

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DE ESTRATEGIAS DE ALIMENTACIÓN EN
SISTEMAS LECHEROS DE BASE PASTORIL DE ALTA PRODUCTIVIDAD Y
BAJO COSTO OPERATIVO DURANTE EL OTOÑO**

por

Mauro ARROSPIDE ORSI

José Manuel RAMÓN ILLESCAS

Luis Manuel SOTO BENTANCUR

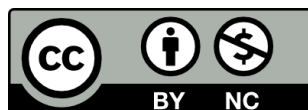
**Trabajo final de grado
presentado como uno de los
requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo**

MONTEVIDEO

URUGUAY

2026

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



PÁGINA DE APROBACIÓN

Trabajo final de grado aprobado por:

Director:

Ing. Agr. (Mag.) Gastón Ortega

Tribunal:

Ing. Agr. (Mag.) Gastón Ortega

Ing. Agr. (Dra.) Cecilia Loza

Ing. Agr. María Pía Briñón

Fecha:

4 de agosto de 2026

Estudiante:

Mauro Arrospide Orsi

José Manuel Ramón Illescas

Luis Manuel Soto Bentancur

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, por sostenernos y acompañarnos a lo largo de este camino, siendo un pilar fundamental durante toda la carrera.

A nuestros amigos, los de siempre y los que nos regaló la facultad, por los momentos compartidos y el apoyo constante.

A nuestro tutor, Gastón Ortega, por brindarnos la oportunidad de ser parte de este proyecto y guiarnos en la realización del presente trabajo, haciendo extensivo el agradecimiento a todo el equipo del CRS.

A la Facultad de Agronomía, por proporcionarnos el espacio y los recursos necesarios para el desarrollo de nuestra formación académica.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	8
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
1 INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 HIPÓTESIS	13
1.2 OBJETIVOS.....	13
1.2.1 General	13
1.2.2 Específicos.....	13
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR LECHERO EN EL URUGUAY	15
2.2 CARACTERÍSTICAS Y EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA EN URUGUAY	15
2.3 INTENSIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA.....	17
2.3.1 Efecto de la carga sobre el consumo y la productividad	17
2.3.2 Suplementación: el rol de las reservas y concentrados.....	19
2.4 PASTURAS	20
2.4.1 Producción y distribución estacional de forraje	20
2.4.2 El desafío otoñal	21
2.5 MANEJO DEL PASTOREO	23
2.6 PRODUCCIÓN DE LECHE	24
3 MATERIALES Y MÉTODOS	26
3.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES	26
3.1.1 Localización y Período Experimental	26
3.1.2 Condiciones Edáficas	26
3.1.3 Condiciones climáticas	26
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	27
3.2.1 Tratamientos	27

3.2.2	Arreglo de los Tratamientos	28
3.2.3	Animales.....	29
3.2.4	Rotación Forrajera	30
3.2.5	Manejo del pastoreo	31
3.2.6	Suplementación y rutina de los animales	32
3.3	DETERMINACIONES	33
3.3.1	Disponibilidad de forraje	33
3.3.2	Stock de forraje y tasa de crecimiento.....	34
3.3.3	Determinación de la dieta	34
3.3.4	Reservas.....	34
3.3.5	Concentrados	35
3.3.6	Determinaciones sobre los animales.....	35
3.3.6.1	Peso vivo y condición corporal	35
3.3.6.2	Producción de leche.....	35
3.3.6.3	Composición de la leche.....	35
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	35
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1	CARGA ANIMAL.....	36
4.2	PRODUCCIÓN DE FORRAJE DIARIA	37
4.3	STOCK DE FORRAJE	40
4.4	PRODUCCIÓN DE FORRAJE POR HECTÁREA Y EFICIENCIA DE COSECHA	42
4.5	DISPONIBILIDAD, REMANENTE Y COSECHA INSTANTÁNEA	43
4.6	ASIGNACIÓN DE FORRAJE.....	47
4.6.1	Tamaño de franja	48
4.7	TIEMPOS DE PASTOREO Y ENCIERRO	49
4.8	CONSUMO	51
4.8.1	Consumo de alimentos por hectárea.....	51
4.8.2	Estructura de alimentación (Kg MS/VO/día)	54
4.9	PRODUCCIÓN DE LECHE	57
4.9.1	Producción de leche individual	57
4.9.2	Producción de leche por hectárea	59

4.10	COMPOSICIÓN DE LA LECHE	60
4.10.1	Producción individual de sólidos.....	60
4.10.2	Producción de sólidos totales por hectárea.....	62
4.11	EVOLUCIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL Y PESO VIVO ...	63
5	CONCLUSIONES.....	64
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1 Potreros y recursos forrajeros	30
Tabla 2 Carga animal VO/ha PP y VO/ha SEP	36
Tabla 3 Representación esquemática de la rotación forrajera del experimento.....	37
Tabla 4 Representación esquemática de posible rotación forrajera típica lechera	37
Tabla 5 Comparación de tasas de crecimiento diarias promedio mensual (kg MS/ha PP/día)	39
Tabla 6 Producción y eficiencia de cosecha del forraje para el período experimental ..	42
Tabla 7 Promedios mensuales de disponible, remanente y cosecha instantánea para cada sistema	46
Tabla 8 Asignación de forraje (Kg MS/VO/día) por tratamiento, mensual y promedio en el periodo experimental	47
Tabla 9 Tamaño de franja por tratamiento	48
Tabla 10 Consumo de alimentos (Kg MS/Ha PP) durante el período marzo-junio 2022	52
Tabla 11 Conformación de la dieta individual diaria por tratamiento	54
Tabla 12 Carga animal y producción promedio por hectárea por día	59
Tabla 13 Producción individual de sólidos por día y composición de la leche	61
Figura 1 Condiciones climáticas durante el periodo experimental	27
Figura 2 Mapa con potreros y arreglo de los tratamientos	29
Figura 3 Rutina de los animales	33
Figura 4 TC semanal (Kg MS/ha PP/día) por tratamiento	38
Figura 6 Stock de forraje semanal (Kg MS/ha SEP) estimado con C-Dax	40
Figura 7 Comparación de forraje disponible y rechazo en Kg MS/ha, para el tratamiento BC.....	44
Figura 8 Comparación de forraje disponible y rechazo en Kg MS/ha, para el tratamiento AP	45
Figura 9 Porcentaje del tiempo en pastoreo y encierro por tratamiento para el período experimental	49
Figura 10 Tiempos de pastoreo y encierro para el tratamiento AP por mes.....	50
Figura 11 Tiempos de pastoreo y encierro para el tratamiento BC por mes	50

Figura 12 Consumo de alimentos por hectárea de BC, AP y PPC en el período de estudio.....	53
Figura 13 Estructura de alimentación mensual por VO/día. AP	56
Figura 14 Estructura de alimentación mensual por VO/día. BC	56
Figura 15 Evolución de la producción individual de leche según tratamiento.....	58
Figura 16 Producción de leche por hectárea mensual y acumulada de los tratamientos y PPC 2022	60
Figura 17 Producción de sólidos (grasa+proteína por hectárea de plataforma de pastoreo) mensual y acumulada por tratamiento	62
Figura 18 Evolución mensual del PV y CC para ambos tratamientos	63

RESUMEN

Este estudio, fue realizado entre marzo y junio de 2022, en la estación experimental del CRS de la Facultad de Agronomía (UDELAR) en Canelones, Uruguay, donde se evaluaron dos sistemas lecheros contrastantes en carga animal y costo operativo, denominados “bajo costo” (BC) y “alta productividad” (AP) durante el otoño. Se asignaron grupos homogéneos de vacas en cuanto a peso vivo (PV), condición corporal (CC), N° de lactancias y fecha de parto. El estudio se desarrolló sobre una plataforma de pastoreo (PP) de 20,7 ha con cargas animales promedio de 1,4 y 2,7 VO/ha PP para BC y AP respectivamente, sobre una rotación forrajera de seis años. Ambos tratamientos se diferenciaron en el tiempo de ocupación de las franjas de pastoreo: tres días en BC y un día en AP. En dicho período, se analizó el efecto de la carga en variables vinculadas a la producción y cosecha de forraje, consumo de alimentos, producción y composición de la leche, condición corporal y peso vivo, mediante un Diseño Completamente al Azar (DCA) evaluado a través de Análisis de Varianza (ANOVA). No se observaron diferencias significativas en la tasa de crecimiento (TC) diaria ni en el stock de forraje entre tratamientos, manteniéndose en el entorno del objetivo de 2400 Kg MS/ha SEP. Sin embargo, se observó una tendencia del sistema AP a alcanzar una mayor producción de forraje por hectárea (+24%), mayor eficiencia de cosecha directa (46 vs. 50%) y un consumo total de alimentos más elevado (5464 vs. 2980 kg MS/ha PP). El consumo individual de reservas fue mayor en AP, mientras que BC presentó mayores consumos de pastura (kg MS VO d), sin diferencias en concentrados. La carga animal tuvo impacto en las oportunidades de pastoreo, dónde BC transcurrió mayor tiempo pastoreando que AP (88% vs. 76%) afectando la estructura de la dieta. La producción individual de leche fue mayor para el tratamiento BC (+4%), mientras que no existieron diferencias estadísticamente significativas en producción individual de sólidos. En cuanto a la producción de leche y sólidos por hectárea fue superior en AP (+83% y +82%, respectivamente). No se detectaron diferencias significativas en peso vivo ni condición corporal. En conclusión, el aumento de la carga animal permitió alcanzar mayores eficiencias y una mayor producción por hectárea. Si bien la intensificación implicó una leve reducción en la producción individual de leche respecto al sistema BC, el resultado en cuanto a la productividad del sistema fue significativo.

Palabras clave: sistemas lecheros, carga animal, producción forrajera, producción de leche, consumo

ABSTRACT

This study was conducted between March and June 2022 at the CRS experimental station of the Faculty of Agronomy (UDELAR) in Canelones, Uruguay, where two contrasting dairy systems in terms of stocking rate and operating cost, designated “low cost” (LC) and “high productivity” (HP), were evaluated during autumn. Homogeneous groups of cows were assigned considering live weight (LW), body condition score (BCS), number of lactations, and calving date. The study was carried out on a 20.7 ha grazing platform with average stocking rates of 1.4 and 2.7 DC/ha for LC and HP, respectively, under a six-year forage rotation. The two treatments differed in the time of occupancy of grazing strips: three days in LC and one day in HP. During this period, the effect of stocking rate was analyzed on variables related to forage production and harvest, feed intake, milk yield and composition, body condition, and live weight, using a Completely Randomized Design (CRD) evaluated through Analysis of Variance (ANOVA). No significant differences were observed in daily growth rate (DGR) or forage mass between treatments, remaining within the target of 2400 kg DM/ha SEP. However, the HP system tended to achieve higher forage production per hectare (+24%), greater direct harvest efficiency (46 vs. 50%), and higher total feed intake (5464 vs. 2980 kg DM/ha). Individual reserve intake was higher in HP, whereas LC showed greater pasture intake (kg DM/cow/day), with no differences in concentrate consumption. Stocking rate influenced grazing opportunities, with LC spending more time grazing than HP (88% vs. 76%), affecting diet composition. Individual milk yield was higher in LC (+4%), while no statistically significant differences were observed in individual milk solids yield. Milk and solids production per hectare was higher in HP (+83% and +82%, respectively). No significant differences were detected in live weight or body condition. In conclusion, increasing stocking rate allowed higher efficiencies and greater production per hectare. Although intensification slightly reduced individual milk yield compared to the LC system, overall system productivity increased significantly.

Keywords: dairy systems, stocking rate, forage production, milk yield, feed intake

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores desafíos que enfrenta la producción de alimentos a nivel global es el de garantizar una alimentación adecuada para una población en constante crecimiento. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO et al., 2020) estiman que para el año 2050, la población mundial alcanzará los 9.700 millones de personas, lo que significa que la demanda de alimentos aumentará en un 60%. En este sentido, la tendencia lógica a nivel mundial es aumentar la cantidad y calidad de alimento producido, sin perjuicio de la sustentabilidad y sostenibilidad de los sistemas.

Uruguay claramente no es ajeno a esta realidad. En el periodo comprendido entre 1985 y 2016, el país presentó una tasa media de crecimiento de producción de leche del 3,2% anual (Fariña & Chilbroste, 2019), convirtiéndose en un sector económico relevante para el país. No obstante, según datos de la Oficina de Estadísticas Agropecuarias (DIEA, 2022), en los últimos ocho ejercicios agrícolas (2012/13 a 2019/20) la producción de leche se ha mantenido relativamente estable, con un crecimiento prácticamente insignificante en términos de producción de leche comercial total (+0,96%), este dato toma mayor relevancia si se tiene en cuenta que se logró sostener la producción, incluso en un período donde existió una reducción de la superficie total de tambos del 6,2% acompañada de un menor stock de vacunos lecheros (-6,7%). El incremento productivo relativo mencionado anteriormente, demuestra la intensificación del rubro en este período producto de mayor productividad por unidad de superficie y mayor carga animal, donde existió un incremento en la producción de 18,4% de litros anuales por vaca masa.

El desafío de la lechería en el país es lograr incrementar dicha intensificación, teniendo como objetivos un mayor ingreso pese a la volatilidad del mercado internacional, además de una sostenibilidad ambiental, reduciendo el impacto global y local, como también desde el punto de vista de los recursos humanos, logrando mayor bienestar de los productores y sus familias y el cuidado de los consumidores (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria [INIA], s.f.b).

Chilbroste (2015) reporta que los sistemas de mayor productividad alimentan mejor a sus animales logrando mayores consumos de materia seca (MS) total y mayor eficiencia de conversión del alimento en leche por las vacas en ordeño, así como también estos sistemas de mayor productividad trabajan con más carga, logrando consumos de pasturas por vaca en ordeño similares, pero consumos por unidad de superficie muy superiores a favor de sistemas con alta carga. Sistemas con mayor carga requieren una mayor dedicación operativa ya que los niveles de suplementación con concentrados y reservas son superiores, sin embargo, la combinación del aumento de carga con aumento de producción individual lleva a una mejora en la eficiencia de uso de los recursos alimenticios en los sistemas más productivos. En cuanto a diferentes estrategias de alimentación de cargas contrastantes:

si bien ambos sistemas enfrentan diferente nivel de riesgo ante fluctuaciones en las relaciones de precios o inclemencias climáticas, parece claro que gran parte de su éxito lo definen aspectos de manejo de la alimentación que le permiten usar eficientemente la pastura y/o tener buena eficiencia biológica en la transformación del alimento en leche (Aguerre et al., 2017, p. 10).

En base a esto, el objetivo propuesto para esta tesis es evaluar dos sistemas de base pastoril contrastantes en carga animal y manejo operativo, que logren la mayor eficiencia en la transformación de alimentos a productos, siendo viables tanto económicamente como operativamente, sin descuidar aspectos de bienestar animal y la sostenibilidad de los sistemas.

1.1 HIPÓTESIS

No se esperan diferencias en la producción total de forraje (Kg/ha PP) entre tratamientos.

Se estima que el sistema BC presente mayor tiempo de ocupación en la pastura con respecto al sistema AP, afectando la estructura de la dieta.

Se prevé que los sistemas con una carga animal más elevada (AP) logren una mayor cosecha de forraje por hectárea.

Se espera que el sistema AP, obtenga consumos individuales de pastura menor que BC, pero mayores consumos de reservas y concentrados.

Se prevé que el sistema AP obtenga una mayor producción de leche y sólidos por unidad de superficie, con producciones individuales de leche y sólidos similares al tratamiento de baja carga (BC).

Es posible gestionar sistemas pastoriles con una carga animal elevada sin que esto tenga efectos adversos en la producción primaria (forraje), manteniendo la viabilidad operativa.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 General

Evaluar el impacto en las variables biofísicas de dos sistemas contrastantes en la dedicación operativa y carga animal. Así como el impacto de diferentes niveles de carga en un sistema lechero, empleando un modelo de alimentación pastoril diseñado para optimizar la producción y el uso del forraje disponible durante el otoño.

1.2.2 Específicos

Para cada sistema en evaluación definido se propone comparar y evaluar los siguientes puntos:

- a. Producción animal:
- Analizar la producción individual y por unidad de superficie, de leche y sólidos.
 - Conocer la estructura de alimentación, consumo de forraje, reservas y concentrado por animal y por ha y cómo éstos inciden en la productividad animal.
 - Evaluar evolución de condición corporal y peso vivo de los animales a lo largo del período.
- b. En función a la producción de forraje:
- Determinar el nivel de forraje producido y cosechado en el período de evaluación en el área de plataforma de pastoreo (PP), así como las eficiencias relacionadas al consumo en pastoreo.
 - Monitorear el stock de forraje del sistema.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL SECTOR LECHERO EN EL URUGUAY

El rubro lechero en el Uruguay ocupa aproximadamente el 5% del territorio nacional. Cuenta con 2978 establecimientos lecheros, de los cuales el 72% remiten a plantas industrializadoras (DIEA, 2025), vinculando a un total de 20.000 personas al sector (Arbolea, 2024). En cuanto al número de establecimientos en relación con su superficie, el mayor número está compuesto por predios en donde su superficie oscila entre las 50 y 199 ha, seguido por productores que ocupan superficies menores a 50 ha, representando el 72,3% del área de la lechería nacional; mientras que el restante 27,7% se encuentra comprendido por predios con una superficie entre 200 y 499 ha, y más de 500 ha, compuesto por un 17,5 % y 10,2 % respectivamente (DIEA, 2022).

