de enero, volviendo a pastorear solo en el turno AM durante los días que pudieron significar condiciones de estrés térmico (20 al 25 de enero). En ambos sistemas se evitó el pico máximo de ITH en la franja (figura 10).

4.1.4.2 Eficiencia de cosecha

Si bien en el tratamiento BC los animales tuvieron más oportunidades de consumo de forraje por cosecha directa (figura 14), explicado por más días en doble pastoreo (51.1%), las vacas del tratamiento AP, con menos turnos de pastoreo, fueron más eficientes en la cosecha de forraje, situación esperable según lo aportado por Baudracco et al. (2011) y Ortega et al. (2024) donde frente a menores asignaciones por vaca, con aumentos de carga, la eficiencia de pastoreo aumenta, aún con menos oportunidades de pastoreos; sumado al trabajo de Aguerre et al. (2017), quienes vieron que el tiempo efectivo de pastoreo de las vacas es inversamente proporcional al tiempo de acceso a la pastura.

No existieron diferencias significativas en el forraje ofrecido ni en los consumos individuales (tabla 6), a pesar de la diferencia en la cantidad de turnos de pastoreo (figura 15) en favor del tratamiento BC. Si bien los tratamientos AP y BC fueron manejados en base a los mismos criterios de pastoreo de entrada y salida, difirieron en los días de ocupación de las franjas, mientras que a AP se le asignaron franjas diarias, en BC las franjas se planificaban para 3 días. Los días de ocupación no incidieron en la cosecha de forraje individual.

Los animales del tratamiento AP (75 %) fueron más eficientes en la cosecha de forraje comparativamente con los animales del tratamiento BC (65 %), lo que les permitió compensar los menores turnos de pastoreo, y tiempos de acceso a pastorear (tabla 6).

4.2 ANIMALES

4.2.1 Consumo total de los animales de los tratamientos AP y BC

4.2.1.1 Consumo total

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos en el consumo promedio mensual de forraje por cosecha directa, reservas y concentrados (tabla 7).

Tabla 7

Consumo mensual promedio (kg MS/VO/mes) para AP y BC entre diciembre 21- marzo 22

	AP	BC	P valor
Dic-21	21.5	19.2	0.75
Ene-22	14.5	18.5	0.64
Feb-22	19.4	16.0	0.49
Mar-22	20.5	19.5	0.71

Nota. Diferencias significativas con P valor ≤ 0.05 .

El consumo total en el tratamiento AP estuvo en el entorno de los 18.9 kg MS/VO/mes en promedio, con menores consumos en el mes de enero, explicado por una menor cosecha directa de forraje (encierro desde el 1° al 26 de enero); si bien se suplementó con ensilaje de sorgo del año anterior para mitigar estas deficiencias, la calidad no fue la ideal, verificándose en el comedero rechazos, en el entorno a un 20.7%.

Los animales del tratamiento BC tuvieron consumos promedios para el periodo de 18.3 kg MS/VO/mes, estables durante todos los meses, salvo en febrero, donde se registraron los menores consumos, asociado a la carga animal, situación que implicó dejar de suplementar con reservas, como forma de promover la mayor utilización del forraje ofrecido a los animales.

4.2.1.2 Composición del consumo

Se observa en la tabla 8 como se ajustó la suplementación con concentrados en el sistema AP, con un mayor aporte en la dieta ya que se les ofreció ración proteica como ración parcialmente mezclada (PMR), buscando mejorar la palatabilidad del ensilaje de sorgo, y con esto el consumo de los animales.

Se consiguió una mayor EC con los animales del sistema AP aun frente a menores turnos de pastoreo (doble o un turno), respuesta esperable según el trabajo de Ortega et al. (2024) donde los sistemas con una carga de 2.0 VO/ha cosecharon más cantidad de forraje, en promedio 4.439 kg MS/ha/año (1.5 VO/ha) y 5.774 kg MS/ha/año (2.0 VO/ha).

Tabla 8

Consumo total (kg MS/VO/día) como promedio mensual para AP y BC durante el ensayo

	Forraje		Concentrado		Reserva	
	AP	BC	AP	BC	AP	BC
Dic-21	8.2	7.2	5.3	5.3	8.0	7.0
Ene-22	1.1	3.5	5.3	5.3	8.2	10.0
Feb-22	7.9	11.0	5.3	5.3	6.2	0.0
Mar-22	7.3	5.5	5.3	5.3	7.9	9.0

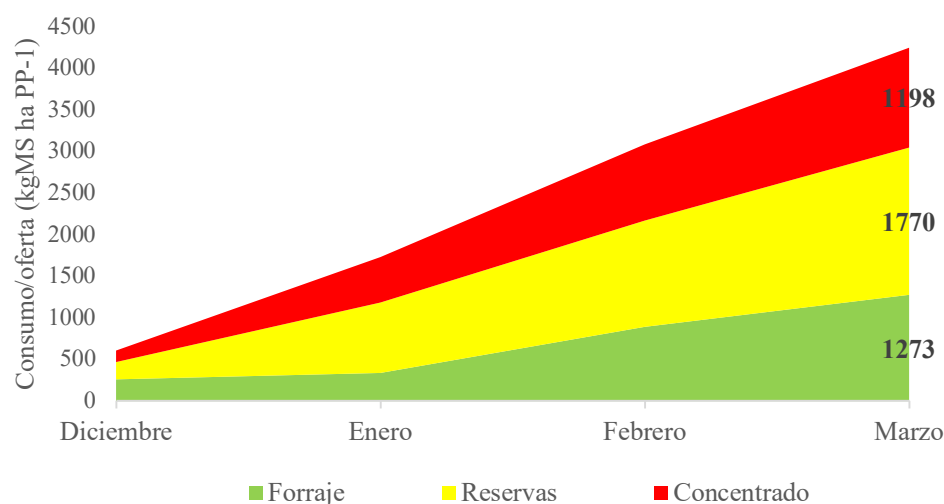
Es preciso remarcar la estabilidad en el uso de las reservas forrajeras en el sistema AP que no variaron en más de 2 kgMS/VO/día durante todo el experimento, a diferencia del sistema BC donde para el mes de febrero no fue necesario el uso de reservas forrajeras, remarcando el manejo diferencial en la estrategia de alimentación de los sistemas, donde el sistema BC no dependía del uso de las mismas.

4.2.1.3 Estructura de alimentación por unidad de superficie

La suplementación con reservas en el sistema AP (figura 16) representó al final del PE el 41.7% de la dieta, mientras que el concentrado significó el 28.2%, habiendo sido suplementados los animales en mayor cantidad durante los meses de diciembre, y enero, en detrimento del consumo de forraje por cosecha directa (30.1 %).