Alrededor del 85% de la leche producida en el país es procesada por la industria. Uruguay, se caracteriza por ser un país exportador neto de lácteos, destinando el 30% de la producción al mercado interno, mientras que el 70% de la leche producida se exporta, siendo el séptimo exportador mundial (Giudice, 2021) por detrás de la Unión Europea, Nueva Zelanda, Estados Unidos, Australia, Argentina y Bielorrusia (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico [OCDE] & FAO, 2021). La leche es industrializada de diferentes maneras, determinando así una variedad de productos, en donde el derivado más importante es la leche en polvo entera aportando más del 60% de la producción, le siguen en importancia los quesos con casi 20%, manteca cerca del 10% y leche en polvo descremada también con un porcentaje similar. A pesar de ser netamente exportador, Uruguay, por su pequeña escala debe acoplarse a las variaciones en los precios del mercado internacional, siendo una de las problemáticas que afronta el sector el ser un país tomador de precios. Debido a esto los sistemas lecheros han tenido que optar por estrategias de producción en donde se intensifican las tareas, en búsqueda de poder generar calidad en los productos para poder competir en el mundo (Giudice, 2021). Los productos lácteos uruguayos alcanzan más de 60 mercados, en donde los principales destinos son Brasil (29%), Argelia (23%) y China (10%) (Instituto Nacional de la Leche [INALE], s.f.), representando el 12% de las exportaciones de origen agropecuario y el 8,8% del total de las exportaciones nacionales (DIEA, 2024).

2.2 CARACTERÍSTICAS Y EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA EN URUGUAY

Los sistemas de producción lechera en Uruguay se caracterizan por ser “sistemas mixtos” o “pastoriles con suplementación”, y se desarrollan en una zona climática subtropical húmeda (Chilibroste et al., 2012). En los últimos 30 años, la producción de leche en el país aumentó de 597 a 2083 millones de litros, que representa un crecimiento anual del 3,2%, pero durante este mismo período el área destinada a la lechería disminuyó un 36%, mientras que el número de productores decreció un 45% (Fariña & Chilibroste, 2019). Según Aguerre et al. (2017) dicho aumento en producción se manifestó gracias al incremento de la carga animal de los sistemas y fundamentalmente

a una mayor productividad por vaca masa. Esta mejora en productividad y eficiencia del sistema productivo es muy importante, debido a la competencia por recursos de mayor aptitud productiva con otros sectores con márgenes muy interesantes como la agricultura, sumado al marcado incremento del precio de la tierra en los últimos años (Arbeletche, 2020).

En el marco del Proyecto de Producción Competitiva, Chilibroste y Battegazzore (s.f.) realizaron un estudio en el período 2013-2018 sobre 700 establecimientos lecheros, reportando las características productivas de los mismos y sus resultados económicos. Estos autores indican que el tamaño promedio de los tambos analizados fue de 151 hectáreas vaca masa (VM), registrando remisiones anuales de leche de 860.000 litros promedio por tambo y una productividad de 6099 L/ha VM y 432 kg de sólidos/ha VM con valores de carga animal que variaron entre 1,12 y 1,07 VM/haVM. Uno de los datos importantes que resultan de este proyecto, es la evaluación de la evolución de los gastos de funcionamiento en litros de leche necesarios en cada año para cubrir los mismos, reflejando un aumento del 32,6% para el fin del período, explicado por la volatilidad de los precios internacionales en el precio de la leche, y gastos de funcionamiento como mano de obra, servicio de deuda y pago de renta. Es por esto, que nuevamente toma relevancia aumentar la productividad de manera eficiente para competir no sólo con otros rubros por recursos de mayor capacidad productiva, sino también para ser competitivos con países exportadores de productos lácteos. El dato más relevante es que se llegó a la conclusión de que es muy alta y positiva la correlación entre el margen de alimentación con la productividad y el ingreso de capital, por consiguiente, la estructura de alimentación tiene un impacto significativo en el margen de alimentación, donde los tambos que lograron mayor participación del forraje en la dieta (58 a 65% de la materia seca total consumida) alcanzaron menores costos de alimentación. Hay una tendencia muy clara en mostrar incrementos de cosecha directa de forraje a medida que aumenta la carga animal de los sistemas.

A nivel internacional, países como Nueva Zelanda, Australia, Estados Unidos y Países Bajos presentan productividades por encima de los 10.000 litros por hectárea, mientras que Irlanda, Argentina y Uruguay tienen productividades por debajo de los 7000 litros por hectárea. Esta superioridad está explicada principalmente por mayores niveles de carga animal, mayores márgenes de alimentación y menores costos de alimentación por litro de leche, también, presentaron niveles superiores de consumo de forraje por hectárea y suplementos (Fariña & Chilibroste, 2019). Estos mismos autores indican que una gran ventaja comparativa que presenta Uruguay, son los menores costos de alimentación por litro de leche frente a los principales países exportadores, por lo tanto, aumentar la carga animal en nuestros sistemas y lograr mayores consumos de forraje es el gran desafío y oportunidad de mejora que presenta el sector.

2.3 INTENSIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA

2.3.1 Efecto de la carga sobre el consumo y la productividad

La carga animal es un factor clave en la intensificación de los sistemas lecheros de base pastoril. Las diferencias más importantes en cuanto a las estrategias productivas en la lechería comercial han estado explicadas por un aumento de la carga animal y en menor grado por las variaciones en lo que respecta a la producción individual (Chilibroste & Battegazzore, s.f.). Teniendo en cuenta que la pastura se conoce como el alimento de menor costo por kilogramo de materia seca, proteína cruda o megacalorías de energía metabolizable (Chilibroste, 2015), y sabiendo la relación que tiene la participación del forraje en la estructura de la dieta de las vacas con mayores márgenes de alimentación y por ende, en el ingreso de capital (Chilibroste & Battegazzore, s.f.); en los últimos años se han desarrollado diferentes trabajos de investigación (nacionales e internacionales) con el objetivo de estudiar cómo impactan diferentes niveles de carga en el consumo por animal y por hectárea, y su efecto en la productividad del sistema, mencionados a continuación.

Chilibroste (2015) realizó la comparación entre cuatro sistemas de productividad lechera: Baja, Media Baja, Media Alta y Alta. Encontró que las mayores productividades están vinculadas a cargas elevadas, y que hay diferencias significativas en el consumo de alimento según el nivel de productividad. Dicha fuente indica que los sistemas de mayor productividad consumen más suplementos (concentrados y reservas) y menos pastura por vaca en comparación con los de menor productividad. A pesar de que los sistemas con mayor carga requieren más suplementación, la combinación de esta con una mayor producción individual, genera una mejora en la eficiencia del uso de los alimentos, resultando en un mayor consumo total de materia seca (18,8 vs. 15,9 kg MS/VO/día) y eficiencia de conversión de alimento en leche (1,15 vs. 1,02 L de leche/kg MS; 81,7 vs. 71,4 g de sólidos/kg MS). Por lo tanto, se deduce que los sistemas más productivos consiguen un uso más eficiente de los recursos alimentarios, mientras que, en los sistemas de baja carga, las restricciones en la cosecha de pastura se atribuyen más a una menor utilización que a problemas en la producción de forraje debido a las menores cargas registradas. El consumo de forraje, reservas y concentrados por hectárea VM es también variable dentro de los diferentes niveles de productividad, donde todos los componentes de la dieta se ven incrementados al comparar sistemas de baja productividad respecto a los de alta. A medida que aumenta la carga animal, la cosecha directa de forraje se incrementó de 2434 a 4006 kg MS/ha (+ 65 %; Alta vs Baja), pero fueron las reservas y los concentrados los de mayor incremento porcentual. Por lo tanto, se concluye que el aumento de la carga animal, junto con mayores registros de producción individual, incide directamente en el consumo de alimentos por hectárea y por animal, lo que permite alcanzar mayores cosechas de forraje a nivel de superficie, pero también aumentando el uso de suplementos, y en consecuencia, los sistemas de producción lecheros pastoriles más intensivos logran mejores productividades.

Astigarraga (2004) determina el efecto de la alimentación sobre la producción, en particular sobre la variable consumo total de alimento, ya que según reporta, esta variable es responsable de más del 60% de las variaciones de la producción de leche. Al realizar una comparación entre el consumo total y la producción de leche, y agrupar los resultados en tres categorías, concluye que consumos totales menores a 14 kg MS/día están asociados a las menores productividades individuales (15,5 l/d), consumos entre 14 y 15,5 kg MS/día, con inclusión de aproximadamente 18% de concentrado energético, logran producciones medias de 17,5 litros/d, mientras que producciones de 20 litros/d de promedio es necesario aumentar la cantidad de alimento pero también la concentración energética de la dieta, con una proporción del 23% de concentrado. La estimación del forraje cosechado por los diferentes sistemas en el área VO, con cargas que varían desde 0,80 a 1,26 VO/haPP, resultó en una cosecha de 3800 kg MS/ha/año en promedio, reportando una distribución estacional de 12% para otoño (456 kg). Además, en el mismo estudio se determinó la participación del pasto en la dieta, obteniendo un valor medio de 9,4 kg MS/VO/día, 2,51 kg MS de forraje en forma de reserva y 3,1 kg MS como concentrados. Se comprueba una disminución de la participación del pasto en la dieta de las vacas a medida que aumenta la carga, y por lo tanto aumento en el uso de reservas, reafirmando la importancia de las reservas para sostener la carga.

En un trabajo nacional reciente, publicado por Ortega et al. (2024) se estudiaron sistemas de cargas contrastantes (1,5 y 2,0 VO/ha PP) en combinación con diferentes alturas del forraje remanente y su impacto en variables productivas vinculadas al forraje y al animal. El objetivo fue maximizar la cosecha directa de pasturas, respetando un stock de forraje objetivo promedio. Los resultados mostraron que los sistemas de mayor carga no afectaron la producción de forraje del sistema, pero sí se vio efecto en la cosecha directa del forraje, logrando cosechar directamente un 29% más que el sistema de menor carga (5724 kg MS/ha/año y 4439 kg MS/ha/año, respectivamente). Además, aumenta significativamente el consumo de reservas y concentrados a nivel de superficie, y a su vez, registró mayores consumos totales de materia seca por vaca en el tratamiento de alta carga (18,5 vs. 17,8 kg MS/VO/día). La estrategia de alimentación varía en función de la carga, afectando la estructura de la dieta de las vacas, observándose mayor participación de las pasturas en los tratamientos de menor carga y, por el contrario, el uso de reservas forrajeras predomina en la dieta del sistema de mayor carga. La alta demanda de suplementos requiere la infraestructura necesaria para llevar a cabo sistemas de producción intensivos, de manera de facilitar la operativa y evitar impactos negativos en la performance animal. Los mayores niveles de consumo por vaca y por hectárea en el tratamiento de alta carga, repercutieron en un aumento en la productividad del 38% a nivel de superficie (12700 L/ha/año vs. 17512 L/ha/año).

En el ámbito internacional, el efecto de la carga sobre el consumo y la productividad también fueron objetos de estudio. Macdonald et al. (2008) realizaron un ensayo durante tres años en Nueva Zelanda, con cinco niveles de carga que iban desde 2,2 vacas/ha a 4,3 vacas/ha. El aumento en la carga animal significó incrementos en la

productividad por hectárea del 34% si se compara la carga inferior con la superior, a pesar de observarse efectos negativos de la carga sobre la performance individual de las vacas en ordeño, que presentaron reducciones en kilogramos de leche por vaca y por año del 31%. El sistema más intensivo, reportó consumos de pastura por hectárea superiores que el tratamiento de menor carga (16597 kg MS/ha/año vs. 12098 kg MS/ha/año). A pesar del mayor consumo de pasturas a nivel de superficie mencionado, cuando se observa la estructura de la dieta por vaca, es en el sistema de menor carga donde la proporción de pastura es más relevante, mientras que, en las vacas integrantes del lote de mayor carga, la participación de suplementos toma mayor relevancia; implicando la necesidad de importar suplementos para sostener la producción cuando la carga animal es alta.

En síntesis, los sistemas de alta carga animal cumplen un rol fundamental en la intensificación de los sistemas lecheros, ya que permiten incrementar la productividad a partir de mayores consumos de pasturas, reservas y concentrados por hectárea. Esta dinámica se traduce en cambios en la estructura de la dieta y determina cambios en la estrategia de alimentación. Gil Zibil (2024) señala que la intensificación de los sistemas lecheros uruguayos ha sido el resultado de diversas estrategias que logran aumentar la productividad, basadas en ajustes de carga y, por lo tanto, de la alimentación, mediante el manejo del consumo de forraje y suplementos.

2.3.2 Suplementación: el rol de las reservas y concentrados

La suplementación ha impulsado la intensificación del sector:

entre 2002 y 2015 los sistemas lecheros de Uruguay intensificaron su producción por hectárea principalmente a través de un aumento del 311% en el uso de concentrados (CONAPROLE, 2016), los cuales pasaron a representar las $\frac{3}{4}$ partes del costo de alimentación de los sistemas (FUCREA, 2016). Sin embargo, el forraje consumido por hectárea (por pastoreo o reservas) sólo aumentó un 24 % en ese mismo período (INIA, 2017, párr. 2).

La intensificación de los sistemas pastoriles se ha apoyado principalmente en el incremento del uso de suplementos y, más recientemente, la incorporación de la ración totalmente mezclada (RTM). Este recurso se utiliza sobre todo en períodos del año donde existe un desajuste entre la oferta de forraje y las demandas nutricionales del rodeo (Chilibroste et al., 2007; Wales et al., 2013). En este marco, Cajarville et al. (2012) sostienen que los esquemas mixtos de alimentación (combinación de suplementos y pasturas) logran superar ciertas limitaciones productivas, a la vez que mantienen la base pastoril que caracteriza a los sistemas uruguayos.

Este cambio fue acompañado de mejores prácticas de alimentación, uso de dietas mezcladas, con los concentrados como un alimento clave en el esquema de alimentación, que dieron como resultado que, en las últimas décadas, desde el año agrícola 2015/16 (julio-junio), hasta 2022/23, la producción de leche en Uruguay

aumentó aproximadamente un 12% (DIEA, 2024), en base a un aumento en los litros por hectárea a partir de mayor carga (vacas masa/hectáreas vaca masa) y producción individual (litros/vaca masa/año), mientras que la superficie de producción fue incluso reducida en un 20% (Chilibroste, 2015; DIEA, 2014).

Independientemente del sistema productivo la suplementación llega a representar, en algún período del año, no menos del 50% de la dieta. Esto se da por dos motivos principales. En primera medida debido a que las temperaturas durante el invierno restringen el crecimiento de las pasturas a valores de entre 13 y 15 kg de MS/ha/día (Seguimiento Satelital CONAPROLE, 2016). Por otro lado, la frecuencia de condiciones climáticas extremas restringe el acceso de las vacas al pastoreo. Durante el otoño e invierno esto se da típicamente por excesos hídricos en el suelo que lo hacen susceptible de daño por pisoteo (INIA, 2017, párr. 1).

La intensificación de los sistemas lecheros uruguayos se ha apoyado en una mayor suplementación, especialmente durante otoño e invierno, cuando la disponibilidad de pasto es limitada. Esta estrategia permite sostener cargas animales altas y mejorar la producción de leche por hectárea, vinculando directamente la suplementación con la productividad del sistema.

2.4 PASTURAS

2.4.1 Producción y distribución estacional de forraje

La producción de forraje y su estacionalidad son variables de suma importancia a tener en cuenta en los sistemas pastoriles lecheros y su productividad, ya que afecta la oferta de alimentos, modificando la planificación del consumo y manejo del forraje (Chilibroste et al., 2010). Por lo tanto, conocer la producción estimada de los distintos recursos forrajeros permite realizar una presupuestación forrajera, herramienta esencial en el desarrollo de sistemas productivos modernos, permitiendo predecir la situación forrajera y anticiparse en la toma de decisiones, clave para la planificación de los sistemas productivos que buscan intensificar, y mejorar la eficiencia de sus procesos (Irigoyen, 2011).

Diversos autores han publicado datos sobre la producción de forraje de distintos recursos forrajeros en Uruguay. Leborgne (1983) señala que las pasturas conformadas por lotus, trébol blanco y raigrás en la zona Litoral y Sur, producen en su primer año alrededor de 6.800 kg MS/ha, mientras que en el segundo y tercer año alcanzan valores de 9.000 y 6.000 kg MS/ha, respectivamente. Esta producción presenta una marcada variación estacional, con una participación otoñal del 14% en el primer año, 22% en el segundo y 20% en el tercero. Situaciones similares se observan en los verdeos de invierno, como avena y raigrás para la zona de La Estanzuela, que en otoño producen, según García (2003) 1.448 y 829 kg MS/ha, equivalentes al 22% y 11% de su producción total anual, respectivamente. En la misma localidad, Calistro y Gutiérrez

(2024) reportan que una pastura de alfalfa + festuca supera los 8.000 kg MS/ha anuales durante los primeros cinco años, destacándose el tercer año, donde se alcanza un pico de aproximadamente 11.200 kg MS/ha. Según Fariña (2023) “los niveles de consumo de pastura por hectárea en los predios comerciales están en torno a las 3 toneladas de materia seca por pastoreo directo, pudiendo llegar a 5 toneladas si se suman las reservas de forraje” (p. 395).

Carámbula (2002) hace una serie de consideraciones sobre las distintas pasturas y forrajes en cuanto al comportamiento y producción de forraje de las mismas, considera que los verdeos de verano tienen la característica de lograr una producción muy alta en el verano, decreciendo en el resto del año donde su producción es notoriamente inferior, en cambio los verdeos de invierno se comportan de manera inversa, logran una gran producción en invierno y primavera, a pesar de una muy baja en el verano, la combinación de diferentes tipos de verdeos de invierno permite ampliar la ventana de alta producción, un ejemplo de ello es la mezcla Avena - Raigrás, que logra aumentar la producción otoñal logrando una mejor estabilidad a lo largo del año.