Figura 16

Consumo total acumulado (kg MS/haPP) durante el periodo diciembre 21- marzo 22 en sistema AP



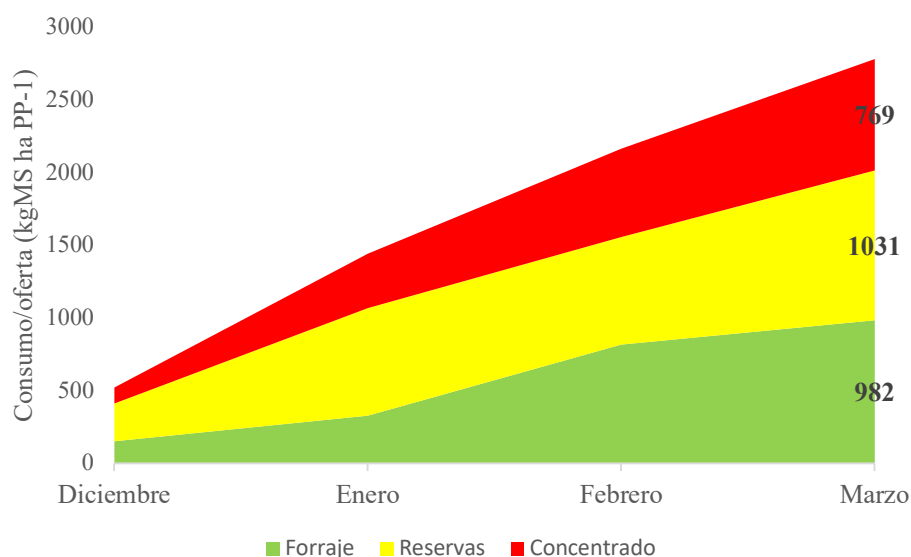
Si bien en el tratamiento BC los consumos de reservas representaron el 37.1 % de la dieta, es importante aclarar que éstas fueron producidas dentro de la PP. Esta situación se explicó por los días en que los animales estuvieron en encierro (18 días distribuidos en los meses de enero y marzo), significando las reservas, en ese momento, el componente más relevante de la dieta. La cosecha de forraje y el concentrado representaron un 35.3 % y 27.6 %, en el orden dado (figura 17).

A diferencia de la investigación de Ortega et al. (2024), se alcanzaron mayores consumos de forraje por cosecha directa con menores cargas (sistema BC), con un consumo de concentrado similar entre los sistemas; no obstante, y de acuerdo a la bibliografía, los animales del sistema AP, fueron más suplementados con reservas forrajeras para cubrir los requerimientos de producción de leche y mantener la productividad de las vacas lecheras.

Lo expuesto evidencia, como bien aportó Astigarraga (2004), que la oferta forrajera está dada no solo por la MS útil de la rotación, sino también por las reservas, tanto fuera del área vaca ordeño como comprada; buscando el máximo de consumo de MS, permitiendo a la vaca expresar su potencial productivo (Vélez de Villa, 2013).

Figura 17

Consumo total acumulado (kg MS/haPP) durante el periodo diciembre 21- marzo 22 en sistema BC



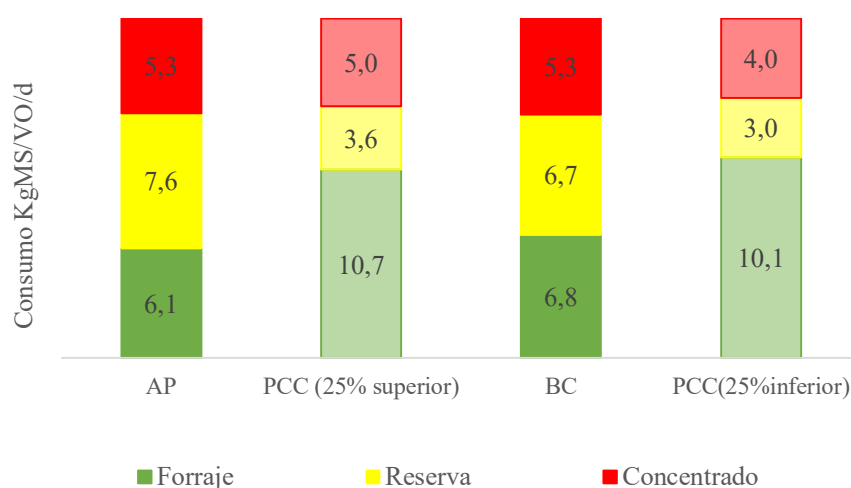
En relación a los consumos totales aportados por Aguerre y Chilbroste (2018) los tratamientos AP y BC tuvieron consumos similares (+1.0 y +0.7 respectivamente), se encontró que la dieta en los dos sistemas tuvo menor proporción de forraje por cosecha directa, y mayores niveles de suplementación para compensar los déficits, con menores variaciones en el consumo de concentrado en los dos sistemas. Estos déficits forrajeros pudieron explicarse por las características propias de la rotación del ensayo, donde no se contó con VV. En el tratamiento BC el mayor aporte de reservas coincide con los momentos en que los animales pastorearon a un turno o se encontraron en encierro, ya que en los periodos de doble turno de pastoreo no se utilizaron reservas, a diferencia del tratamiento AP donde las reservas formaban parte de la dieta habitual de los animales para poder mantener la carga animal. Como plantea Durán (2004), las reservas forrajeras y concentrados no solo permiten aumentar la carga y el rendimiento por vaca, sino que además representan una herramienta clave para el correcto manejo del pastoreo, asegurando descansos adecuados, y entrar al pastoreo con un crecimiento suficiente.

Confrontando los consumos de los sistemas AP y BC, con los obtenidos en el 25% superior, y el 25% inferior de los tambos comerciales según PCC, es notoria la importancia que tuvo la suplementación, principalmente con reservas en ambos sistemas, durante la estación, lo que permitió flexibilizar el manejo del forraje, con descansos adecuados de la pastura que favorecieron la recuperación del stock, en una época del año

donde las altas temperaturas, y las bajas precipitaciones pudieron afectar la persistencia y la estabilidad de la rotación (Chilibroste & Battegazzore, 2019). Se observa en la figura 18 la menor incidencia del consumo de forraje por cosecha directa en los sistemas del ensayo, en relación al consumo del percentil superior e inferior (+4.25 KgMS/VO/día en promedio). Si bien el ensayo se desarrolló durante el verano, se compararon los datos con los promedios anuales presentados en PPC.