Una opción que logra una mejor estabilidad, y que tiende a cubrir en mayor medida las exigencias de la producción animal a lo largo de todo el año, aunque sin picos de producción tan claramente marcados como los anteriores mencionados son las praderas o pasturas permanentes, que lo logran en base a mezclas de gramíneas y leguminosas, invernales y estivales. Aunque al igual que los verdeos de invierno, su máxima producción la logran en primavera, (en torno al 40%), y en contraposición a los verdeos de verano, las praderas en esta estación del año es donde menos forraje son capaces de producir (Carámbula, 2002).

Holmes y Roche (2007) sugieren que, durante períodos de excedente de pasto, es crucial maximizar la tasa de consumo de forraje y mantener los remanentes bajos. De lo contrario, es recomendable reservar áreas para henolaje. Además, destacan la importancia de detectar rápidamente el inicio del crecimiento excesivo de forraje mediante el monitoreo del número de hojas y/o el crecimiento del remanente. Se enfatiza la recolección temprana del forraje para garantizar un ensilaje de alta calidad y un rápido rebrote de la pastura. El momento óptimo de cosecha tiende a ser más temprano en sistemas de carga baja (Thomson, s.f., como se cita en Holmes & Roche, 2007), mientras que, en sistemas de alta carga, es probable que haya poco o ningún excedente para cosechar (Macdonald et al., 2001).

2.4.2 El desafío otoñal

El otoño es una estación clave en el sistema productivo, donde la planificación de la rotación forrajera junto con las decisiones de manejo del pastoreo va a determinar la productividad primaria y secundaria del sistema. González y Astigarraga (2012) plantean que el acortamiento de la duración de los ciclos de las rotaciones forrajeras es uno de los principales problemas que enfrentan los predios lecheros en Uruguay y que esta situación ha llevado a que en el otoño e invierno ocurra una importante

disminución del área de pastoreo, generando consecuencias negativas, como el sobrepastoreo de las praderas, subalimentación del rodeo y pérdida de eficiencia en el uso de concentrado.

Por el mismo camino, Chilibróste et al. (2010) indican que una de las causas del sobrepastoreo observado en el período otoño – invernal es la fuerte disociación entre la demanda por alimento del sistema y la oferta de alimento que se presenta fuertemente estacionalizada, especialmente en el período otoñal donde existe una reducción del área con forraje, ya que una parte importante de la superficie de pastoreo se encuentra en transición hacia verdeo o pradera nueva, aumentando la carga efectiva del sistema y que puede derivar en condiciones de inestabilidad productiva provocando aumentos en los costos de producción.

Analizando el área efectiva de pastoreo, Astigarraga (2004) explica que los factores que la determinan son el porcentaje de área a implantar por año (verdeos, praderas, renovaciones) y las decisiones del productor, relacionadas principalmente a la fecha de siembra.

Ernst (2003) hace referencia a que rotaciones más cortas determinan mayor superficie a sembrar en otoño, causa que implica una fuerte reducción de la superficie en pastoreo. También, condiciones hídricas desfavorables para la siembra y problemas estructurales en el diseño de las rotaciones derivan sistemáticamente en fechas de siembra tardías.

Zanoniani et al. (2003) destacan que la reducción en la superficie efectiva de pastoreo provoca menor productividad y persistencia de las pasturas, que se ven condicionadas por la alta carga animal que determina sobrepastoreo, generando acortamiento de las rotaciones, mayor degradación e intensidad en el uso del suelo y disminución en la productividad del sistema. Además, comparaciones de fechas de siembra tempranas, intermedias y tardías, reflejan que a medida que se atrasa la fecha de siembra, se observan menores producciones de forraje que representan aproximadamente el 30 a 45% de la producción anual de las pasturas, pero estas diferencias no sólo corresponden al atraso en las fechas de siembra, sino también a las oportunidades que las siembras tempranas dan para el incremento de la producción gracias al agregado de nutrientes.

En base a lo mencionado anteriormente, la planificación de la rotación forrajera que asegure además de una buena productividad de forraje, menor área en transición y por ende que el área de superficie efectiva de pastoreo no se reduzca de manera importante repercutiendo en que la carga animal no se dispare en el otoño, más un correcto manejo del pastoreo durante esta estación van a optimizar la productividad y sostenibilidad del sistema.

2.5 MANEJO DEL PASTOREO

En los sistemas de pastoreo las vacas y su manejo pueden afectar la disponibilidad, crecimiento y la calidad de las pasturas en el futuro. Por lo tanto, todos los sistemas pastoriles lecheros están gestionados por ecosistemas lógicos, dentro de los cuales se deben mantener equilibrios óptimos, dentro y entre las pasturas y las vacas, para optimizar el rendimiento del sistema (Holmes & Roche, 2007).

En los sistemas lecheros del Uruguay el principal componente de la dieta en términos de consumo individual (kg MS/VO/día) es la pastura (Chilibroste & Battegazzore, s.f.). Sin embargo, según señalan Ortega et al. (2018) y Stirling (2021) en los sistemas de producción de leche de Uruguay, el aprovechamiento de forraje es bajo.

Con un manejo controlado del pastoreo, con relación a alturas de ingreso y salida de las pasturas, se logra producir aproximadamente 3 kg MS/ha/día adicionales con respecto a manejos no controlados. Este dato es importante considerando que, en el otoño, el potencial de crecimiento de las pasturas es menor debido a las bajas temperaturas y escasa luminosidad (Zanoniani et al., 2003). De igual forma, Silbermann et al. (2005) con relación a la producción de forraje, aseguran que el manejo controlado del pastoreo tiene un impacto positivo en la producción, pero también en la cantidad de forraje cosechable, donde se registró un aumento del 36% en el período otoño – invernal, en comparación a manejos no controlados.

Astigarraga (2004) señala que el tope del sistema de producción de leche se encuentra en la oferta de forraje. Si no hay cambios significativos en la disponibilidad actual de alimentos para el ganado lechero, como suplementos proteicos de alta calidad, se requiere un equilibrio entre la cantidad de pasto y la reserva de forraje en la dieta de las vacas lecheras para lograr niveles óptimos de producción. Esto implica identificar las cargas "óptimas" para las condiciones actuales de producción de forraje. Sin embargo, también subraya la necesidad de mejorar la productividad de la base forrajera, buscando superar el "techo" que cada tambo enfrenta según el potencial productivo del suelo. Esto implica trabajar en aspectos de manejo, como las fechas de siembra y la frecuencia de pastoreo, así como en la fertilización de las pasturas.

Existen diferentes métodos para gestionar el pastoreo. Fariña et al. (2017) proponen un sistema llamado "La Estanzuela o "Las 3 R", basado en tres pilares: recorrida, rotación y remanentes, con los siguientes objetivos: cosechar todo el crecimiento del pasto, estimando el crecimiento promedio diario del forraje de todo el tambo y determinando el stock de pasto promedio del área bajo pastoreo. A partir de los datos de la recorrida semanal, se determina la asignación de forraje (kg MS/VO/día) teniendo en cuenta la tasa de crecimiento (kg MS/ha PP/día), la carga animal y la disponibilidad de forraje, permitiendo el manejo de la rotación para la semana priorizando el cumplimiento del objetivo: cosechar todo el crecimiento del sistema. Este procedimiento aporta mayor control sobre el pastoreo, mediante la formulación de dos indicadores que se complementan entre sí y contribuyen con la información necesaria

para saber si el sistema se encuentra bajo control, ellos son: el stock de forraje promedio del sistema y la tasa de crecimiento diaria.

En la misma línea, Berone (2020) indica que, en condiciones de pastoreo directo, donde los principales componentes de la producción son la producción de forraje (primaria) y la producción animal (secundaria), ambas comparten un mismo insumo o recurso básico: calidad nutritiva. Para lograr calidad, se deben seguir dos principios básicos para una utilización eficiente de la pastura, mantener un valor promedio de biomasa o stock de pasto (kg MS/ha) durante todo el año y en toda el área, y consumir diariamente una cantidad de forraje por hectárea similar a la tasa de crecimiento diaria por hectárea. Sistemas donde diariamente el consumo es mayor al crecimiento reducen el stock, pudiendo afectar rebrotes, deprimiendo la productividad en el corto plazo y arriesgando la perennidad de las pasturas, aquellos sistemas donde se consume menos que el crecimiento diario, aumentan promedialmente el stock, generando una ineficiencia desde el punto de vista productivo debido a un aumento de la selectividad de los animales, lo que provoca que se dé la senescencia de una parte del forraje consumido.

2.6 PRODUCCIÓN DE LECHE

Ortega et al. (2024) señalan que “el proceso de intensificación en los sistemas lecheros de Uruguay durante los últimos 30 años ha implicado aumentos en la carga animal y en la producción individual de leche” (p. 1). En esta línea, sugiere que la eficiencia en sistemas de producción lechera basados en pasturas depende tanto de la carga animal como del manejo de la altura remanente del forraje después del pastoreo. Estos autores, en un estudio de tres años realizado en Canelones, Uruguay, evaluaron cómo estas variables afectan la producción de leche y sólidos. Los resultados mostraron que los sistemas con mayor carga (2,0 VO/ha) y con altura remanente moderadamente alta, alcanzaron la mayor producción por hectárea, mientras que los sistemas con menor carga o remanente más bajo presentaron menores niveles productivos. La producción individual no se vio significativamente afectada, indicando que las diferencias en la producción total se deben principalmente a la combinación entre la carga y el manejo del forraje. En conjunto estos resultados sugieren que un manejo estratégico de la carga animal y de la altura remanente del pasto permite optimizar la producción de leche por hectárea sin comprometer el rendimiento individual, mejorando la eficiencia en el uso de forraje (Ortega et al., 2024).

Estos resultados van por la misma línea con los presentados por Stirling (2021) donde en un experimento en La Estanzuela (Colonia, Uruguay), evaluó dos estrategias de alimentación con diferente proporción de pasturas en la dieta (Manda dieta - MD y Manda Pasto- MP), y dos genotipos animales (HNZ y HNA). La estrategia MD tenía una asignación fija del 33,3% del consumo de materia seca para cada componente de la dieta (forraje, concentrados y reservas), en donde todos los suplementos se ofrecían en forma de ración parcialmente mezclada con un mixer en el comedero de hormigón. La estrategia MP tenía una asignación de forraje variable en base a la TC de este, mientras

que el concentrado era ofrecido en la sala de ordeño en función del 33,3% del consumo de materia seca total, y las reservas de forma variable en relación con la cantidad de pasto disponible. Como resultado de este experimento el tratamiento MP-HNZ obtuvo una mayor producción de sólidos y de leche por hectárea debido a un aumento de la carga a lo largo del experimento, concluyendo que se es posible aumentar la productividad por hectárea de los sistemas lecheros del Uruguay a partir de la cosecha de forraje producido y estrategias de alimentación que no afecten de manera significativa la producción individual.

Diferentes estudios han evaluado como la intensidad de defoliación afecta el consumo de forraje y la producción individual. En este sentido, Menegazzi Conceição (2020) evaluó el efecto de tres intensidades de defoliación en una pastura a base de *Festuca arundinacea* sobre diferentes variables, entre ellas la producción de leche. Se manejaron tres alturas post-pastoreo (15, 12 y 9 cm), comenzando el pastoreo en todos los tratamientos cuando la pastura alcanzaba el estado fisiológico de tres hojas. La producción de leche se midió diariamente. Los resultados indicaron que existieron diferencias significativas en la producción individual de las vacas según el manejo del pastoreo empleado, donde los pastoreos más laxos alcanzaron una mayor producción de leche que las vacas del tratamiento de mayor intensidad de pastoreo (13,1, 16,2 y 18,7 kg de leche/día para los tratamientos de alturas post-pastoreo 9, 12 y 15 cm, respectivamente). Estos resultados se explican no sólo por un mayor consumo total de materia seca, sino también por el comportamiento selectivo de los animales, resultando en un alto consumo de materia seca digestible y repercutiendo directamente en la productividad individual.

En un trabajo internacional realizado por Fales et al. (1995) en los EE. UU., la intención fue la misma, intensificar la producción lechera mediante un aumento de la productividad y rentabilidad, gracias al incremento del nivel de carga animal, sin afectar la producción individual de leche de las vacas. Los tratamientos fueron de 2,5 VO/ha (baja), 3,2 VO/ha (media) y 4 VO/ha (alta). El estudio se desarrolló sobre una pastura perenne, y con el objetivo de sostener la performance individual de las vacas en ordeño, se suplementó con henilaje y con grano como concentrado, en el orden de 1 kg MS de grano por cada 4 kg de leche producida. En consecuencia, la producción de leche por vaca y la composición de la leche no se vieron afectadas por la carga en ninguno de los dos años en los que transcurrió el experimento. Y, por ende, la producción de leche por superficie estuvo directamente relacionada con la carga animal de cada tratamiento, alcanzando mayores producciones por hectárea a medida que aumenta la carga.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES

3.1.1 Localización y Período Experimental

El estudio fue realizado en la estación experimental Centro Regional Sur perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República, ubicado sobre Camino Folle km 35.500, en el departamento de Canelones, Uruguay (Latitud: S 31° 36' 47.63"; Longitud: W 56° 13' 04.03"), en el periodo comprendido entre marzo y junio del 2022.

3.1.2 Condiciones Edáficas

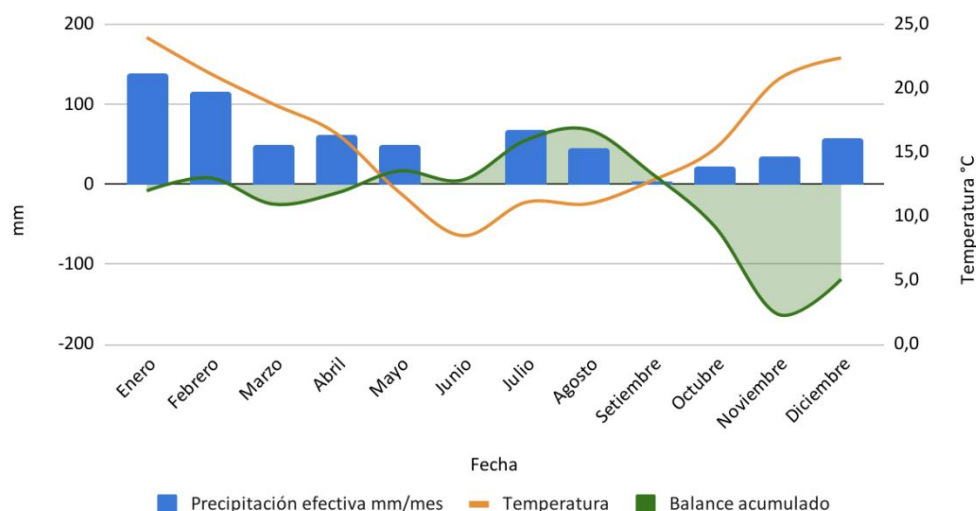
De acuerdo con la carta de reconocimiento de suelos del Uruguay en escala 1:1.000.000 (Durán, 1976), el sitio de estudio está ubicado en la Unidad Tala Rodríguez. Los suelos corresponden al grupo CONEAT 10.8a, donde los suelos dominantes son Brunosoles Eutricos Típicos/Lúvicos, con textura limo y limo-arcillosa, en conjunto con Vertisoles Rupticos Lúvicos (Típicos) de textura limo arcillosa. Asimismo, según la carta geológica del Uruguay escala 1:500.000 (Bossi, 2001) el área donde se realizó el experimento pertenece a la Formación Libertad.

3.1.3 Condiciones climáticas

Uruguay se encuentra ubicado en una zona subtropical templada entre los 30° y 35° de latitud sur.

Los valores promedio de precipitaciones acumuladas anuales para el país varían entre los 1200 y 1600 milímetros (mm) y la temperatura media anual se sitúa en torno a los 17,7°C, oscilando desde unos 19,8°C en la zona Noroeste (Bella Unión), hasta los 16,6°C en la costa Sur (Castaño et al., 2011).

Las condiciones climáticas durante el periodo bajo investigación Marzo - Junio, ilustradas en la figura 1, elaborados en base a datos de la estación meteorológica de INIA Las Brujas, están marcadas por un balance hídrico negativo durante los meses de marzo y abril, provocados por las escasas precipitaciones en marzo; en abril y mayo las precipitaciones aumentan generando un balance acumulado positivo en los meses de mayo y junio, aunque en este último mes las precipitaciones fueron muy escasas. La temperatura promedio del periodo fue inferior a la temperatura promedio histórica para la localidad.

Figura 1*Condiciones climáticas durante el periodo experimental*

Nota. Elaborado a partir de datos meteorológicos de INIA (s.f.a).

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

3.2.1 Tratamientos

El ensayo constó de dos sistemas de producción lechera contrastantes, con diferentes estrategias productivas. El presente trabajo utiliza información correspondiente al período de otoño de un ensayo más amplio, desarrollado durante tres años, en el cual se evaluaron dos sistemas. En dicho experimento se establecieron cargas objetivo promedio de 1,8 y 3,0 VO/ha de plataforma de pastoreo (PP) para los sistemas de bajo costo (BC) y alta productividad (AP), respectivamente (si bien, como se especifica en la Sección 3.2.2, las cargas efectivamente empleadas en este ensayo difirieron de los valores objetivo inicialmente planteados).

Los tratamientos se desarrollaron sobre una plataforma de pastoreo (área potencial de pastoreo para vacas en ordeño, es decir, la totalidad de potreros con pasturas perennes o verdeos anuales destinados para el pastoreo de los lotes a lo largo del año) de 20,7 ha con igual rotación forrajera, compuesta por 6 potreros divididos a la mitad, en donde se le asigna a cada uno un tratamiento, de este modo cada lote recorre la misma distancia a la sala de ordeño (figura 2).