Figura 18

Consumo promedio total para AP y BC durante el periodo experimental, y consumo según PPC

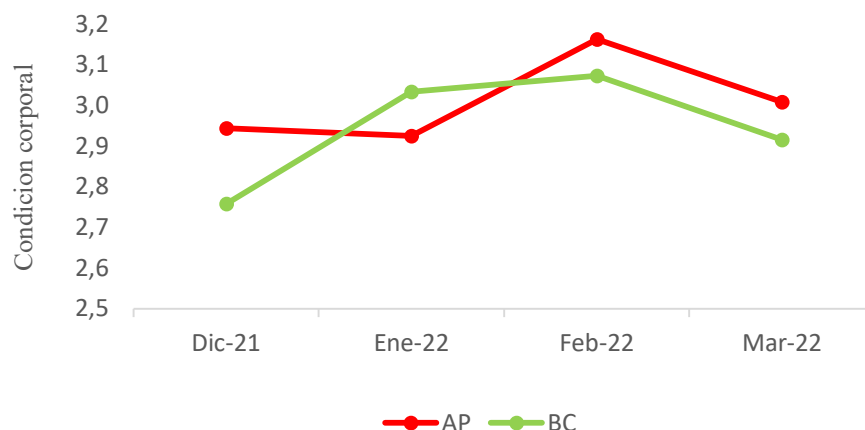


4.2.2 Condición Corporal y Peso Vivo

La CC no se vio afectada por los tratamientos (p valor 0.66), no difirieron en más de 0.25 puntos de condición, si bien se vieron fluctuaciones entre los sistemas, durante el ensayo (figura 19).

Figura 19

Condición corporal (como promedio mensual) en los sistemas AP y BC durante el ensayo



Si bien se aprecia una menor CC en enero, para el tratamiento AP, coincidente con un menor consumo de forraje por cosecha directa durante el encierro de los animales, no se trató de una diferencia que se tradujera en una pérdida de condición al final del periodo. Situación atribuible a que los sistemas fueron manejados con los mismos criterios de pastoreo, de alimentación, y de producción, no existiendo diferencias significativas en el consumo total de los animales, y en la producción individual de leche. Es preciso indicar también, que los tratamientos se dividieron buscando paridad en el largo de lactancia (180 días en promedio al inicio del ensayo) y gestación, evitando discordancias que pudieran traducirse en cambios en la CC de los animales.

El PV de los animales de los tratamientos AP y BC no difirió estadísticamente (p valor > 0.05) con pesos promedios de 485 ± 74 kg/VO, y 504 ± 75 kg/VO respectivamente. Se muestra en la tabla 9 el PV por SEP para los dos sistemas durante el PE. Se puede ver que la reducción en las áreas efectivas de pastoreo (consistentes en febrero, y en marzo por los barbechos) repercutió en los sistemas, donde menos hectáreas debieron sostener mayor número de animales, significando consecuentemente más kilogramos de PV por ha.

Tabla 9*Relación entre PV y áreas de pastoreo para AP y BC en el periodo experimental*

		VO/ha SEP		PV/ha SEP	
		AP	BC	AP	BC
Dic-21	2.6	1.9	1274	975	
Ene-22	3.0	1.9	1464	933	
Feb-22	5.4	3.4	2651	1724	
Mar-22	5.4	3.2	2570	1613	

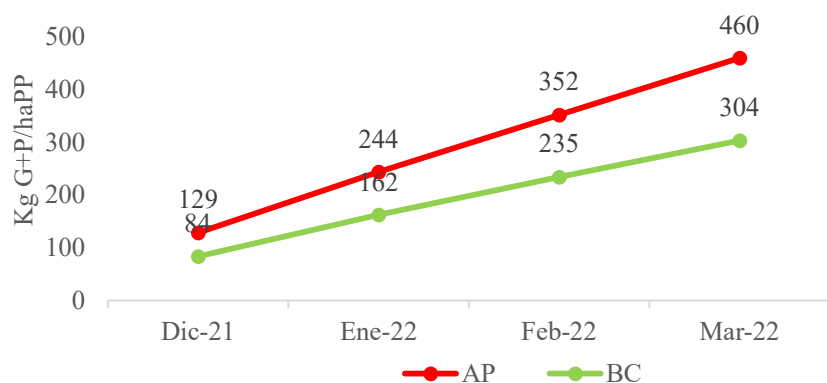
Las cargas en kg PV/ha PP fueron mayores en promedio a las utilizadas en la investigación de Ortega et al. (2024) donde con 1.5 VO/ha alcanzaron pesos de 752 kg PV/ha PP, mientras que para cargas de 2.0 VO/ha el PV promedio fue 1013 kg PV/ha PP. Por su parte, en el sistema AP el PV promedio en la PP fue 1238 kg PV/ha PP, similar a los presentados en el proyecto INIA 10- MIL (Fariña, 2019) 1139 kg PV/ha.

4.2.3 Producción y composición de la leche

Las producciones de sólidos promedios por superficie, acumulados por mes en el tratamiento AP durante todo el período, fueron superiores, diferencia atribuible a la mayor carga animal -2.7 VO/ha PP- versus 1.6 VO/ha PP del tratamiento BC (figura 20), resultados esperables según los aportes de Chilibroste y Battegazzore (2014) quienes encontraron una relación entre la carga y la producción de sólidos, en favor del sistema de mayor carga animal, asociado con un mayor consumo de forraje, reservas forrajeras, y concentrados por ha PP.

Figura 20

Acumulado mensual de sólidos (kg G+P/haPP) entre diciembre 21- marzo 22 para AP y BC

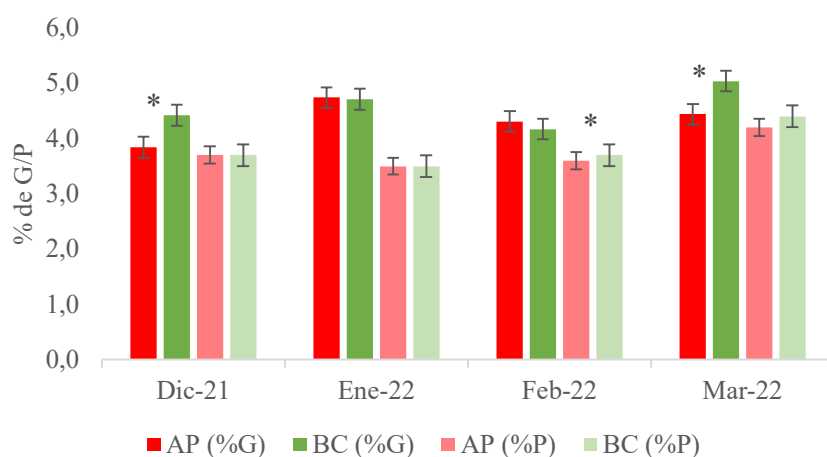


La producción de sólidos totales (G+P) por haPP como promedio para la estación estival, fue superior en el sistema AP, con una producción de 115 kg/ ha PP, mientras que para el sistema BC la producción fue de 76 kg/ ha PP.

El porcentaje de proteína no difirió entre sistemas durante todo el periodo (p valor 0.34), mientras que el porcentaje de grasa si presentó diferencias significativas (p valor 0.007), con mayores porcentajes en leche durante los meses de diciembre (p valor 0.002) y marzo (p valor 0.008) en el sistema BC (figura 21), en contraposición con lo observado por Macdonald et al. (2008), y Baudracco et al. (2011) donde con aumentos de carga el porcentaje de grasa no varía, mientras que el de proteína se ve reducido.