El sistema BC busca hacer énfasis en la simplicidad operativa y la disminución de costos de producción. Su estructura es determinada por un lote con una carga objetivo de 1,8 VO/ha PP lo que lleva a una totalidad de 36 vacas en ordeño (VO), donde el forraje que es consumido por las vacas proviene en su totalidad de la plataforma de pastoreo, incluyendo las reservas utilizadas, en este caso henilaje y/o heno, que se suministran en dos potreros designados a tal uso, que se mantienen en rotación para minimizar el impacto sobre el suelo y contemplar el confort animal.

El sistema AP, cuyo objetivo principal se basa en lograr una alta productividad por hectárea. Con una mayor carga objetivo de 3,0 VO/ha PP, teóricamente corresponde a 60 VO, manteniendo a su vez la misma producción individual que en el tratamiento BC. Para este sistema, el objetivo es lograr que se coseche el 100% del forraje producido en la plataforma de manera directa, si esta no es capaz de cubrir los requerimientos para la producción, es necesaria una suplementación con reservas forrajeras y concentrados. En cuanto a las reservas, éstas parten en su mayoría de áreas de apoyo en forma de ensilaje de planta entera de maíz y planta entera de sorgo, que son suministrados con un mixer en el comedero destinado a tal uso. Este sistema además cuenta con un encierro llamado “cama a cielo abierto”, con el objetivo de usarse en momentos de exceso hídrico, cuando los animales no pueden acceder al pastoreo y garantizando el bienestar animal para no ver afectada su performance.

3.2.2 Arreglo de los Tratamientos

La superficie efectiva de pastoreo (SEP), definida como el área disponible para el pastoreo de las vacas en ordeño sin tener en cuenta potreros en barbecho o con pasturas en implantación, en promedio durante el otoño fue de 12,7 ha para cada tratamiento.

Ambos sistemas contaron con una superficie de pastoreo de igual área y con características similares, esquematizada en la figura 2. El número de animales promedio en ambos sistemas varió debido a los ciclos reproductivos, por lo cual el número promedio durante el periodo de estudio fue de 28 vacas en ordeño para BC y 56 para AP, obteniendo cargas promedio de 1,4 y 2,7 VO/ha PP para BC y AP respectivamente.

Figura 2

Mapa con potreros y arreglo de los tratamientos



Nota. Mapa con división de potreros y arreglo de los tratamientos, verde para BC y rojo para AP, zonas de encierro en amarillo. Adaptado de Google (2023).

3.2.3 Animales

Los animales que conforman los lotes fueron seleccionados en base a múltiples criterios como número de lactancias, producción de leche a los 305 días, peso vivo y biotipo (Holando, Jersey y Kiwi), de esta manera se logran dos lotes con animales de características similares permitiendo la comparación entre ambos. Las vacas que integraban los lotes, las cuales estaban identificadas con collares rojos en el caso del lote AP, y verdes para el lote BC, durante el período seco eran destinadas a otras áreas del predio fuera de la plataforma de pastoreo, reincorporándose al lote designado inmediatamente después del parto, los cuales se concentraron en otoño, principalmente en la primera quincena de abril. Esto generó una fluctuación en la carga animal a lo largo del período de estudio de acuerdo con los ciclos reproductivos, como se mencionó anteriormente.

3.2.4 Rotación Forrajera

La conformación de la rotación forrajera (tabla 1) se realizó en base a la necesidad de producción de forraje y reservas para el sistema BC, buscando características que favorezcan la perennidad, la alta productividad, en conjunto con la estabilidad y adaptabilidad, así como también una disminución de los tiempos de barbecho en otoño, asegurando llegar a la primavera con el 100% del área en activo crecimiento.

Dicha rotación busca combinar cuatro años de praderas perennes y dos años de pradera bianual, siendo la misma para ambos tratamientos. Los recursos forrajeros de la pradera perenne fueron *Festuca arundinacea* (festuca) o *Dactylis glomerata* (dactylis) como componente gramínea, y *Medicago sativa* (alfalfa) más *Trifolium repens* (trébol blanco) como las especies leguminosas que integraban la mezcla. La pradera bianual estaba compuesta por *Lolium multiflorum* (raigrás) cultivar Magno, *Cichorium intybus* (achicoria) y *Trifolium pratense* (trébol rojo).

Durante el período de estudio, en el potrero 6A se sembró únicamente Raigrás Magno como verdeo de invierno, estando apto para pastorear a partir de mediados de abril. Los componentes de praderas de primer año no estuvieron disponibles todo el desarrollo del ensayo, el potrero 3A entró en pastoreo la primera semana de junio, mientras que el potrero 6D se encontró en barbecho en todo el período. Esta situación es inherente al otoño, donde coincide con la instalación de las praderas y verdeos de invierno, afectando el área efectiva de pastoreo de las vacas en ordeño y por ende la carga animal en el sistema.

Tabla 1
Potreros y recursos forrajeros

Potrero	Superficie (ha)	Recurso forrajero
3A	6,6	RgM+TR+Ach1°
6C	5,6	F+TR+TB 2°
6D*	6,3	D+TB+ A 1°
6B	9,9	F+A+TB 2°
6A	9,4	Rg M
3B	4	D 4°

Nota. Referencias: Rg M (Raigrás magno) – F (Festuca) - TR (Trébol rojo) - TB (Trébol blanco) - A(Alfalfa) – D (Dactylis) – Ach (Achicoria). *6D en barbecho en periodo de estudio.

3.2.5 Manejo del pastoreo

Para una correcta gestión del pastoreo, se utilizó el sistema de pastoreo “La Estanzuela” o “3 R” (Fariña et al., 2017) con el objetivo de cosechar todo el crecimiento del forraje. Se monitoreó con frecuencia semanal el stock de forraje y la tasa de crecimiento diaria en la plataforma de pastoreo, utilizando la herramienta C-Dax como método de estimación. El stock de forraje objetivo promedio determinado fue de 2400 kg MS/ha SEPVO ajustado según el método de estimación utilizado (Ortega et al., 2023), valor definido considerando disponibilidades de forraje pre-pastoreo o de entrada de 2900 kg MS/ha y 1900 kg MS/ha remanente post-pastoreo aproximadamente (Para ver ecuación utilizada por C-Dax para realizar estimaciones ver sección 3.3.1 “Disponibilidad de forraje”).

Se registró semanalmente la disponibilidad de cada potrero con el pasturómetro C-Dax, y la elección de qué potrero se iba a pastorear dependía de la cantidad de forraje disponible pre-pastoreo, teniendo prioridad el potrero con mayor kg MS/ha de forraje, pero también teniendo en cuenta el estado fisiológico óptimo de las especies que componen la pastura.

El stock de forraje, definido como la cantidad de forraje promedio de la superficie de pastoreo en un momento dado expresado en kgMS/ha (Fariña et al., 2017), y la tasa de crecimiento diaria (kgMS/ha/día) eran las variables consideradas para determinar cuánto forraje iban a consumir las vacas, en cuántos turnos de pastoreo o si iban a encierro, teniendo en cuenta que a partir del consumo directo de forraje se definía la dieta de las vacas. Si el stock de forraje se encontraba en torno al objetivo, se tomaba la decisión de pastorear, siendo la tasa de crecimiento la que marcaba la cantidad que los animales podían consumir, siempre y cuando, el sistema esté en “equilibrio” dentro del stock objetivo (2400 kg MS/ha). Cuando el stock de forraje era superior al valor objetivo, la intención era la de cosechar la mayor cantidad de forraje de forma directa, y si el crecimiento diario del forraje era superior a la capacidad de las vacas de consumirlo, se cerraba área del potrero para cosechar mecánicamente, situación que no ocurrió durante el transcurso del otoño. Por último, si el stock se encontraba por debajo del objetivo las vacas eran destinadas a encierro para ser suplementadas, con el propósito de recomponer el stock de forraje promedio del sistema.

El pastoreo se manejó mediante franjas rotativas cada tres días en el sistema BC, y diarias para AP, ajustando la oferta y la duración de las franjas para maximizar la utilización del forraje sin comprometer la recuperación de las pasturas, manteniendo las características que definen los sistemas a evaluar. Teniendo en cuenta la disponibilidad de forraje pre-pastoreo del potrero, la tasa de crecimiento diaria y la carga animal se determinaba el tamaño de franja, y éste definía la velocidad de la rotación o días de retorno al potrero. Las vacas salían de la franja cuando el remanente se encontraba alrededor de 1900 kg MS/ha (medidos por C-Dax), que coincide con una altura del forraje de 5 cm aproximadamente, y también teniendo en cuenta una proporción de 15 a 20% de matas de rechazo.

3.2.6 Suplementación y rutina de los animales

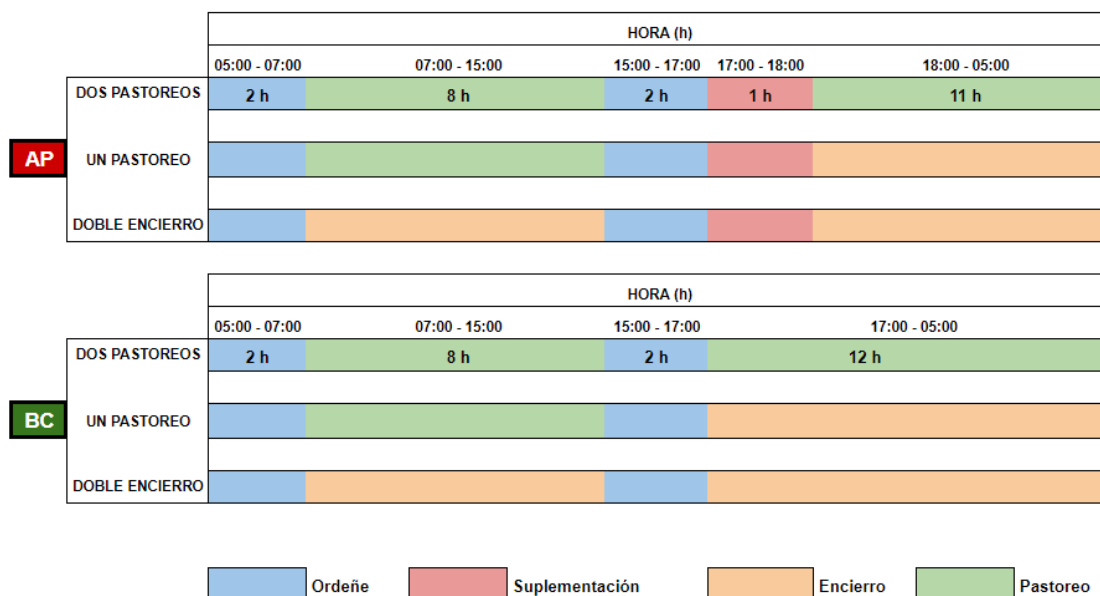
La rutina de los animales varió en función del tratamiento, stock de forraje, tasa de crecimiento y condiciones climáticas.

Ambos lotes contaron con potreros destinados a encierro y suplementación, pero con diferencias en cuanto a su infraestructura. En el caso del lote BC, la extensión del potrero de encierro fue de 1,2 ha, equivalente a 428 m² por vaca en ordeño (teniendo en cuenta el número promedio de las mismas durante el ensayo) y el alimento (henilaje y/o heno), era suministrado en comederos redondos de hierro que eran cambiados de lugar cuando las condiciones del suelo no eran las adecuadas. El lote AP contaba con un potrero de encierro de 0,55 ha, lo que corresponde a 98 m² por vaca en ordeño, con acceso a la plaza de alimentación con comederos de hormigón donde se ofrecía el suplemento (ensilaje planta entera de maíz o ensilaje de sorgo) diariamente mediante la utilización de un mixer; además, este lote accedía a la cama a cielo abierto los días de lluvia. Los dos potreros contaban con sombra artificial y agua ad libitum.

Se realizaban dos ordeños diarios, el primero a las 5:00 am y el segundo a las 15:00 pm, y la rutina fue diferente según el tratamiento. El lote BC era suplementado con concentrado durante el ordeño de la mañana en comederos automáticos en la misma sala, para posteriormente acceder al primer turno de pastoreo hasta el ordeño de la tarde. Tras este último ordeño, si el stock de forraje lo permitía continuaban con el segundo turno de pastoreo, de lo contrario, las vacas eran trasladadas al potrero de encierro donde eran suplementadas. En el caso del tratamiento AP, el concentrado también fue suministrado durante el ordeño de la mañana, seguido por un turno de pastoreo hasta el segundo ordeño, luego de este, los animales eran suplementados en la plaza de alimentación todos los días. Con posterioridad accedían a un segundo turno de pastoreo, con las mismas condiciones con respecto al stock de forraje.

Es importante remarcar que los turnos de pastoreo estaban sujetos a las variables stock de forraje y tasa de crecimiento diaria. Según estos parámetros se tomaba la decisión de pastorear a un turno, doble turno o si se destinaban los lotes a encierro, afectando la rutina diaria. En días de excesos hídricos las vacas también eran destinadas a encierro con el objetivo de no generar pérdidas en la producción de forraje por pisoteo. Los distintos escenarios correspondientes a la rutina de los animales de cada tratamiento se observan en la figura 3, junto con los horarios de cada evento y su duración. La determinación de los tiempos de pastoreo y encierro se realizó en base a la proporción de la cantidad de días bajo los diferentes regímenes (1 turno, 2 turnos y encierro).

Figura 3
Rutina de los animales



3.3 DETERMINACIONES

Para el cumplimiento de los objetivos expresados resultó necesario realizar una serie de determinaciones sobre el alimento, los animales, las bases forrajeras y la producción de leche y sólidos.

3.3.1 Disponibilidad de forraje

La disponibilidad de forraje fue estimada mediante un método indirecto, utilizando el pasturómetro C-Dax como herramienta, remolcado por un tractor Iseki TS1610. El C-Dax es un dispositivo que mide la altura del forraje mediante sensores de haces de luz infrarroja, el mismo registra la altura promedio del forraje realizando 200 mediciones por segundo (Murphy et al., 2021). La altura promedio obtenida en cada potrero se transformaba en biomasa disponible medida en kg MS/ha mediante la utilización de una ecuación de regresión lineal. La ecuación utilizada fue la siguiente: $y = 13,469 x + 826$, siendo “x” el valor de altura de forraje obtenido e “y”, la biomasa estimada (Ortega et al., 2023).

Se midió la biomasa disponible en kg MS/ha previo al ingreso de los animales a cada franja (pre-pastoreo), y luego del pastoreo sobre el remanente (post-pastoreo), de manera que permite estimar el consumo directo de forraje. La metodología utilizada consiste en realizar mediciones con el C-Dax, recorriendo cada franja en direcciones tipo “zig-zag” con el objetivo de obtener el mayor número de mediciones posibles procurando una mayor representatividad.

Gracias a la diferencia de los valores obtenidos en pre y post pastoreo, el tamaño de franja y la cantidad de animales, se obtienen valores como consumo de forraje por hectárea y por animal, a partir de estos datos se deriva la cosecha instantánea, entendida

como el forraje desaparecido en el lapso entre la entrada y salida de los animales en cada franja.

3.3.2 Stock de forraje y tasa de crecimiento

La estimación de las variables stock de forraje y tasa de crecimiento diaria se llevó a cabo gracias a una recorrida semanal los martes en el horario comprendido entre las 08:00 am y 13:00 pm. El procedimiento consistía en realizar una transecta en diagonal en cada potrero perteneciente a la superficie efectiva de pastoreo, sin considerar los potreros que estaban siendo pastoreados. De esta manera, registrando la disponibilidad de forraje de cada potrero ponderado por el área de cada uno, se determinaba el stock promedio de forraje en la superficie efectiva de pastoreo. Para estimar la tasa de crecimiento diaria del forraje en la plataforma de pastoreo, se tuvo en cuenta los valores de disponibilidad de cada potrero medidos en la semana y relacionados a los valores de la semana anterior, se calcula el crecimiento diario (kg MS/ha/día). Para la determinación de esta variable no se toman en cuenta los valores obtenidos de potreros en pastoreo, para que el valor obtenido represente el crecimiento del forraje.

3.3.3 Determinación de la dieta

Para la definición de la dieta semanal se tuvieron en cuenta la oferta de alimentos y los requerimientos de los animales para establecer lactancias de 6000 litros. El objetivo principal fue diseñar una dieta dónde la mayor parte de los requerimientos sean cubiertos con la pastura teniendo en cuenta lo expresado en el punto 3.2.5 (Manejo del pastoreo), en caso de no ser posible se recurre a la suplementación.

Los requerimientos nutricionales de las vacas en ordeño fueron determinados cada semana de acuerdo con la planilla Lecheras del National Research Council (NRC, 2001). Ésta estima los requerimientos energéticos de las vacas teniendo en cuenta variables como raza, peso vivo, semanas de lactancia, producción de leche y sólidos y actividad.

3.3.4 Reservas

En función de la oferta de forraje (determinada a partir del stock de forraje y tasa de crecimiento), se definieron los kg MS/VO/día de reservas forrajeras ofrecidos a los lotes pertenecientes a cada tratamiento, con el objetivo de cubrir los requerimientos nutricionales de los animales que no eran satisfechos por la pastura.

Dado que durante el transcurso del ensayo no se realizó lectura de comederos, el consumo de reservas estimado en este trabajo se obtuvo mediante un balance nutricional, calculado como la diferencia entre los requerimientos nutricionales totales de las vacas (expresados como consumo total en kg MS/VO/día) de acuerdo con la producción de leche y sólidos registrada, y la suma del aporte de materia seca por parte de la cosecha directa de forraje y concentrados.

3.3.5 Concentrados

La asignación de concentrado energético/proteico fue definida con el objetivo de mantener la performance animal, en términos de producción de leche y sólidos. Se proporcionaron en la sala de ordeño 6,3 kg MS/VO cada día en ambos tratamientos, cantidad que se mantuvo durante el transcurso del experimento.

3.3.6 Determinaciones sobre los animales

3.3.6.1 Peso vivo y condición corporal

Se realizó un seguimiento de peso vivo (PV) y condición corporal (CC) de todas las vacas integrantes de cada lote el tercer jueves de cada mes, luego del primer ordeño, utilizando una balanza móvil para determinar el peso vivo y la cartilla publicada por Ferguson et al. (1994) para la definición de la condición corporal.

3.3.6.2 Producción de leche

La producción de leche individual y por tratamiento fue determinada a diario de manera automática en cada ordeño y se llevó un registro de las vacas en el programa Dairy Plan. Además, una vez al mes se realizó un control lechero, de importancia para contrastar ambos métodos.

3.3.6.3 Composición de la leche

De manera periódica una vez al mes se tomaron muestras de leche de todos los animales, tanto de los sistemas BC como de AP en el ordeño matutino, en lo que se denomina control lechero. Estas muestras fueron enviadas a laboratorio para la posterior realización de análisis de proteína, grasa y células somáticas.

3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se evaluaron los datos vinculados a las siguientes variables: producción y cosecha de forraje, carga animal, peso vivo y condición corporal, consumo y oferta de alimentos, producción y composición de la leche.

Se realizaron considerando un diseño completamente al azar (DCA), tomando la carga como tratamiento. El modelo estadístico se puede describir como:

$$Y_i = \mu + \tau_i + \epsilon_i$$

Resultando Y_i el valor de la variable analizada, μ la media general de las observaciones, τ_i el coeficiente estimado para los efectos de los tratamientos (los lotes experimentales) y ϵ_i el error experimental.

Este modelo fue aplicado y evaluado para las variables en estudio utilizando el programa Infostat, declarando significativas las diferencias cuando el p-valor fue menor a 0,05 (Infostat, Versión 2020).

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARGA ANIMAL

En relación con la variable carga animal (VO/ha PP y VO/ha SEP), los resultados presentes en la tabla 2, indican diferencias estadísticamente significativas para ambos tratamientos, siendo AP el tratamiento con mayores cargas, resultado esperado ya que está definido por el diseño de los tratamientos.

Durante el período experimental, la carga promedio en la plataforma de pastoreo fue de 1,4 y 2,7 VO/ha PP para BC y AP respectivamente, una reducción del 22% y 10% con respecto a las cargas objetivo establecidas (1,8 VO/ha PP en BC y 3,0 VO/ha PP en AP). Las cargas a nivel SEP son notoriamente superiores, donde se registra un aumento del 79% en BC y del 74% en AP con relación a las cargas en PP. El incremento señalado anteriormente, se debe a la reducida área de pastoreo disponible en otoño, revelando la problemática que se genera en esta estación, donde hay una disminución del área en pastoreo producto de las renovaciones de pasturas y verdeos (Chilibroste et al., 2010), provocando que el manejo sea todo un desafío. En este contexto, el manejo del sistema se vuelve aún más exigente, debido a la ocurrencia de los partos durante esta estación, cuando las vacas en transición se incorporan al lote postparto, una fase crítica del ciclo productivo de la vaca, en la que los requerimientos nutricionales aumentan de manera significativa (Mendoza, 2018).

Tabla 2

Carga animal VO/ha PP y VO/ha SEP

Mes/Tratamiento	Carga VO/ha PP		Carga VO/ha SEP	
	BC	AP	BC	AP
Marzo	1,6	2,5	3,4	5,3
Abril	1,5	2,8	3,1	5,9
Mayo	1,5	3,1	2,2	4,7
Junio	1,1	2,4	1,4	2,9
Promedios	1,4 B	2,7 A	2,5 B	4,7 A

Nota. Las letras corresponden a significancia ($p < 0,05$), diferencias entre misma variable, no entre ellas.

Las rotaciones típicas de sistemas lecheros uruguayos se basan en secuencias de pasturas anuales y perennes que duran entre 3 y 4 años (Fariña & Chilibroste, 2019). En

las tablas 3 y 4 se compara una rotación de 4 años con la rotación de 6 años compuesta por praderas perennes y bianuales que fue empleada en este estudio, donde se observa que el porcentaje del área en barbecho durante el otoño es mayor en la rotación utilizada en predios comerciales (50% vs. 33%), por ende el aumento de cargas instantáneas durante el otoño cobra más relevancia y remarca la importancia del diseño de rotaciones largas con inclusión de gramíneas perennes, que junto a un correcto manejo lleva a pasturas más persistentes, estables y productivas para que el impacto de la disminución del área efectiva de pastoreo en el sistema sea más leve (Carámbula, 2002).

Tabla 3

Representación esquemática de la rotación forrajera del experimento

AÑO/ESTACIÓN	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO
1	BB	PP1	PP1	PP1
2	PP2	PP2	PP2	PP2
3	PP3	PP3	PP3	PP3
4	PP4	PP4	PP4	PP4
5	BB	PB1	PB1	PB1
6	PB2	PB2	PB2	PB2

Nota. BB: Barbecho, PPn: Pradera “n” años, PBn: Pradera bianual “n” años.

Tabla 4

Representación esquemática de posible rotación forrajera típica lechera

AÑO/ESTACIÓN	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA	VERANO
1	BB	VI	VI	BB
2	BB	P1	P1	P1
3	P2	P2	P2	P2
4	P3	P3	P3	P3

Nota. BB: Barbecho, VV: Verdeo de verano, VI: Verdeo de invierno, PPn: Pradera “n” años.

4.2 PRODUCCIÓN DE FORRAJE DIARIA

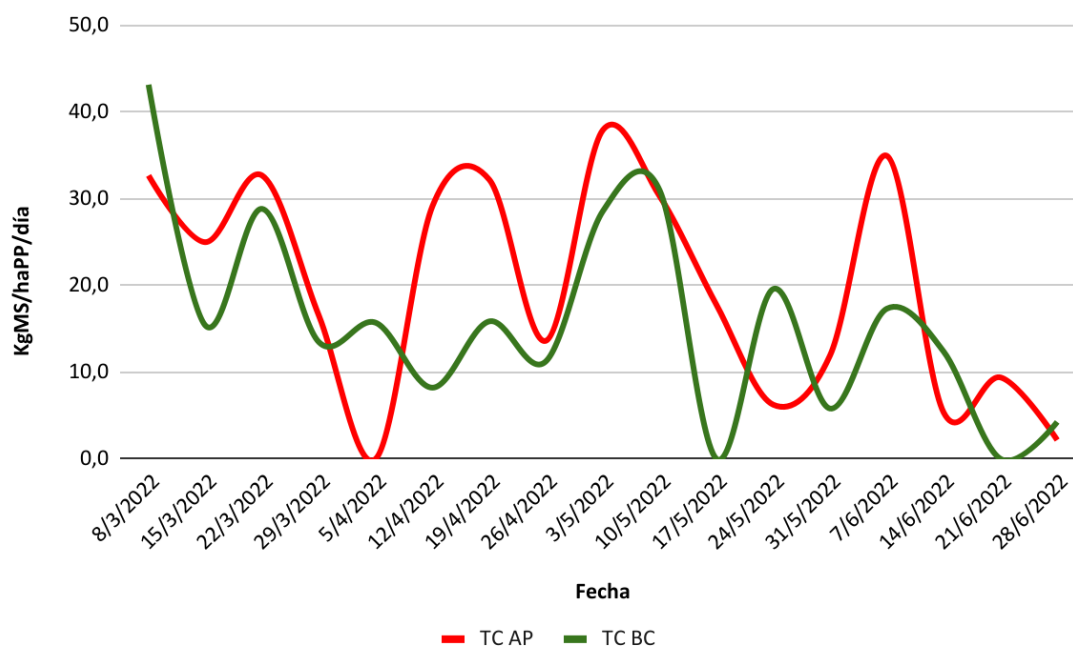
La tasa de crecimiento (TC) en kg MS/ha PP/día, ilustradas en la figura 4, no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. La TC promedio del lote AP fue de 20 kg MS/ha PP/día y la del lote BC fue de 16 kg MS/ha PP/día. El hecho de que ambos tratamientos no se diferencien estadísticamente se atribuye a la gran variación en los datos medidos (CV=65.99). El periodo comienza con TC altas, que luego empiezan a decaer, teniendo una recuperación en el mes de mayo donde alcanzan valores

similares a los del comienzo del periodo, para luego volver a decrecer hacia el final. Diversos autores como Valentine et al. (2009), Baudracco et al. (2011) y Ortega et al. (2024) tampoco encontraron diferencias significativas en la tasa de crecimiento al aumentar la carga, explicado por mismos criterios de pastoreo relacionados a alturas de entrada y salida, asignación de forraje, suplementación, recursos forrajeros y condiciones ambientales.

Autores como Macdonald et al. (2008) reportaron resultados diferentes a los que se obtuvieron en este trabajo, donde registraron mayores producciones de forraje como resultado de un aumento de la carga. Esta tendencia la justifican gracias a factores fisiológicos de la pastura, a los días promedio entre eventos de pastoreo y a la altura remanente del forraje. Las diferencias observadas con respecto a los resultados del presente estudio podrían explicarse por diferencias en el manejo del pastoreo, en los métodos de estimación de producción de forraje y en la duración de los experimentos, considerando que el ensayo realizado en este trabajo tuvo una duración más acotada.

Figura 4

TC semanal (Kg MS/ha PP/día) por tratamiento



En la Tabla 5, se comparan las TC diarias promedios mensuales de los tratamientos evaluados con las tasas de crecimiento diarias promedio de recursos forrajeros similares en cuanto a las especies que componen la mezcla y la edad de las pasturas utilizadas, de distintas fuentes que varían en años y métodos de estimación.

Tabla 5*Comparación de tasas de crecimiento diarias promedio mensual (kg MS/ha PP/día)*

	AP	BC	SSC 2022	SSC prom. 5 años	Leborgne	Dif. promedio (%) AP y BC vs SSC 2022
Marzo	27	25	39	27	24	-33.0
Abril	19	13	28	19	15	-42.9
Mayo	21	17	18	18	25	+5.6
Junio	13	9	17	20	14	-35,3
Promedios	20	16	25 (+25% AP, +56% BC)	21 (+5% AP, +31%BC)	19 (-5% AP, +19% BC)	-28,0

Nota. Los porcentajes entre paréntesis representan la desviación de los datos obtenidos en el experimento con respecto a la bibliografía. Elaborado en base a datos del Sistema de Seguimiento Forrajero Satelital de CONAPROLE (G. Ortega, comunicación personal, s.f.) para la zona de Canelones, y Leborgne (1983).

La TC reportada por el Seguimiento Satelital de Conaprole -SSC- para el año 2022 en la zona de Canelones (G. Ortega, comunicación personal, s.f.) fue superior en un 25% y 56% respecto a la registrada en los tratamientos AP y BC respectivamente. Las tasas presentadas por el SSC son obtenidas a partir de estimaciones de productividad forrajera derivadas de sensores satelitales, calibradas con mediciones de biomasa a campo mediante cortes de pastura. En cambio, el promedio mensual quinquenal de estos datos para la misma zona presenta una mayor similitud a las tasas obtenidas por AP, aunque persiste una diferencia importante con respecto a BC.

Por otra parte, los datos publicados en Leborgne (1983) muestran tasas que se asemejan más a las obtenidas por los tratamientos, aunque al igual que sucede con otras fuentes, es el tratamiento BC el de peor desempeño relativo en términos numéricos. El menor registro en cuanto a TC del tratamiento BC, puede estar explicado gracias a que la metodología de estimación de la producción de forraje no considera los potreros que están bajo pastoreo, implicando una menor cantidad de medidas para este tratamiento.

Las diferencias observadas se deben a diferentes factores, por ejemplo, el efecto año: en marzo, un déficit hídrico y en junio las temperaturas bajas, afectaron directamente la TC que se mantuvo en niveles bajos lo cual condiciona el promedio estacional. Además, según Ortega Conforte (2019) los distintos métodos de estimación de tasas de crecimiento de forraje pueden presentar diferencias significativas entre ellos, debido a limitantes metodológicas, posibles sobreestimaciones y falta de calibración específica para cada recurso forrajero. Por último, las diferencias en genética de los

materiales forrajeros como los criterios de fertilización también pueden ser motivo de variación.

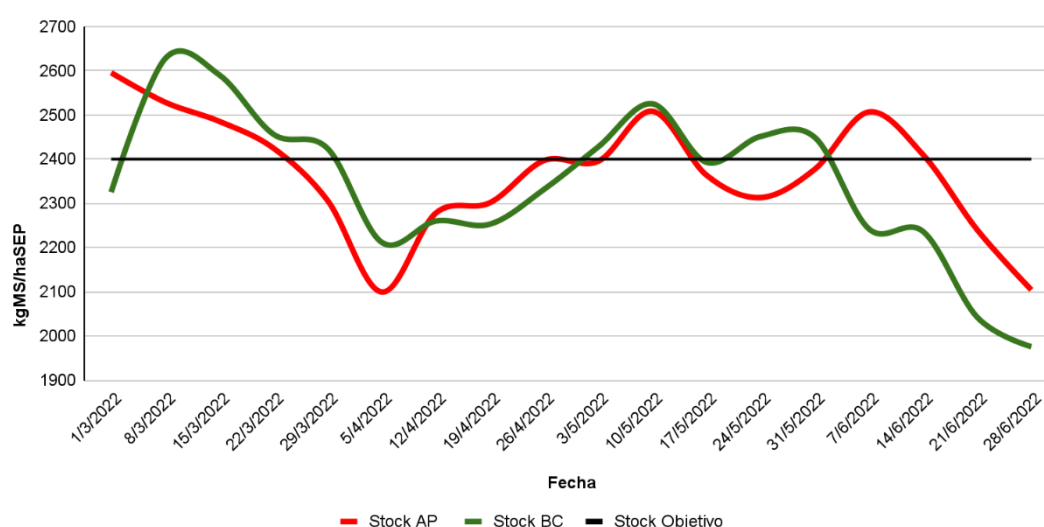
4.3 STOCK DE FORRAJE

El stock de forraje (kg MS/ha SEP) promedio por tratamiento presente en la figura 6, fue de 2346 kg MS/ha SEP para BC y 2368 kg MS/ha SEP para AP. Ambos muy cercanos al stock objetivo arbitrario de 2400 kg MS/ha SEPVO (± 200 kg MS/ha SEPVO) propuesto como criterio de manejo.

La determinación semanal del stock permite obtener la TC diaria en el sistema, indicador principal que permite cumplir con el objetivo de consumir el crecimiento del forraje diario total mediante el sistema de pastoreo “3 R”, manejo implementado en este trabajo. Gracias a la evaluación del stock de forraje y la TC, y en búsqueda de cosechar el forraje producido, se ajustó la rotación de pastoreo determinando el tamaño de franja e indicando el largo de la rotación (días de retorno al mismo potrero), siempre teniendo en cuenta la disponibilidad de forraje, el estado fisiológico de la pastura y la altura de los remanentes. El ajuste de dichos parámetros permitió “acelerar” el pastoreo cuando la TC de forraje era elevada o “apretar el freno” cuando dicha tasa tiene valores bajos o nulos, en pos de mantener el stock de forraje promedio establecido (Fariña et al., 2017). Otros autores como Holmes y Roche (2007) coinciden en varios aspectos y manifiestan que la determinación semanal del stock permite realizar ajustes en la rotación de pastoreo mediante el manejo de variables como el tamaño de franja, el momento de entrada y salida del ganado, o la decisión de reservar áreas para evitar pérdidas en la calidad de las pasturas.

Figura 5

Stock de forraje semanal (Kg MS/ha SEP) estimado con C-Dax



No existieron diferencias significativas en el stock de forraje (kg MS/ha SEP) entre ambos tratamientos para el total del período ($p>0,6$). Estos resultados confirman la

eficacia del manejo detallado anteriormente en cuanto al sistema de pastoreo (Fariña et al., 2017), y a su vez concuerdan con lo reportado por Ortega et al. (2024) donde el stock de forraje objetivo fue igual en tratamientos de distinta carga y altura residual, gracias a una buena gestión del pastoreo ajustando el consumo de forraje por hectárea a la TC diaria.

Se observa que el stock de forraje fluctúa en torno al objetivo durante todo el periodo, aunque con una evidente variación provocando fases donde fue superior y otras inferior, llegando a valores mínimos cercanos a los 2100 kg MS/ha SEP hacia comienzos del mes de abril, coincidiendo con un período de estrés hídrico provocado por un balance negativo en el mes de marzo debido a escasas precipitaciones. Luego el stock se recupera tendiendo a estabilizarse en torno al objetivo a excepción de una caída hacia el final del periodo, previo al comienzo del invierno, esta caída coincide con un marcado descenso de las temperaturas en junio, que redujo las tasas de crecimiento, pero también puede sugerir que el consumo no se ajustó suficientemente a esa menor producción, lo que resultó en un stock por debajo del objetivo en ese momento. Otra hipótesis con respecto al descenso del stock podría indicar que el estado fisiológico de la pastura era el óptimo para ser consumido por las vacas, y se haya decidido pastorear priorizando la calidad del alimento sin afectar negativamente la producción de leche.

Se aprecia además una oscilación similar entre ambos lotes, con patrones de aumento y disminución simultáneos. Durante el mes de marzo BC logra tener un stock mayor a AP, luego se emparejan y hacia el mes de junio AP sobrepasa a BC. El nivel de inclusión de pasturas en la dieta puede explicar las diferencias en los tratamientos a lo largo del período (Figuras 13 y 14). En el tratamiento BC, al inicio se consumió una menor proporción de pastura, lo que repercutió en el aumento del stock disponible. En cambio, en AP, se comienza con un mayor porcentaje de pastura en la dieta, pero hacia el final la situación cambia, BC pasa a consumir más forraje, provocando una reducción en el stock, mientras que AP disminuye su uso de pasturas, provocando el aumento relativo del stock.