Figura 21

Proporción (%) de grasa y proteína mensual de los sistemas AP y BC



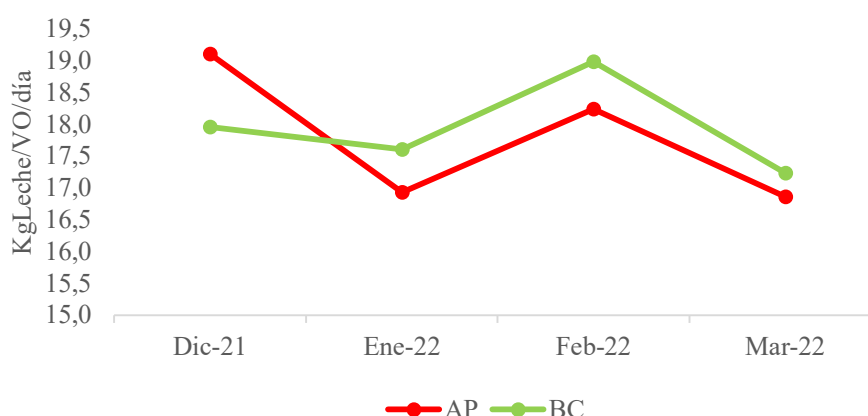
Nota. * Diferencia significativa P valor ≤ 0.05

No existieron diferencias significativas entre tratamientos (p valor 0.05) en lo que refiere a las producciones individuales de leche, resultado coincidente con lo reportado por Ortega et al. (2024) donde la producción de leche individual no difirió significativamente entre cargas de 1.5 y 2.0 l/VO/día, con producciones promedio de 23 l/VO/día, observando si, diferencias en la producción de sólidos lácteos, especialmente en la grasa, en favor de los sistemas con mayor carga (+ 0.4 kg/VO/día) (figura 21).

En ambos sistemas las producciones de leche individuales siguieron la misma tendencia, registrándose los mínimos durante el mes de enero -17.6 y 16.9 kg leche/VO/día para los tratamientos AP y BC-; situación que se revirtió en febrero, bajando nuevamente hacia final del ensayo, con producciones de 16.9 (AP) y 17.2 (BC) kg leche/VO/día (figura 22).

Figura 22

Producción de leche promedio (kg leche/VO/día) como promedio mensual en los sistemas AP y BC



La productividad promedio para la estación (l leche/ VO/día) fue de 17.3 ± 4.3 l/VO y 17.4 ± 3.8 l/VO para los sistemas AP y BC respectivamente.

Producciones individuales esperables según la fecha de parto (junio en los dos sistemas en promedio) (figura 4), donde la bajada de producción hacia marzo estuvo dada por el inicio de los secados de animales.

La menor producción individual de los animales en enero en ambos sistemas se debió a las condiciones climáticas preponderantes durante el verano, debido a la falta de infraestructura para sostener los animales con sombra en los potreros de descanso frente a situaciones donde se registraron situaciones de emergencia y/o peligro por estrés

térmico según el ITH (figura 10). Según Polsky y von Keyserlingk (2017) índices que superen los 74 durante 4 días pueden implicar menores producciones de leche.

A diferencia de lo demostrado por McMeekan (1961), Macdonald et al. (2008), McCarthy et al. (2010), y Baudracco et al. (2010) que frente aumentos en la carga es esperable una reducción en la producción por vaca, esto no se vio en el ensayo, donde las producciones de leche individual no difirieron entre tratamientos (p -valor=0.83) situación atribuible a la planificación de la dieta ajustada utilizando la Planilla Lecheras, donde se priorizo ajustar la oferta y el consumo a los requerimientos, suplementando a las vacas.

Las producciones de sólidos (figura 20) por haPP difirieron entre tratamientos (+156) en favor de AP, presentando este último mayor producción por superficie, durante todos los meses del periodo, en relación a BC (+13.9 Kg/ha PP/día).

Coincidentemente con lo demostrado por Chilibraste y Battegazzore (2014) y Fales et al. (1995) la producción de leche por ha, estuvo directamente relacionada con la carga animal, alcanzando la mayor productividad el tratamiento AP ($p < 0.05$), asociado además al mayor consumo de pasturas, y de concentrados como plantean Chilibraste y Battegazzore (2014), diferenciándose en el consumo de reservas, el cual fue mayor en el tratamiento de menor carga.

4.3 INDICADORES PRODUCTIVOS Y MARGEN DE ALIMENTACIÓN

En el presente ensayo, en contraposición con lo planteado por Aguerre y Chilibraste (2018) se observó que las vacas del sistema BC (menor carga) fueron menos eficientes en la cosecha de forraje, consumiendo menos reservas (-1.0 kg MS/VO/día), y menos concentrados total en la dieta (Prolacta 18 en sala + RPM) (-1.5 kg MS/VO/día) en relación al sistema AP, lo que se tradujo en una mayor eficiencia en el uso del concentrado (296 g concentrado/kg leche), pero no en mayores producciones de leche individuales (l/VO) (tabla 10).

Tabla 10

Indicadores y Márgenes de alimentación para BC y AP respecto al estrato superior de PCC

	Sistema AP	Sistema BC	Población PCC
Indicadores productivos			
Carga promedio (VO/ha PP)	2,7	1,6	1.5
Producción (l/VO/día)	17,3	17,4	20.6
g concentrado/Kg leche	384	296	263
Kg MS/Kg leche**	1.1	1.3	1.1
Kg MS/Kg sólidos**	9.9	10.9	11.9
Indicadores Económicos			
U\$/l	0.24	0.26	0.31
Margen de alimentación			
U\$/VO/día	4,1	4,6	3.6
U\$/ha/mes	338	224	165

Nota. *Acumulado durante el PE **Consumo de forraje por cosecha directa + reservas forrajeras + concentrado. Indicadores productivos elaborados con datos de PCC 2013-2018.

En concordancia con lo planteado por Aguerre y Chilbroste (2018) el sistema AP presentó una mejor EC de pastura por animal, y se asoció con los mejores márgenes sobre alimentación por ha, en relación al sistema BC que consiguió una menor EC (4.1 y 4.6 U\$/VO/día respectivamente). El tratamiento AP demostró mejores márgenes sobre alimentación por ha que el BC (11.1 y 7.9 U\$/ha/día), pero menor margen de alimentación por VO (-0.5 U\$/día).

Si bien el sistema BC presentó una carga animal similar a la del percentil superior de PCC (Chilbroste & Battezzato, 2019), las producciones individuales fueron menores, al igual que con el sistema AP, donde la carga fue considerablemente superior, aún frente a la mayor suplementación de los animales durante el ensayo. La eficiencia de conversión de los alimentos en sólidos (kg MS/kg sólidos) fue superior para

el grupo de PCC, situación que pudo deberse a un mayor consumo de forraje por cosecha directa, y de reservas forrajeras.