Es importante entender este indicador y comprender su evolución, como un indicador central para evaluar la efectividad del manejo realizado, ya que refleja la capacidad de adaptación del sistema para mantener un equilibrio entre la oferta y la demanda en tiempo real frente a variaciones en las tasas de crecimiento y consumo. En resumen, ambos sistemas de diferente carga animal por hectárea lograron manejar efectivamente el stock de forraje, manteniéndolo cercano al objetivo establecido y asegurando la sostenibilidad del pastoreo durante el periodo de estudio, destacándose la importancia de una gestión flexible y proactiva, capaz de sostener la productividad y sustentabilidad del sistema a pesar de las variaciones climáticas y productivas inevitables.

4.4 PRODUCCIÓN DE FORRAJE POR HECTÁREA Y EFICIENCIA DE COSECHA

La producción de forraje total expresada como kg MS/ha PP (tabla 6), permite analizar y comparar cuánto forraje se produjo en el sistema, así como su relación con la cosecha directa obteniendo la eficiencia de cosecha, clave para entender la dinámica del consumo del pasto, y evaluar qué porcentaje del forraje producido es realmente consumido por las vacas, permitiendo observar la eficiencia en el uso de los recursos y la efectividad del manejo del pastoreo.

Tabla 6

Producción y eficiencia de cosecha del forraje para el período experimental

Variable/Tratamiento	BC	AP
Producción de forraje (kg MS/ha PP)	1962 A	2426 A
Cosecha directa (kg MS/ha PP)	904 B	1206 A
Eficiencia de cosecha sobre PP (%)	46 %	50%

Nota. Significancia ($p < 0,05$).

No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la producción total de forraje entre ambos tratamientos durante el período, a pesar de una tendencia a mayor producción en el tratamiento de mayor carga. Este dato coincide con lo reportado por Baudracco et al. (2011) y Ortega et al (2024) donde sugieren que la carga animal no impacta significativamente en la producción de forraje, donde la gestión del pastoreo ajustando el consumo de forraje a la tasa de crecimiento diaria y respetando la biomasa remanente, no genera un impacto de la carga animal en esta variable. Los valores de producción total de forraje promedio para los últimos 5 años reportados por el Sistema de Seguimiento Forrajero Satelital de CONAPROLE (G. Ortega, comunicación personal, s.f.) para el mismo período fueron de 2209 kg MS/ha, valor intermedio si se compara con los obtenidos en este trabajo, ya que el tratamiento BC produjo un 11% menos, mientras que el tratamiento AP logró producir un 10% más de forraje.

En cuanto al método de cosecha, fue únicamente cosecha directa realizada por los animales en pastoreo, debido a que no hubo cosecha mecánica en la plataforma de pastoreo durante el experimento. El tratamiento AP logró cosechar, de manera directa, significativamente más forraje que BC por unidad de superficie ($p < 0,0001$), aproximadamente un 33% más, lo cual es consistente con las hipótesis planteadas. Estos datos coinciden con los publicados por Chilibraste y Battagazzore (s.f.), Ortega et al. (2024), Baudracco et al. (2011) y Macdonald et al. (2008) donde sistemas de alta carga mostraron cosechar más forraje por hectárea de manera significativa con respecto a sistemas de menor carga, demostrando que la carga animal es la variable de mayor impacto sobre la cosecha directa de forraje.

Datos obtenidos del Proyecto de Producción Competitiva de Conaprole para otoño del 2022 (J. Ernst, comunicación personal, s.f.) indican que para una carga animal promedio de 1,2 VO/ha PP, el consumo de pasturas fue de 973 kg MS/ha PP. Existe sólo una diferencia de 69 kg entre la cosecha directa del tratamiento BC y el promedio de PPC, con cargas similares. La diferencia con AP es considerable, se logra cosechar 24% más forraje a nivel de superficie de plataforma en este tratamiento en relación al PPC, demostrando nuevamente el efecto carga animal sobre esta variable.

La eficiencia de consumo de forraje en ambos tratamientos es similar, con valores de 46 % y 50% para BC y AP respectivamente. Esta eficiencia de cosecha se ve condicionada producto de la menor superficie efectiva de pastoreo (SEP) en relación a la superficie de plataforma de pastoreo (PP), al evaluar la producción de forraje y eficiencia de cosecha sobre la totalidad de la PP, los resultados de eficiencia resultan menores a los que se obtendrían sobre el área de la SEP. Además, otro factor que afecta negativamente a la eficiencia de cosecha es el tiempo de encierro/pastoreo de ambos lotes (punto 4.5), donde en ciertas ocasiones, los turnos de pastoreo se reducen, afectando el consumo directo debido a menores oportunidades de pastoreo, provocando así una disminución de la eficiencia.

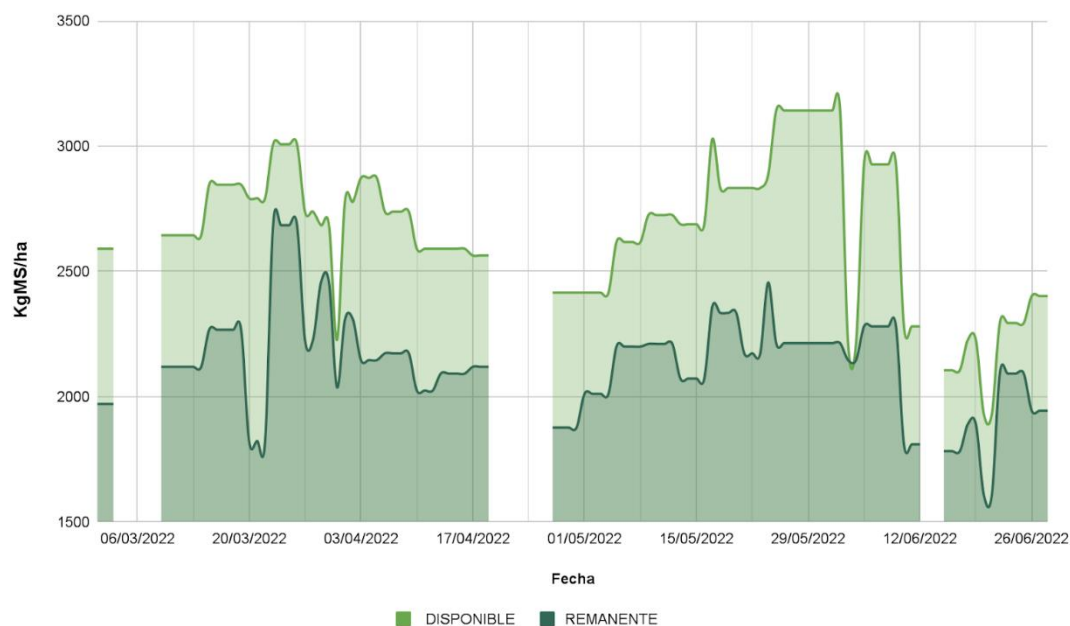
Autores como Macdonald et al. (2001), Baudracco et al. (2010), Escuder (1996) y Fales et al. (1995) mencionan que el incremento de la carga animal aumenta el porcentaje de utilización del forraje, debido a un aumento en la presión de pastoreo, provocando mejores eficiencias de cosecha del forraje asignado, efecto observado en este caso, aunque se reporta sólo una diferencia de 4%.

4.5 DISPONIBILIDAD, REMANENTE Y COSECHA INSTANTÁNEA

En la Figura 7 y 8, se expone la relación entre forraje disponible a la entrada de los animales al pastoreo y el remanente al momento de salida, resultando la cosecha instantánea de forraje como el área entre las curvas. Las áreas sin curva corresponden a momentos donde los animales no tuvieron acceso al pastoreo directo.

Figura 6

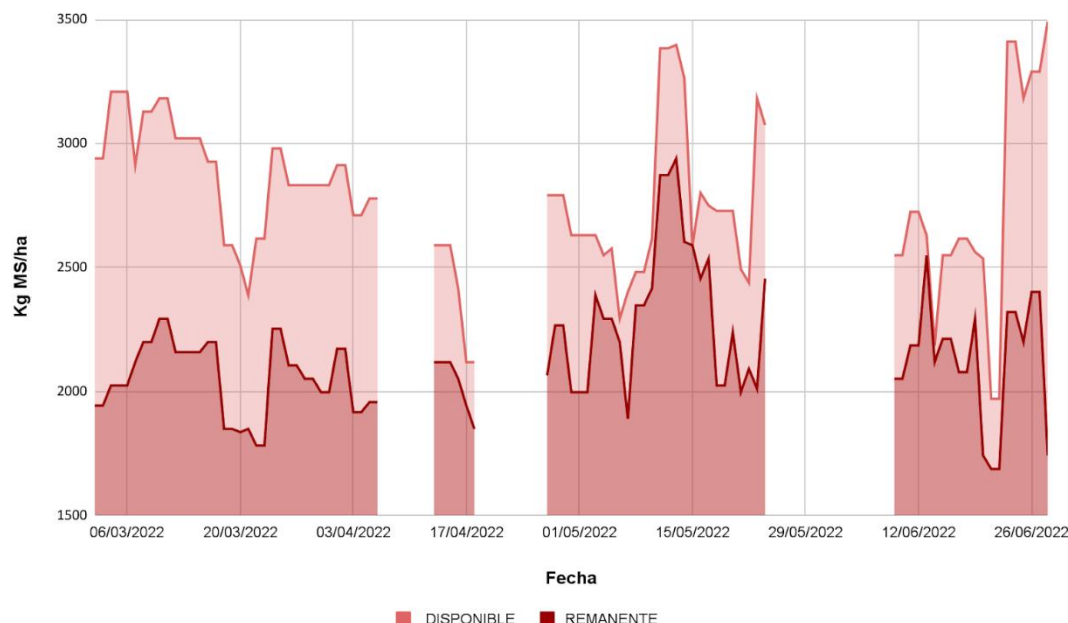
Comparación de forraje disponible y rechazo en Kg MS/ha, para el tratamiento BC



Para el tratamiento BC, el disponible de entrada se ubicó entre 1930 kg MS/ha y 3143 kg MS/ha, con un promedio de 2659 kg MS/ha. El remanente, osciló entre 1607 kg MS/ha y 2685 kg MS/ha promediando 2128 kg MS/ha, lo que da una cosecha instantánea promedio por hectárea para el periodo de 532 kg MS/ha. Las menores disponibilidades de entrada registradas coinciden con momentos dónde el stock promedio de forraje en el sistema se encontraba por debajo del objetivo, como por ejemplo a finales de junio. También, se puede relacionar las etapas donde no existió pastoreo con la recuperación del stock, permitiendo el crecimiento de la pastura gracias a asignar las vacas a encierro.

Figura 7

Comparación de forraje disponible y rechazo en Kg MS/ha, para el tratamiento AP



El tratamiento AP refleja una lógica similar a BC en cuanto a la disponibilidad pre-pastoreo y al nivel de stock de forraje. Sin embargo, hacia el final del período se observa una alta disponibilidad de entrada, a pesar de que el stock se encuentra por debajo del objetivo y con tendencia a la baja. Esto podría explicarse por una elevada producción de forraje del raigrás, en contraste con una menor disponibilidad en el resto de los recursos forrajeros del sistema. A su vez, la incorporación de nuevos potreros incrementó el área de la superficie efectiva de pastoreo, contribuyendo a diluir el stock promedio. Es evidente, la vinculación de los cortes de las curvas con la mayor proporción en encierro de este lote, debido a la presión ejercida sobre la pastura por la alta carga animal, y la necesidad de encerrar las vacas para mantener en equilibrio la disponibilidad de forraje en el sistema. El disponible de entrada se ubicó entre 1971 kg MS/ha y 3439 kg MS/ha, con un promedio de 2786 kg MS/ha, mientras que el remanente osciló entre 1688 kg MS/ha y 2941 kg MS/ha, promediando 2142 kg MS/ha, lo que da una cosecha instantánea promedio para el periodo de 644 kg MS/ha. Nuevamente, la variación de los registros es importante, pero los promedios de disponibilidad de entrada y remanentes son similares a los establecidos previamente.

Tabla 7

Promedios mensuales de disponible, remanente y cosecha instantánea para cada sistema

Mes/trat.	Disponible de entrada		Remanente		Cosecha Instantánea	
	AP	BC	AP	BC	AP	BC
Marzo	2904	2744	2067	2214	837 (29%)	530 (19%)
Abril	2640	2636	2056	2089	584 (22%)	546 (21%)
Mayo	2760	2797	2329	2187	431 (16%)	610 (22%)
Junio	2741	2431	2126	2004	615 (22%)	427 (18%)
Promedio (kg MS/ha)	2784 a	2659 b	2147 a	2128 a	637 a (22%)	532 b (20%)

Nota. Valores con letras distintas presentan diferencias significativas, con un p-valor<0,05.

En la tabla 7, los resultados mostraron influencia de la carga sobre la disponibilidad de entrada, observándose diferencias significativas entre tratamientos ($p<0,0047$), resultado que no era esperable debido a la misma gestión del pastoreo empleada en ambos sistemas. De todas maneras, la diferencia en los promedios fue de sólo 125 kg MS/ha (5%), pudiendo estar explicada por los días de ocupación por franja en ambos tratamientos, en donde en BC se registró un único valor de disponibilidad para tres días de ocupación, infiriendo en las diferencias observadas. En cambio, no existieron diferencias estadísticamente significativas en la biomasa por hectárea de los remanentes, donde el ajuste del manejo fue más preciso. Ortega et al. (2024) para un sistema en base a pastoreos de franja diaria, similar a AP, no encontraron diferencias en la biomasa disponible en pre y post-pastoreo, a pesar de diferentes alturas residuales entre tratamientos de diferente carga; dónde la nula diferencia en la disponibilidad pre-pastoreo se debió al mismo manejo del pastoreo utilizado, y con respecto a la biomasa remanente registrada, no existieron diferencias debido a características morfológicas de la pastura.

Con respecto a la cosecha instantánea, los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento AP registró una oferta inicial de forraje mayor en comparación con BC, los remanentes no se diferenciaron, lo que se traduce en una cosecha instantánea de forraje también superior para el tratamiento AP, tanto en valores absolutos por hectárea como el porcentaje de forraje cosechado en relación al disponible de entrada (+2%), evidenciándose una cosecha de forraje un poco más eficiente por parte del sistema de mayor carga, explicado por la mayor disponibilidad de forraje de entrada, demostrando que aun en sistemas con altas cargas es posible manejar la oferta y consumo de alimentos de manera que permite optimizar el uso del recurso forrajero. Los valores de cosecha instantánea parecen bajos, pero hay que tener en cuenta que la decisión de cuándo y cuánto pastorear están sujetas a la tasa de crecimiento, el nivel del stock de forraje y la carga animal de cada tratamiento con el

objetivo de no afectar la longevidad y productividad de las pasturas. En el punto 4.4, se observa la eficiencia de cosecha global del sistema, mostrando valores superiores cuando se analiza todo el período en estudio.

4.6 ASIGNACIÓN DE FORRAJE

La carga tiene un efecto significativo sobre la asignación de forraje (AF) ($p<0,0001$), donde el tratamiento BC, tuvo una asignación de forraje mayor (+54%) respecto al tratamiento AP, de mayor carga.

Al observar los datos mensuales de asignación de forraje por tratamiento (Tabla 8), en el caso de BC, el mes de junio fue significativamente el de mayor asignación, a pesar de que en mayo ya se nota un aumento al comparar con marzo y abril, aunque no significativo. Para el caso de AP, el mes de abril es el único que se diferencia significativamente de los demás ($p<0,0001$) como el mes de menor asignación de forraje.

Tabla 8

Asignación de forraje (Kg MS/VO/día) por tratamiento, mensual y promedio en el periodo experimental

Mes	BC	AP
Marzo	29 B	23 A
Abril	28 B	17 B
Mayo	34 B	26 A
Junio	56 A	29 A
Promedio total (kg MS/VO/día)	37 A	24 B

Nota. Significancia ($p<0,05$). Leer letras de significancia en vertical dentro de cada tratamiento para cada mes, en el caso del promedio total leer en horizontal.

La asignación de forraje diaria es uno de los principales factores de la gestión del pastoreo que permite mejorar la utilización del forraje y la producción de leche por hectárea (Merino et al., 2020). Los valores que se observan en la Tabla 8, resultan de definir la asignación de forraje por vaca de acuerdo a la disponibilidad de forraje por hectárea, pero teniendo en cuenta la carga instantánea, la dinámica del stock de forraje y la tasa de crecimiento, ajustando el tamaño de franja de acuerdo a cada situación. Cuando el stock de forraje se encuentra por encima del objetivo, concuerda con una mayor oferta de forraje para las vacas en ordeño, lo contrario sucede cuando el stock se encuentra con valores inferiores al objetivo, como lo sucedido en el mes de abril en el tratamiento AP, que junto a una elevada carga animal y tasas de crecimiento menores, resultaron en menor disponibilidad de forraje para las vacas. Los resultados muestran

que existe una relación inversa entre la carga y la asignación de forraje, de manera que el tratamiento AP, de mayor carga obtiene una menor asignación de forraje, lo contrario ocurre con BC, que al tener menor carga, la asignación aumenta.

Esto concuerda con Ortega et al. (2024) donde establecen que la carga tiene un efecto significativo en la asignación de forraje, generando menor asignación de forraje en sistemas de mayor carga. Por la misma línea, Macdonald et al. (2008) reportan que sistemas de mayor carga animal afecta negativamente la cantidad de forraje disponible por vaca. Según Ganche et al. (2013) esto puede resultar en menores alturas de remanente post pastoreo lo cual puede tener impacto en la productividad animal individual. Estas últimas afirmaciones no se corresponden a los resultados obtenidos, debido a que no se observaron diferencias significativas en producción individual de leche y sólidos entre tratamientos, y puede explicarse por la gestión del pastoreo empleada, donde se manejaron los mismos kg de MS/ha de remanente en ambos tratamientos, y la falta de consumo de forraje directo fue sustituido con reservas y concentrados dependiendo los requerimientos de los animales.

Los resultados también se pueden explicar por la relación entre la carga y la estructura de la dieta de ambos lotes. El lote de menor carga dispone de una mayor cantidad de forraje para el consumo directo por VO, por lo que la participación de la pastura en la dieta tiene mayor relevancia. En contraste, el lote de mayor carga AP tiene una menor dependencia del consumo directo de este recurso, debido a la menor oferta de forraje por vaca lo que lleva a su suplementación con el propósito de cubrir sus requerimientos nutricionales y alcanzar la producción esperada.

4.6.1 Tamaño de franja

El tamaño promedio de las franjas (tabla 9) fue aproximadamente un 26% superior en el tratamiento AP, esta es una variable resultante de una combinación de decisiones de manejo relacionadas con los criterios de la gestión del pastoreo, basados en mantener el stock de forraje en torno al objetivo, consumir el crecimiento del forraje y respetar la biomasa de entrada y remanente establecida. Esto sugiere que, junto con la carga animal, el tamaño de franja está fuertemente condicionado por las decisiones de manejo adoptadas para cumplir con los objetivos productivos y mantener la calidad y longevidad de las pasturas para optimizar la rentabilidad de los sistemas de producción lechera de base pastoril (Merino et al., 2020).

Tabla 9

Tamaño de franja por tratamiento

Tratamiento	Tamaño de franja (ha/día)
AP	0,48 A
BC	0,38 B

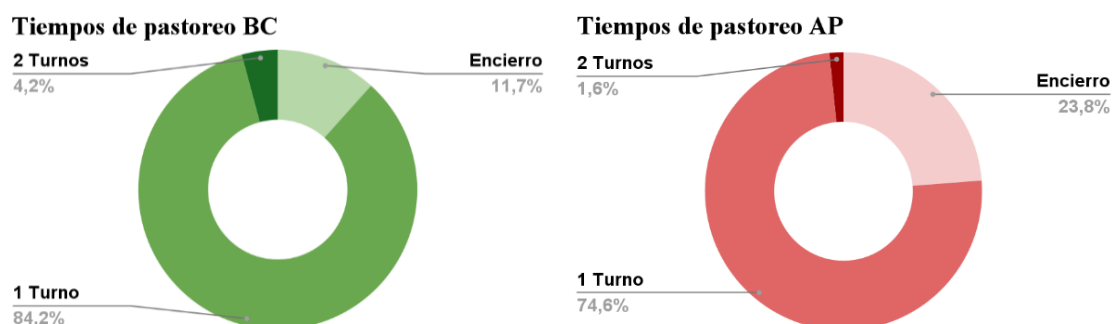
Nota. Significancia ($p < 0,05$).

4.7 TIEMPOS DE PASTOREO Y ENCIERRO

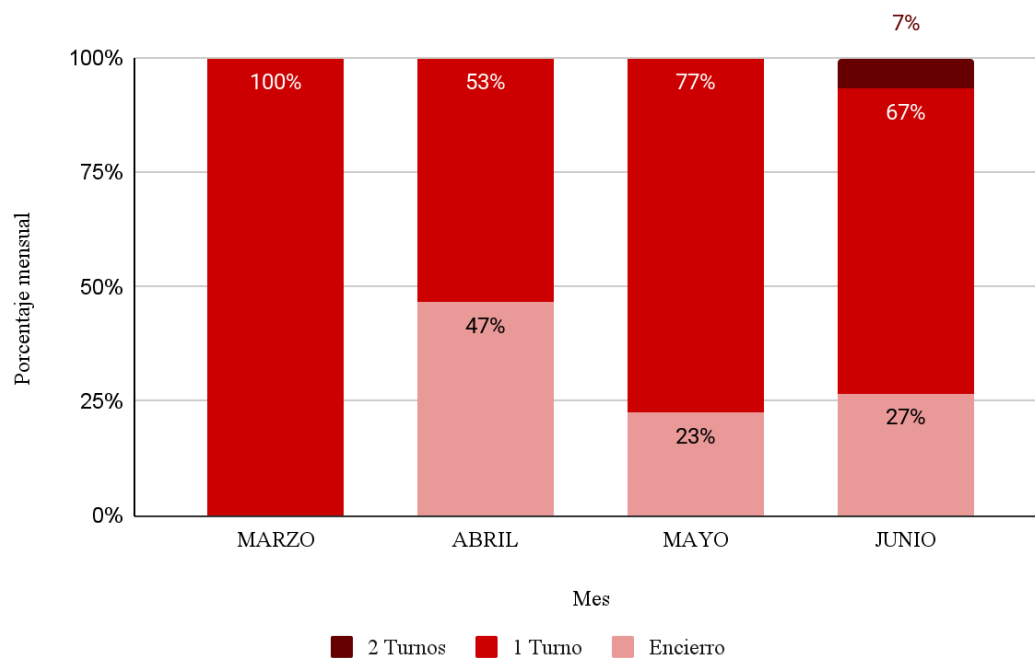
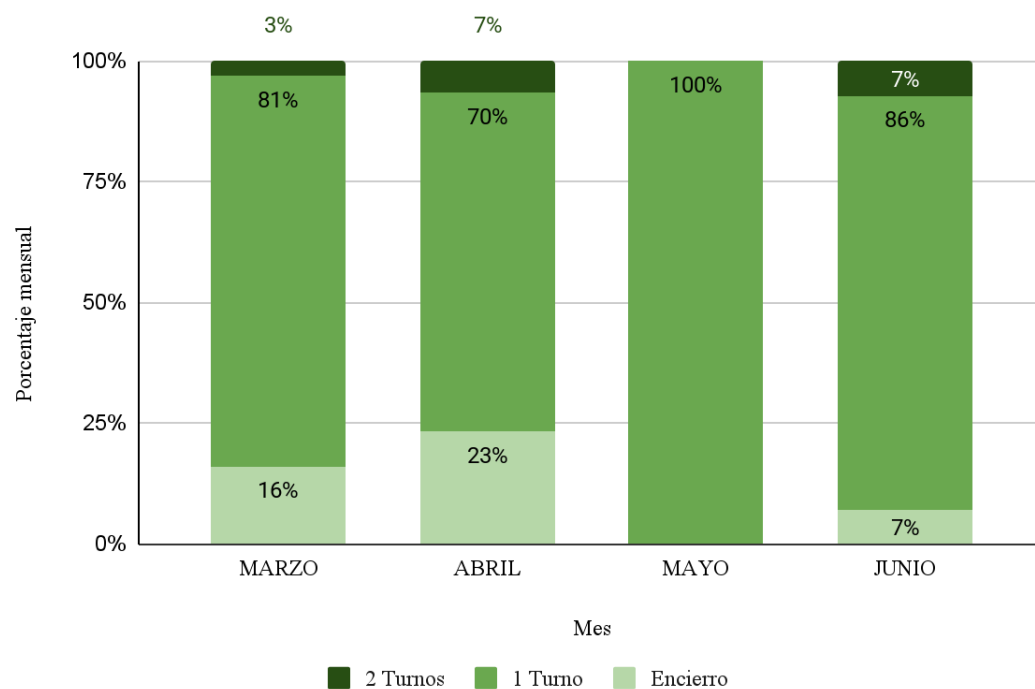
En la figura 9, se presentan los tiempos de pastoreo y encierro para ambos tratamientos. A grandes rasgos el tratamiento AP se diferencia del BC, principalmente por una mayor proporción de tiempo de encierro, y una menor proporción de tiempo bajo pastoreo.

Figura 8

Porcentaje del tiempo en pastoreo y encierro por tratamiento para el período experimental



Durante el período experimental las vacas estuvieron un 88,4% y 76,2% de los días pastoreando al menos una vez, siendo mayor el tiempo en BC respecto a AP. La totalidad del periodo de pastoreo está conformada por una proporción relativamente pequeña del tiempo bajo doble turno de pastoreo (4,2% en BC y 1,6% en AP) y la mayor parte bajo régimen de un solo turno, 84,2% BC y 74,6% AP. Se destaca que el tratamiento de menor carga logró estar pastoreando una mayor proporción de tiempo a un turno y a dos turnos de pastoreo, logrando así mayores oportunidades para cosechar el forraje de manera directa. Estos resultados coinciden con los reportados por Ortega et al. (2024) el tiempo de pastoreo disminuye a medida que aumenta la carga animal. Sin embargo, los tratamientos con menor carga pasaron más tiempo en doble turno de pastoreo, mientras que el de mayor carga permaneció más tiempo en un solo turno. En nuestro período experimental, el lote BC presentó una mayor proporción de acceso al forraje en ambos regímenes de pastoreo.

Figura 9*Tiempos de pastoreo y encierro para el tratamiento AP por mes***Figura 10***Tiempos de pastoreo y encierro para el tratamiento BC por mes*

Las figuras 10 y 11 exponen las proporciones de tiempo a uno o dos turnos de pastoreo y encierro por mes para los distintos tratamientos. Las decisiones de pastorear a un turno, dos o enviar las vacas a encierro estuvieron directamente vinculadas a las variables carga animal, tasa de crecimiento, stock del forraje y eventos climáticos adversos (exceso de humedad en el suelo).

Cuando se analiza el tratamiento BC, los meses de marzo y abril están marcados por una elevada carga animal producto de la menor superficie efectiva de pastoreo en otoño. Aun así, la alta TC de las pasturas y el stock de forraje permitieron realizar, en baja proporción, pastoreos a doble turno, predominando principalmente pastoreos a un turno. Los eventos de encierro en estos meses se generaron debido a una disminución casi lineal del stock hasta mediados de abril, que llevó a encerrar las vacas para su correspondiente suplementación con reservas y destinar el crecimiento del forraje a la recuperación del stock. También se registraron precipitaciones que motivaron la decisión de destinar las vacas a encierro, pero la variable determinante fue el stock de forraje, ya que en ambos meses el balance hídrico fue negativo. La falta de agua afectó la tasa de crecimiento particularmente en abril, donde las oportunidades de cosecha directa fueron menores. En mayo, las vacas permanecieron el 100% del tiempo a un turno de pastoreo, gracias a una recuperación en la tasa de crecimiento, pero evitando el doble turno para mantener el stock objetivo, sumado a una disminución de la carga animal por la incorporación de potreros disponibles para pastoreo, aumentando la superficie efectiva. En junio, a pesar de la baja tasa de crecimiento, la disminución en la carga permitió pastorear a un turno, aunque a fines de mes existieron eventos de encierro asociados a una marcada disminución del stock de forraje.

En el tratamiento AP, el comportamiento del stock de forraje y la tasa de crecimiento diaria fue similar al observado en BC. Sin embargo, la variable carga animal es clave para el análisis y la que mayor impacto tiene en estos resultados, ya que por el diseño del tratamiento, el lote de alta carga genera mayor presión sobre las pasturas debido a un aumento más marcado en la carga animal, principalmente en los meses de marzo, abril y mayo. En marzo, las vacas permanecieron todo el mes a un turno de pastoreo, resultado que no se esperaba ya que en el lote de baja carga existió una proporción de tiempo de encierro en este mes. A partir de abril, es cuando mayor es el impacto en el aumento de la carga, que sumado a la dinámica del stock de forraje, la tasa de crecimiento y las precipitaciones, inducen a la decisión de adjudicar las vacas a encierro casi el 50% del tiempo. Si bien en mayo y junio la proporción de encierro fue menor, continúa siendo significativa. Estos resultados confirman que en sistemas de alta carga, las vacas pasan menos tiempo pastoreando para ajustar la demanda animal a la tasa de crecimiento del forraje y así maximizar la cosecha directa. La mayor proporción de tiempo en encierro genera menores oportunidades de pastoreo, modifica la estructura de la dieta de las vacas aumentando el componente reservas forrajeras en la misma, y remarca la importancia de invertir en infraestructura adecuada para garantizar buenas condiciones de suplementación, atender el bienestar animal y garantizar condiciones laborales adecuadas (Ortega et al., 2024).

4.8 CONSUMO

4.8.1 Consumo de alimentos por hectárea

La estructura de la dieta y el consumo de alimentos por hectárea varía significativamente entre ambos tratamientos, existiendo una relación directa entre la

carga y la proporción de los distintos componentes de la dieta. En la tabla 10, se observa un incremento en el consumo de pasturas, reservas y concentrados por unidad de superficie notable en sistemas con una carga mayor (AP).

Tabla 10

Consumo de alimentos (Kg MS/Ha PP) durante el período marzo-junio 2022

	Tratamientos		Significancia
	BC	AP	
	Kg MS/Ha PP		
Pastura	904	1206	*
Reservas	1008	2236	*
Concentrado	1068	2022	*
Consumo total	2980	5464	*

Nota. Referencias: * significancia horizontal ($p < 0,05$.)

Al comparar los tratamientos, se observó que al aumentar la carga animal (AP), el consumo de pastura por hectárea aumentó un 33% (de 904 a 1206 kg MS/ha PP), el consumo de reservas se incrementó un 122% (de 1008 a 2236 kg MS/ha PP), y el consumo de concentrado subió un 89% (de 1068 a 2022 kg MS/ha PP). En total, el consumo pasó de 2980 a 5464 kg MS/ha PP, indicando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos en el consumo total y en todos los componentes de la dieta a nivel de superficie.

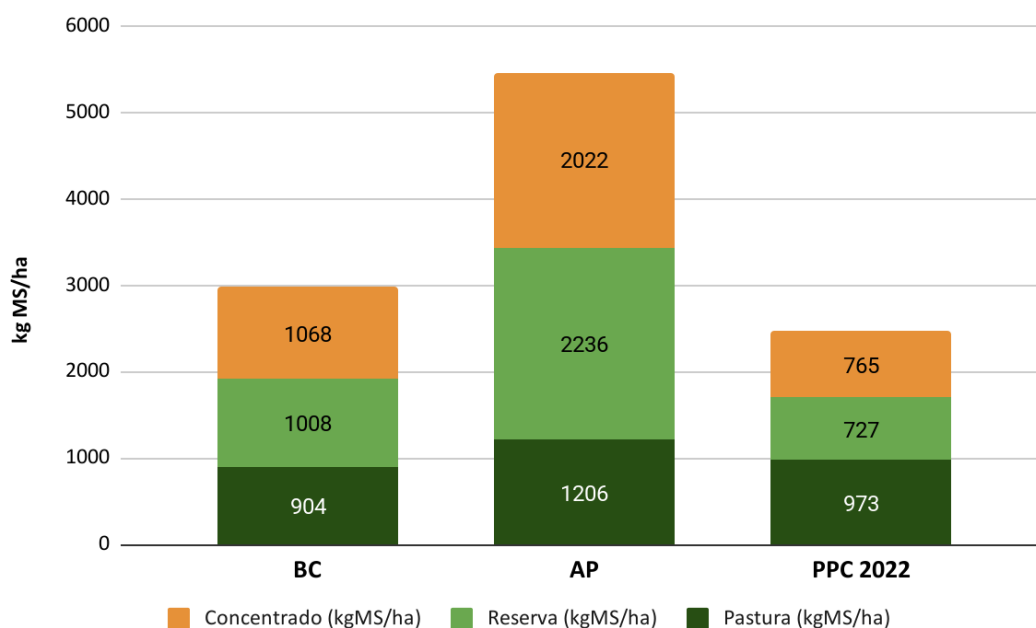
Estos resultados coinciden con otros estudios, evidenciando como el aumento de la carga tiene impacto en el consumo por hectárea. Chilibraste y Battegazzore (s.f.) reportaron aumentos del 85% en reservas y del 88% en concentrados al pasar de 0,99 a 1,53 VO/ha PP, mientras que Chilibraste (2015) encontró incrementos del 44% y 53%, respectivamente, al aumentar de 0,78 a 1,34 VM/ha VM. Baudracco et al. (2011) reportaron aumentos del 38% en reservas y del 31% en concentrados al pasar de 1,6 a 2,1 vacas/ha. Estos estudios trabajan con aumentos de carga de aproximadamente 30 a 72%, mientras que el presente estudio se basa en un aumento de carga en plataforma de pastoreo del 93%, pudiendo explicar, junto con los altos niveles de carga, el mayor aumento relativo en el consumo de concentrados y reservas respecto a la bibliografía.

El marcado incremento en el consumo de reservas y concentrados al aumentar la carga animal puede explicarse porque a pesar del aumento del consumo de forraje por el lote del tratamiento AP, éste no alcanza a cubrir los requerimientos de las vacas, llevando a la necesidad de suplementar con reservas y concentrados para sostener la producción de leche. Además, hay una fuerte vinculación con los tiempos de pastoreo y encierro, donde el lote de alta carga pasa una mayor proporción de tiempo en encierro, teniendo menores oportunidades de cosecha directa de forraje que BC, afectando la estructura de la dieta y modificando la estrategia de alimentación entre los tratamientos, donde la participación de reservas forrajeras y concentrados es mayor en AP. Otros

estudios como Patton et al. (2016) coinciden en que sistemas de alta carga llevan a un aumento del consumo total por hectárea, generado específicamente por un mayor consumo de reservas y concentrados; y que debido a esto, es necesario contar con áreas de apoyo externas a la plataforma de pastoreo para la importación de reservas forrajeras, con el objetivo de mantener la performance animal especialmente en los meses donde merma la producción de forraje.