Con la siembra de sorgo forrajero en el verano, se alcanzan mayores volúmenes de biomasa disponible para cosechar directamente (+535 kgMS/haPP), en relación a la rotación utilizada en el ensayo (Zanoniani et al., 2003). Sin embargo, el prescindir de VV no significó una limitante económica, en ambos tratamientos el margen de alimentación en U\$S/ha/mes fue superior el presentado en PPC, indicando que son sistemas sostenibles y rentables económicamente.

5 CONCLUSIONES

Sistemas que difirieron en la carga animal, no fueron distintos en el consumo de forraje por VO mediante cosecha directa. La suplementación fue el factor que permitió mantener un manejo del forraje similar en ambos sistemas productivos, lo cual explica por qué la carga animal no tuvo un efecto significativo sobre la producción de forraje. El sistema AP requirió suplementación externa (concentrado y reservas), mientras que el BC se mantuvo autosuficiente, optimizando el uso de forraje producido en el predio.

Fue posible un sistema de alta productividad en verano con cargas promedios de 1.6 VO/haPP, teniendo el forraje como base de la alimentación, producido únicamente dentro de la PP, donde los excesos de forraje fueron cosechados mecánicamente (henolaje) en primavera, y trasladados para su suministro en verano.

A nivel individual, no hubo diferencias significativas en la producción de leche por vaca. No obstante, el sistema AP alcanzó mayores producciones de leche y sólidos (grasa y proteína) por ha de PP, reflejando la ventaja del aumento del número de animales para maximizar el uso del área productiva en el proceso de intensificación.

Las condiciones estivales, marcadas por estrés térmico (ITH promedio de 69.7 ± 4.6) pudieron afectar el bienestar, y la producción de leche. Las estrategias implementadas (turno de pastoreo, encierros, suplementación y acceso a sombra/agua) no fueron suficientes para mitigar los efectos perjudiciales de las altas temperaturas y humedad.

En términos económicos, el sistema BC presentó un mayor margen de alimentación por vaca, producto de la mayor inclusión de forrajes consumidos por cosecha directa en la dieta, alcanzando la misma producción de leche por VO que el sistema AP. En este último, fue mayor la dependencia de insumos externos, demostrando la importancia de la suplementación para cubrir los requerimientos nutricionales de los animales. El sistema AP obtuvo mejores resultados económicos por superficie, evidenciando el impacto de una mayor carga animal sobre la productividad, si bien no es suficiente para afirmar la superioridad de un sistema sobre el otro, ya que en este trabajo no se consideraron costos operativos, y de infraestructura, entre otros. Si bien los dos sistemas pudieron implementarse durante la estación estival, no se superaron las producciones individuales y los márgenes alcanzados por el estrato superior de los tambos registrados en PCC.

Ambos sistemas presentaron ventajas y limitaciones según el enfoque productivo. Mientras que el sistema AP maximizó la productividad por ha con una estrategia intensiva, el sistema BC priorizó los menores costos operativos. Estas diferencias resaltaron la importancia de ajustar estrategias de alimentación y manejo a las metas económicas y ambientales de cada sistema lechero. Los resultados demostraron que una mayor carga animal logro incrementar la producción por superficie, con base en una adecuada gestión del pastoreo y suplementación, que sostenga los niveles productivos y económicos objetivos.

Por lo tanto, dependerá de cada productor, con el acompañamiento de su técnico asesor, el sistema que prefiera implementar de acuerdo a los recursos con los que disponga (económicos, humanos, infraestructura, entre otros), así como si prefiere un sistema menos demandante en tiempo y manejo o uno en el que esté dispuesto a intensificar el medio de producción.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, Á., Lavista, N., & Mondada, M. (2021). *Evaluación de la dinámica de implantación y crecimiento inicial de verdeos de raigrás en mezcla con trébol rojo bajo pastoreo* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/39856>
- Acosta, Y. (1997). Utilización de ensilajes, concentrados y pasturas para producción de leche. En E. Restaino & E. Indarte (Eds.), *Pasturas y producción animal en áreas de ganadería intensiva* (pp. 157-166). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8345/1/111219220807114211-p.157-166.pdf>
- Agnusdei, M. G. (2013). *Rol de la ecofisiología en el diseño de manejos especializados de pasturas*. Sitio Argentino de Producción Animal. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/170-ecofisiologia.pdf
- Aguerre, M., & Chilibroste, P. (2018). Análisis nutricional y manejo de la alimentación en predios lecheros: ¿Hay oportunidad de mejoras? En C. Matto & R. Delpiazzo (Eds.), *XLVI Jornadas Uruguayas de Buiatría* (pp. 137-147). CMVP. https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/2939/JB2018_137-147.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Aguerre, M., Cajarville, C., La Manna, A., Cavestany, A., Mattiauda, D., Carriquiry, M., Repetto, J. L., Meikle, A., & Chilibroste, P. (2017). *Estrategias de alimentación de vacas en pastoreo: ¿Qué hemos aprendido de los sistemas comerciales y qué hemos generado desde la investigación en Uruguay?* Red Tecnológica Sectorial.
- Álvarez, H., Dichio, L., Pece, M., Cangiano, C., Jankovic, V., & Galli, J. (2006). *¿Más litros por vaca o más litros por hectárea?* Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/79-produccion_vaca_o_ha.pdf

- Astigarraga, L. (2004). Desafíos técnicos de la intensificación: Análisis de los resultados productivos de las empresas del seguimiento. En *Intensificación en lechería: La alternativa rentable* (pp. 33-58). INIA; CREA; CIPIL; Facultad de Agronomía. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27644.54400>
- Barboza, N. (2021). Cadena láctea: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPa 2021* (pp. 95-106). MGAP. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2021/anuario-opypa-2021>
- Bargo, F., Muller, L. D., Kolver, E. S., & Delahoy, J. E. (2003). Invited review: Production and digestion of supplemented dairy cows on pasture. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 1-42. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73581-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73581-4)
- Bartaburu, D. (2001). *La vaca lechera en el verano: Sombra, agua y manejo*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/01-vaca_lechera_en_%20verano.pdf
- Baudracco, J., Lopez-Villalobos, N., Holmes, C. W., & Macdonald, K. A. (2010). Effects of stocking rate, supplementation, genotype and their interactions on grazing dairy systems: A review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 53(2), 109-133. <https://doi.org/10.1080/00288231003777665>
- Baudracco, J., Lopez-Villalobos, N., Romero, L. A., Scandolo, D., Maciel, M., Comeron, E. A., Holmes, C. W., & Barry, T. N. (2011). Effects of stocking rate on pasture production, milk production and reproduction of supplemented crossbred Holstein-Jersey dairy cows grazing lucerne pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 168(1-2), 131-143. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.03.017>
- Carámbula, M. (2000). *Cultivares forrajeros: El primer insumo de una pastura*. INIA.
- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajes: Vol. 1. Potenciales y alternativas para producir forrajes*. Hemisferio Sur.
- Cerdas Ramírez, R. (2013). Formulación de raciones para carne y leche: Desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. *InterSedes*, 14(29), 128-153. <https://doi.org/10.15517/isucr.v14i29.13504>

- Chilibroste, P. (2015). *Los sistemas lecheros en escenarios de bajo precio* [Contribución]. 2º Foro de Producción Lechera, Montevideo.
<http://www.eleche.com.uy/files/2-sistemas-bajo-volatilidad?es>
- Chilibroste, P., & Battegazzore, G. (2014). *Proyecto producción competitiva*. Conaprole.
- Chilibroste, P., & Battegazzore, G. (2018). *Proyecto producción competitiva*. Conaprole.
- Chilibroste, P., & Battegazzore, G. (2019). *Proyecto producción competitiva 2013-2018. Dinámica bio-económica de los sistemas de producción de leche*. Conaprole.
- Chilibroste, P., Bruni, M. A., Favre, E., Mattiauda, D. A., & Soca, P. (2008). Tecnología para la producción de leche en los últimos 15 años: Aportes desde la EEMAC. *Cangüé*, (30), 36-44.
<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/48229/1/ChilibrostePablo.pdf>
- Chilibroste, P., Soca, P., & Mattiauda, D. A. (2011). Balance entre oferta y demanda de nutrientes en sistemas pastoriles de producción de leche: Potencial de intervención al inicio de la lactancia. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Ed.), *XXXIX Jornadas Uruguayas de Buiatría*.
<https://centromedicoveterinariopaysandu.com/wp-content/uploads/2014/08/Lecheria-Chilibroste-2011.pdf>
- Comerón, E. A., Baudracco, J., Lopez-Villalobos, N., Colmes, C. W., & Romero, L. A. (2007). *Producción de leche en sistemas pastoriles*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/141-pastoriles.pdf
- Cony, P., Casagrande, G. A., & Vergara, G. T. (2004). Cuantificación de un índice de estrés calórico para vacas lecheras en Anguil, provincia de La Pampa (Argentina). *Semiárida*, 15(1-2), 9-15.
<https://cerac.unlpam.edu.ar/index.php/semiaria/article/view/4627>

- Dirección General de Recursos Naturales. (s.f.). *Coneat, carta de suelos y cartografía de campo natural*. MGAP. <https://dgrn.mgap.gub.uy/js/visores/dgrn/>
- Dulau, D. (2011). *Estimación del consumo de bovinos en pastoreo: Comparación de distintos métodos*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/147-Estimacion_consumo.pdf
- Durán, H. (1978). Evaluación de pasturas para producción de leche mediante el uso de registros de pastoreo. En Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger (Ed.), *Pasturas IV* (2ª ed., pp. 263-274). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4799/1/miscelanea-18.pdf>
- Durán, H. (1992). Productividad y alternativas de rotaciones forrajeras para producción de leche. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas*, 2(1), 189-204. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8847/1/15630031207144116.pdf>
- Durán, H. (2004) El camino de la lechería: Los mojones de la intensificación en sistemas pastoriles. *Revista INIA*, (1), 6-9. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3964/1/2004-n.1-p.6-9-DURAN-111219220807141753.pdf>
- Durán, H. (2008). Rotaciones forrajeras para producción de leche. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *¿Cómo incrementar la producción de leche en invierno?* (pp. 5-8). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/528/1/112761040408152554.pdf>
- Durán, H., & La Manna, A. (2009a). Criterios para rehacer las rotaciones forrajeras en el tambo. *Revista INIA*, (17), 48-50. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/5218/1/revista-INIA-17-Duran.pdf>
- Durán, H., & La Manna, A. (2009b). Implicancias productivas, económicas y ambientales de la intensificación de la producción de leche pastoril en Uruguay. En A. Morón (Coord.), *Efectos de la agricultura, la lechería y la ganadería en el recurso natural suelo: Impactos y propuesta* (pp. 81-84). INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/564/1/112761270809100748.pdf>

El sector lechero. (2025). Tambo Sustentable Más Ecoeficiente.

<https://www.sustentable.eleche.com.uy/el-sector-lechero/>

Fales, S. L., Muller, L. D., Ford, S. A., O'Sullivan, M., Hoover, R. J., Holden, L. A., Lanyon, L. E., & Buckmaster, D. R. (1995). Stocking rate affects production and profitability in a rotationally grazed pasture system. *Journal of Production Agriculture*, 8(1), 88-96.

<https://engineering.purdue.edu/~dbuckmas/research/1995%20Stocking%20Rate%20Affects%20Production%20and%20Profitability%20in%20a%20Rotationally%20Grazed%20Pasture%20System.pdf>

Fariña, S. (2019, 17 de julio). *Resultados preliminares del Proyecyo 10-MIL* [Contribución]. Jornada Técnica Lechera: Costos de producción: ¿Cómo generar ingresos en el actual escenario de precios?, Colonia. https://www.inale.org/wp-content/uploads/2019/01/RM_S_Farina-Jornada_Lechera_CREA_INIA_INALE_2019.pdf

Fariña, S. R., & Chilibroste, P. (2019a). Oportunidades y desafíos para el crecimiento de la producción de leche a pasto en Uruguay. *Revista INIA*, (57), 28-32. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12947/1/Revista-INIA-57-Junio-2019-p.28-32.pdf>

Fariña, S. R., & Chilibroste, P. (2019b). Opportunities and challenges for the growth of milk production from pasture: The case of farm systems in Uruguay. *Agricultural Systems*, 176, Artículo e102631. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.05.001>

Fariña, S., Garcia, S. C., Fulkerson, W. J., & Barchia, I. M. (2011). Pasture-based dairy farm systems increasing milk production through stocking rate or milk yield per cow: Pasture and animal responses. *Grass and Forage Science*, 66(3), 316-332. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2011.00795.x>

Fariña, S., Stirling, S., Martínez, R., Mendoza, A., Morales, T., Hirigoyen, D., & Cartaya, A. (2018). Proyecto 10-Mil: Módulos de intensificación lechera. *Revista INIA*, (53), 22-26. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/10716/1/revista-INIA-53-Junio-2018.pdf>

- Fariña, S., Tuñón, G., Pla, M., & Martínez, R. (2017). *Sistema de pastoreo La Estanzuela: Guía práctica para la implementación de un sistema de pastoreo*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7228/1/bd-115-2017.pdf>
- Fassio, A., Cozzolino, D., Ibáñez, W., & Fernández, E. (Ed.). (2002). *Sorgo: Destino forrajero*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2871/1/111219240807141139.pdf>
- Ferguson, J. D., Galligan, D. T., & Thomsen, N. (1994). Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 77, 2695-2703. [https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(94\)77212-X/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(94)77212-X/pdf)
- Formoso, F. (1995). Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. En D. F. Risso, E. J. Berretta & A. Morón. (Eds.), *Producción y manejo de pasturas* (pp. 1-19). INIA. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8473/1/ST80-p.1-19.pdf>
- Formoso, F. (2006). *Instalación de pasturas, conceptos claves*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas%20artificiales/62-instalacion_de_pasturas.pdf
- Formoso, F. (2009). Aspectos a considerar para mejorar la producción y utilización de forraje durante otoño e invierno. *Revista INIA*, (17), 41-47. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/revista-INIA-17.pdf>
- Formoso, F. (2010). *Festuca arundinacea, manejo para producción de forraje y semillas*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2529/4/18429081210150440.pdf>
- Fossatti, M. (2004). Intensificación, la alternativa rentable. En *Intensificación en lechería: La alternativa rentable* (pp. 62-69). INIA; CREA; CIPIL; Facultad de Agronomía. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27779.52007>
- Gallarino, H. (2010). *Intensidad y frecuencia de defoliación de una pastura*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/158-defolicacion_8.pdf

- García, J. A. (2003). *Crecimiento y calidad de gramíneas forrajeras en La Estanzuela*. INIA.
<https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2878/1/15630191107142500.pdf>
- García, S., & Fariña, S. (2010). ¿Hasta dónde intensificar en sistemas "extensivos" de producción de leche?: Parte 1: manejo de pasturas y suplementación. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Coord.), *XXXVIII Jornadas Uruguayas de Buiatría* (pp. 52-56).
https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/46/JB2010_52-56.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gareli, S., Mendoza, A., Bello, N., Lattanzi, F., Fariña, S., & Savian, J. (2023). Effects of grazing management and concentrate supplementation on intake and milk production of dairy cows grazing orchardgrass. *Animal Feed Science and Technology*, 301, Artículo e115668.
<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115668>
- Google Earth. (2025). [Sitio experimental del CRS, Canelones, Uruguay. Mapa]. Recuperado el 25 de abril de 2025, de https://earth.google.com/web/@-34.61440031,-56.21832047,45.21877833a,4942.36755362d,30.00043501y,355.23135833h,0t,0r/data=CgRCAggBOgMKATBCAggASggIwrbM_wEQAA?authuser=0
- Hernández, A. (2016). Una lechería que no para de crecer. *Revista del Plan Agropecuario*, (160), 68-72.
https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/Revista_on_line/Revista_160/files/assets/basic-html/index.html#68
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2024, 11 de marzo). *Previsión ITH Lechería: Seleccione la fecha de interés*.
https://inia.uy/gras/Aplicaciones_y_recursos/Prevision-ITH-Vacunos/Prevision-ITH-lecheria
- Instituto Nacional de la Leche. (2019, 23 de diciembre). *Encuesta 2014: Resultados definitivos agrupados*. <https://www.inale.org/estadisticas/encuesta-2014-resultados-definitivos-agrupados/>

- Instituto Nacional de la Leche. (2024). *Situación 2023 y perspectivas 2024 de la lechería uruguaya*. <https://www.inale.org/informes/situacion-2023-y-perspectivas-2024-de-la-lecheria-uruguaya/>
- King, W. McG., Rennie, G. M., Dalley, D. E., Dynes, R. A., & Upsdell, M. P. (2010). Pasture mass estimation by the C-Dax pasture meter: Regional calibrations for New Zealand. En G. R. Edwards & R. H. Bryant (Eds.), *Australasian Dairy Science Symposium 2010: Conference Proceedings* (pp. 233-238). Caxton Press. <https://www.sciquest.org.nz/search/results-2/downloadfulltext/149545>
- Klein, R. F. (2003). Utilización de praderas y nutrición de vacas a pastoreo. En N. K. Teuber, H. M. Uribe & L. R. Opazo (Eds.), *Hagamos de la lechería un mejor negocio* (pp. 43-55). INIA. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/1ff90576-b98f-4008-8e68-fb3cd04c00db/content>
- La Manna, A. (2008). El enfoque de INIA en investigación para el sector lechero. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *¿Cómo incrementar la producción de leche en invierno?* (pp. 27-32). <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/528/1/112761040408152554.pdf>
- La Manna, A., Román, L., Bravo, R., & Aguilar, I. (2014). Estrés térmico en vacas lecheras: Con sombra y bienestar las vacas producen más. *Revista INIA*, (39), 34-39. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4854/1/revista-INIA-39.pdf>
- Lattanzi, F., Jáuregui, J., Michelini, D. F., Chilibróste, P., Reyno, R. & Weiszmann, M. (2022). Persistencia productiva de pasturas largas en veranos con escenario Niña. *Revista INIA*, (71), 17-20. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/16918/1/Revista-INIA-71-diciembre-2022.pdf>
- Lazzarini, B., Baudracco, J., Demarchi, E., Lovino, D., & Jáuregui, J. M. (2014). Evolución de la suplementación, el consumo de pastura y la producción de leche en sistemas lecheros de argentina. *Revista FAVE*, 12(1-2), 1-6. https://www.researchgate.net/publication/283662996_Evolucion_de_la_suplementacion_el_consumo_de_pastura_y_la_produccion_de_leche_en_sistemas_lecheros_de_argentina

- Leborgne, R. (2018). *Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros* (2ª ed. Rev.). Hemisferio Sur.
- Lechería del 2030: Sin pasto no hay negocio (2019). *Revista Oficial ANPL*, 5(32), 10-14. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/13285/1/Revista-ANPL-2019.v.5.n.32-Farina-Chilibroste.pdf>
- Macdonald, K. A., Penno, J. W., Lancaster, J. A. S., & Roche, J. R. (2008). Effect of stocking rate on pasture production, milk production, and reproduction of dairy cows in pasture-based systems. *Journal of Dairy Science*, 91(5), 2151-2163. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0630>
- Margen de alimentación. (s.f.). Conaprole. <http://www.eleche.com.uy/media/content/audio/source0000000011/AUD0000010000000280.pdf>
- McCarthy, B., Delaby, L., Pierce, K. M., Journot, F., & Horan, B. (2010). Meta-analysis of the impact of stocking rate on the productivity of pasture-based milk production systems. *Animal*, 5(5), 784-794. <https://doi.org/10.1017/S1751731110002314>
- McCutcheon, J. (2011, 22 de junio). *Using pasture measurement to improve your management*. Ohioline. <https://ohioline.osu.edu/factsheet/11-HCS-868>
- McMeekan, C. P. (1961). Grazing management. *Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production*, (21), 47-60. <https://www.nzsap.org/system/files/proceedings/1961/ab61005.pdf>
- Méndez, M. N. (2019). *Consumo de pastura en sistemas comerciales de producción de leche: Efecto del manejo del pastoreo y la suplementación* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/35726/1/FV-33837.pdf>
- Méndez, M. N., Chilibroste, P., & Aguerre, M. (2019). Pasture dry matter intake per cow in intensive dairy production systems: Effects of grazing and feeding management. *Animal*, 14(4), 846-853. <https://doi.org/10.1017/S1751731119002349>

- Mendoza, A., Cajarville, C., Santana, A., & Repetto, J. L. (2011). ¿Hacia una nueva forma de pensar la alimentación de las vacas lecheras?: La inserción del confinamiento en los sistemas pastoriles de producción de leche. En Centro Médico Veterinario de Paysandú (Coord.), *XV Jornadas Uruguayas de Buiatría*. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/15309/1/JB2011-82-90.pdf>
- Mieres, R., & Moreira, J. (2018). *Evaluación invierno-primaveral de las curvas de crecimiento de diferentes mezclas forrajeras perennes* [Trabajo final de grado, Universidad de la República]. Colibri. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/28844>
- Morón, A. (2008). Fertilización de pasturas: Respuesta y relación de precios para la producción de carne y leche. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur*, (40), 21-25. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2008/12/6.pdf>
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th ed. Rev.). National Academy Press. <https://nap.nationalacademies.org/read/9825/chapter/1#ii>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2023). *Anuario estadístico agropecuario 2023*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2023/ANUARIO2023WEB.pdf>
- Ortega, G., Berberian, N., & Chilbroste, P. (2024). The effects of stocking rate, residual sward height, and forage supplementation on forage production, feeding strategies, and productivity of milking dairy cows. *Frontiers in Animal Science*, 5, Artículo e1319150. <https://doi.org/10.3389/fanim.2024.1319150>
- Otaño, C., Fariña, S., & Tuñón, G. (2021). Implementación del sistema de pastoreo 3r en predios experimentales y comerciales del Uruguay. *Revista INIA*, (65), 14-17. <https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-INIA-65-Junio-2021.pdf>
- Parga, M. J. (2003). Utilización de praderas y manejo de pastoreo con vacas lecheras. En N. K. Teuber, H. M. Uribe, & L. R. Opazo (Eds.), *Hagamos de la lechería un mejor negocio* (pp. 24-42). INIA. <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/4dd056c8-55f2-4742-976e-7b3f81f3ed86>

- Pedemonte, A., Giudice, G., & Artagaveytia, J. (2022). *Sistemas de producción de leche de Uruguay: En base a Encuesta 2019*. INALE. https://www.inale.org/wp-content/uploads/2022/09/inale_sistemas-de-produccion-lechero.pdf
- Peruchena, O. P. (2003). *Suplementación de bovinos en sistemas pastoriles*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/107-en_sistemas_pastoriles.pdf
- Polsky, L., & von Keyserlingk, A. G. M. (2017). Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8645-8657. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12651>
- Pravia, M. I., Montossi, F., Gutiérrez, D., Ayala, W., Andregnette, B., Invernizzi, G., & Porcile, V. (2013). Estimación de la disponibilidad de pasturas y forrajes en predios de GIPROCAR II: Ajuste del “rising plate meter” para las condiciones de Uruguay. En F. Montossi (Ed.), *Invernada de precisión: Pasturas, calidad de carne, genética, gestión empresarial e impacto ambiental* (pp. 31-65). INIA. <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-06/18429280114125310.pdf>
- Rennie, G. M., King, W. M. C. G., Puha, M. R., Dalley, D. E., Dynes, R. A., & Upsdell, M. P. (2009). Calibration of the C-DAX Rapid Pasturemeter and the rising plate meter for kikuyu-based Northland dairy pastures. *Journal of New Zealand Grasslands*, 71, 49-55. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2009.71.2779>
- Schori, F. (2015). Sward surface height estimation with a rising plate meter and the C-Dax Pasturemeter. *Grassland Science in Europe*, 20, 310-312. <https://ira.agroscope.ch/en-US/publication/35190>
- Schütz, K. E., Rogers, A. R., Poulouin, Y. A., Cox, N. R., & Tucker, C. B. (2010). The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 93(1), 125-133. <https://www.journalofdairyscience.org/action/showPdf?pii=S0022-0302%2810%2970272-1>
- Tuñón, G., Fariña, S., & Restaino, E. (2018). Las 3 R: Recorrida, rotación y remanente. *Revista INIA*, (52), 3-7. <https://inia.uy/sites/default/files/publications/2024-10/Revista-inia-52-1.pdf>

- Valtorta, S. E., Leva, P. E., García, M. S., & Rodríguez, R. O. (2008). Régimen Agroclimático de olas de calor en la provincia de Santa Fe, Argentina. *Revista FAVE: Sección Ciencias Agrarias*, 7(1-2), 131-136.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8025400>
- Vélez de Villa, E. (2013). *Factores de origen ambiental que afectan la producción de leche en vacunos bajo pastoreo semi-intensivo*. Sitio Argentino de Producción Animal. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/225-Articulo_velez.pdf
- Vidal, M. E. (2014). Sector lácteo: Situación y perspectivas. En *Anuario OPYPa 2014* (pp. 89-111). MGAP. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/anuario_opypa_2014.pdf
- Yule, I. J., Lawrence, H. G., & Murray, R. I. (2010). *Pasture yield measurement with the c-dax pasturemeter* [Contribución]. 10th International Conference on Precision Agriculture, Palmerston North.
<https://www.ispag.org/icpa/proceedings/?action=abstract&id=195&title=Pasture+Yield+Measurement+With+The+C-DAX+Pasture+Meter+&search=topics>
- Zanoniani, R. (2010). Estado actual del conocimiento en producción de pasturas, brecha tecnológica. *Agrociencia (Uruguay)*, 14(3), 26-30.
<https://doi.org/10.31285/AGRO.14.697>
- Zanoniani, R., & Boggiano P. (2008, 21-23 de octubre). *Efecto de la intensidad de pastoreo en la productividad de cultivares de rye-grass* [Contribución]. XXII Reunión del Grupo Técnico en Forrajeras del Cono Sur-Grupo Campos, Minas.
- Zanoniani, R., Zibil, S., Ernst, O., & Chilibroste, P. (2003). *Proyecto: Interacción alimentación-reproducción: Informe final 2003*. Conaprole; EEMAC.
- Zarza, R., Durán, H., Rossi, C., & La Manna, A. (2010). Producción temprana de gramíneas anuales invernales en siembras de febrero. *Agrociencia (Uruguay)*, 14(3), 139. <https://doi.org/10.31285/AGRO.14.802>

Zibil, S., Zanoniani, R., Bentancur, O., Ernst, O., & Chilibroste, P. (2016). Control de intensidad de defoliación sobre la producción de forraje estacional y total en sistemas lecheros. *Agro Sur*, 44(2), 45-53.

<http://revistas.uach.cl/pdf/agrosur/v44n2/art06.pdf>