Figura 11

Consumo de alimentos por hectárea de BC, AP y PPC en el período de estudio



Nota. PPC: Proyecto de Producción Competitiva de CONAPROLE.

En la figura 12, se puede observar el consumo a nivel de superficie de los tratamientos BC y AP, en contraste con el consumo por hectárea promedio en el período marzo-abril registrado en los tambos pertenecientes al Proyecto de Producción Competitiva de CONAPROLE (J. Ernst, comunicación personal, s.f.). Los datos de PPC se obtuvieron con un nivel de carga promedio de 1,2 VO/ha PP, alcanzando un consumo total de 2465 kg MS/ha. Comparando los consumos de los tratamientos BC y AP con PPC, el tratamiento de baja carga, que presentó una carga promedio levemente mayor (1,4 VO/ha PP), logró un consumo total por hectárea 21% superior al PPC. La diferencia radica principalmente en el consumo de reservas y concentrados, mientras que el consumo de pasturas fue similar. Nuevamente, se observa el impacto de la carga en la cantidad de alimentos consumidos cuando se compara el tratamiento AP con respecto a BC y PPC. Con una carga animal promedio de 2,7 VO/ha PP, AP registra consumos por hectárea superiores en 83 y 122% respectivamente, destacándose el uso de más de 1000 kg MS/ha de reservas y concentrados.

4.8.2 Estructura de alimentación (Kg MS/VO/día)

En la tabla 11, se observan los datos obtenidos de consumo individual de alimentos (kg MS/VO/día) para el período de estudio marzo-junio 2022, donde “Pasturas” se refiere a cosecha directa por las vacas en pastoreo, “Reservas” dependiendo del tratamiento, ensilaje de planta entera de maíz para AP y henilaje y/o heno para BC. Con respecto a la suplementación con “Concentrado” energético/proteico, se proporcionaron 6,3 kg MS/VO/día en la sala de ordeño independientemente del tratamiento.

Tabla 11

Conformación de la dieta individual diaria por tratamiento

Tratamiento	Tipo de Alimento	Consumo (kg MS/VO/día)	% Dieta
AP	Pastura	3,9 b	23
	Reserva	6,8 a	40
	Concentrado	6,3 a	37
	Consumo total	17,0	100
BC	Pastura	5,5 a	31
	Reserva	5,9 b	33
	Concentrado	6,3 a	36
	Consumo total	17,7	100

Nota. Leer letras de significancia ($p < 0,05$) en vertical entre tratamientos por tipo de alimento.

Se evidencia un efecto de la carga animal sobre la estructura de la dieta de cada lote, existiendo diferencias significativas entre los tratamientos en el consumo individual de pasturas y reservas, pero no en el de concentrados.

El lote de menor carga logró consumir un 41% más de pasturas con respecto al tratamiento de mayor carga, siendo el consumo de 5,5 Kg MS/VO/día para BC y 3,9 Kg MS/VO/día para AP. Los resultados coinciden con los publicados por Macdonald et al. (2008) donde el consumo por vaca de pasturas disminuye a medida que aumenta la carga, mientras que Baudracco et al. (2011) registran la misma tendencia, pero a mitad de la lactación.

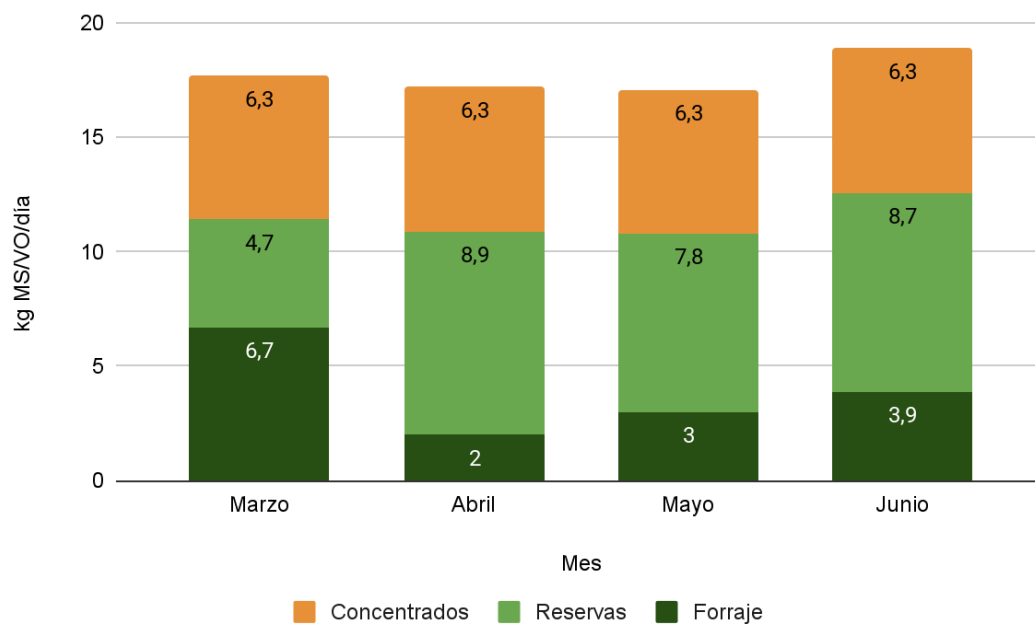
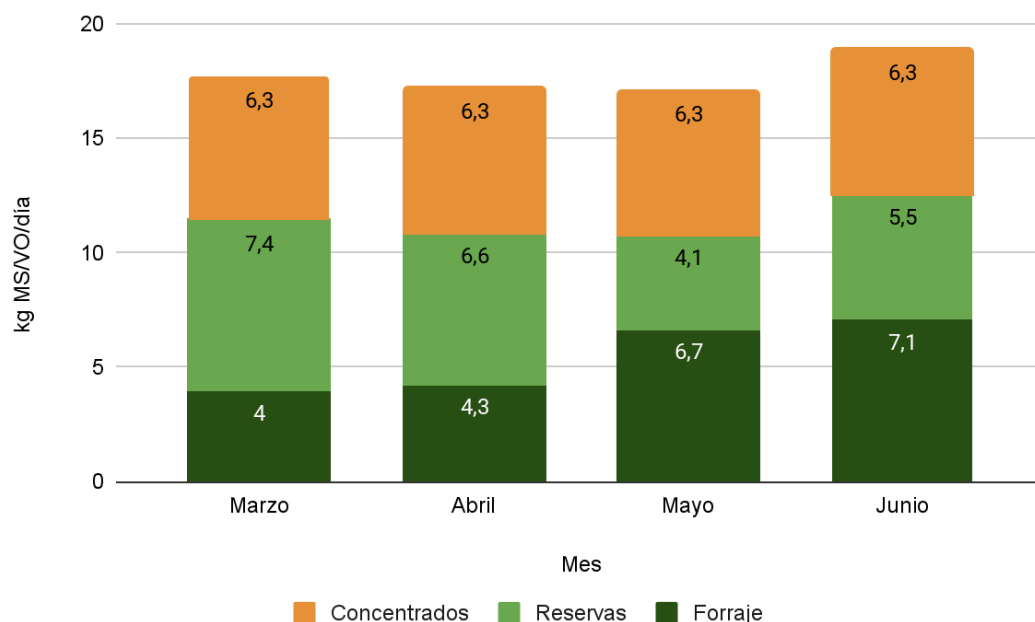
Con respecto al consumo de reservas forrajeras, al contrario de lo que sucede con la pastura, al aumentar la carga se incrementa el consumo de reservas, siendo éste un 15% superior en AP, y representado en este tratamiento el 40% del consumo diario total promedio. Las reservas fueron el componente de la dieta con mayor participación en las vacas del lote de alta carga. Al realizarse este trabajo durante el otoño, también en el lote de baja carga se observa una importante participación de las reservas en la dieta individual, superando el consumo de pasturas. Resultados similares se obtuvieron en otros trabajos (Baudracco et al., 2011; Macdonald et al., 2008; Ortega et al., 2024),

donde el aumento de la carga animal y los menores registros de consumo individual de pasturas, llevan a una mayor suplementación por vaca, necesaria para cubrir los requerimientos de estas y no afectar la performance animal.

El consumo por vaca de concentrados no fue afectado por la carga, debido a que, por el diseño de los tratamientos, la cantidad de concentrado consumido resulta idéntica, buscando priorizar resultados productivos óptimos. Este alimento representa el 37 y 36% para AP y BC respectivamente, siendo uno de los componentes de la dieta con mayor importancia. Estos niveles de inclusión del concentrado en la dieta son similares a los reportados por Méndez Pereira (2019) ($5,7 \pm 1,2$ kg MS/vaca de concentrado).

Es notoria la vinculación de la carga con la conformación de la dieta diaria de los animales; sin embargo, no es la única variable involucrada. Al igual que en el análisis del consumo por hectárea, factores como el stock de forraje y las decisiones en la gestión del pastoreo en relación con los turnos de pastoreo o encierro, inciden en la estructura de la dieta y por ende en las estrategias de alimentación de ambos tratamientos. Ortega et al. (2024) también vinculan las diferentes combinaciones de alimentos en la dieta por vaca con los tiempos de pastoreo de cada lote, influenciado por la necesidad de ajustar el consumo directo del forraje según la carga animal y la tasa de crecimiento de la pastura, lo que determina la cantidad de reservas forrajeras necesarias para cubrir los requerimientos de los animales cuando el consumo de forraje se ve limitado por el nivel del stock promedio. En este sentido, la mayor participación de las reservas en la dieta del lote de alta carga se asocia al mayor tiempo en encierro de estos animales, lo que determina menores oportunidades de cosecha directa de forraje que las vacas del tratamiento de baja carga, dónde la participación de la pastura en la dieta es significativamente mayor.

A continuación, se presenta en la Figura 13 y 14, la estructura de alimentación mensual de cada tratamiento y su variación durante el período, mostrando su relación con la carga, el stock de forraje y los tiempos de pastoreo y encierro.

Figura 12*Estructura de alimentación mensual por VO/día. AP***Figura 13***Estructura de alimentación mensual por VO/día. BC*

En el lote AP, en marzo es cuando más importante es la proporción de pasturas en la dieta de las vacas, ya que, a pesar de la alta carga a nivel de la superficie efectiva de pastoreo, las altas tasas de crecimiento y el stock de forraje por encima del objetivo permitieron pastorear a un turno de pastoreo durante todo el mes, disminuyendo la utilización de reservas. En abril, dónde el déficit hídrico afectó negativamente las tasas

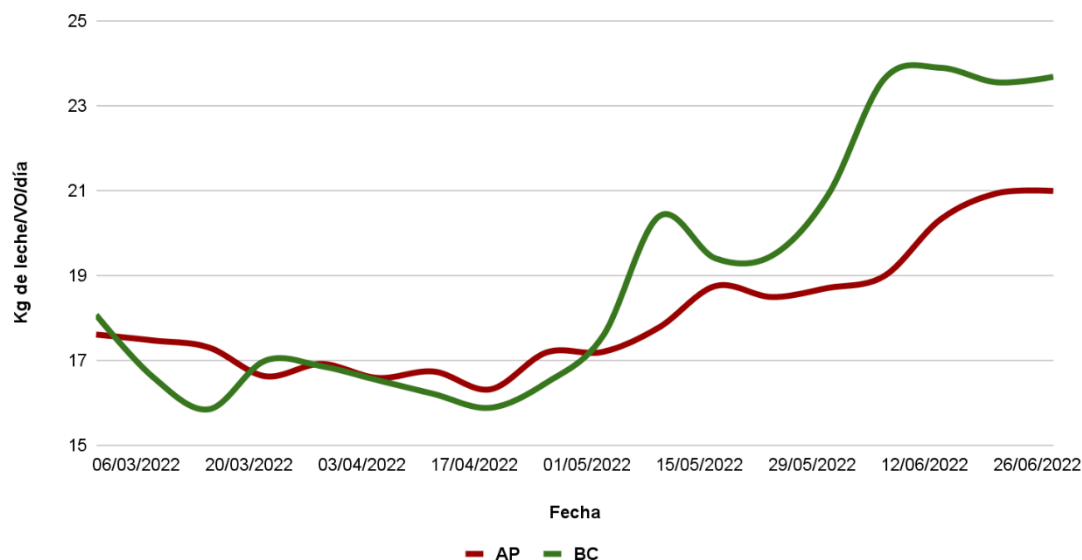
de crecimiento, y en consecuencia, el stock de forraje en el sistema, el cual registró valores por debajo del establecido, obligando a que las vacas pasaran casi el 50% del tiempo en encierro, observándose una mayor participación de las reservas en la dieta, alcanzando a consumir aproximadamente 9 kg MS/VO/día. En mayo y junio, a pesar de que existió una caída en la carga animal, con el objetivo de mantener el stock promedio, las tasas de crecimiento les permitieron a las vacas consumir de 1 a 2 kg MS/VO/día más de pasturas con respecto a abril, pero igualmente fue necesaria una alta proporción de reservas en la dieta diaria para cubrir los requerimientos nutricionales de los animales. Nuevamente, la gráfica demuestra la necesidad de suplementar con reservas para sostener la producción de leche, controlando la presión que las altas cargas generan sobre las pasturas manteniendo el sistema en equilibrio, y la necesidad de tener la infraestructura adecuada para que la intensificación de los sistemas pastoriles lecheros sea factible (Ortega et al., 2024).

Analizando la dinámica de la estructura de la dieta en el tratamiento BC, también se observa la vinculación con los tiempos de pastoreo y encierro, junto con el comportamiento del stock de forraje y la carga; estas últimas dos variables se comportaron de manera muy similar al tratamiento AP. Al tener BC un menor nivel de carga, la presión ejercida sobre la pastura es menor, lo que permite una mayor asignación de forraje por vaca, alcanzando un mayor consumo directo de pasturas (Ortega et al., 2024). En marzo y abril, las vacas pasaron el 16 y 23% del tiempo en encierro respectivamente, lo que explica el mayor consumo individual de reservas en estos meses. En mayo y junio, gracias al descenso de la carga, y pese a las menores tasas de crecimiento registradas en junio, aumenta de manera importante la participación de las pasturas en la dieta diaria, superando a los demás componentes. Las vacas pasaron el todo el mes de mayo a un turno de pastoreo, mientras que en junio predominan los eventos a un turno de pastoreo, seguidos por una pequeña proporción a doble turno y en encierro, lo que explica los resultados obtenidos gracias a mayores oportunidades de cosecha directa del forraje.

4.9 PRODUCCIÓN DE LECHE

4.9.1 Producción de leche individual

La producción de leche por vaca (kg leche/VO/día), presentó diferencias estadísticamente significativas, resultado que no se ajusta a la hipótesis planteada. Las medias de producción de leche diaria por vaca durante el período marzo - junio fueron 18,6 kg/VO/día y 17,9 kg/VO/día para BC y AP respectivamente.

Figura 14*Evolución de la producción individual de leche según tratamiento*

Nota. Datos de producción diaria de leche.

En la figura 15, se muestra la evolución de la producción individual de las vacas en ordeño de los lotes BC y AP. Se observa paridad entre los tratamientos hasta la mitad del período, y posteriormente un aumento en la producción de ambos lotes, pero es notable la mayor producción individual registrada por las vacas integrantes del lote de baja carga. Esta diferencia puede vincularse a la estructura de alimentación, dónde las vacas integrantes del tratamiento BC registraron una mayor proporción de forraje en la dieta, sobre todo en los meses de mayo y junio; mientras que las vacas del tratamiento AP, pasaron más tiempo en encierro durante estos meses, siendo el consumo de reservas el más importante dentro de los componentes de la dieta, lo que sugiere que se pudo ver afectada la calidad de la misma, y como consecuencia una reducción en la producción individual. Además, el aumento en producción individual en ambos rodeos hacia fines del período evaluado se puede relacionar con la disminución, (aunque no estadísticamente significativa, probablemente debido a la dispersión de los datos), de las semanas de lactancia promedio, por una mayor proporción de vacas en lactancia temprana, especialmente en el tratamiento BC. Como señalan Broster y Swan (1979, como se cita en Chilibroste et al., 2011) la lactancia es un proceso fisiológico que alcanza el pico de producción en la quinta a sexta semana postparto, situación que puede explicar el aumento en la producción hacia el final del periodo evaluado. Sin embargo, este incremento no puede atribuirse únicamente a aspectos fisiológicos, sino que también está fuertemente vinculado al consumo: para que las vacas puedan expresar su capacidad productiva, es necesario alcanzar niveles de consumo adecuados para cubrir sus requerimientos.

Existe coincidencia en los trabajos publicados por Macdonald et al. (2008) y McCarthy et al. (2014) con los resultados obtenidos, donde reportaron que, con suplementación como herramienta fundamental para sostener el aumento de carga, a medida que esta incrementa, existe una disminución de la producción de leche por vaca en ordeño, explicada principalmente por un menor pico de producción de leche y lactancias de menores persistencias, sumado a una reducción en la disponibilidad de forraje y por ende a un menor consumo de materia seca por animal. Por otro lado, Baudracco et al. (2011) no encontraron diferencias significativas entre sistemas de cargas contrastantes, pero evidenciaron una tendencia a menores producciones individuales en los sistemas de mayor carga.

4.9.2 Producción de leche por hectárea

La producción de leche por hectárea (kg de leche/ha PP) fue afectada por la carga animal (VO/ha PP), los resultados (tabla 12) mostraron diferencias estadísticamente significativas para ambos tratamientos. Como se indica en el punto 4.1, durante el período experimental la carga promedio fue de 1,4 VO/ha PP y 2,7 VO/ha PP para el tratamiento BC y AP respectivamente, levemente inferiores a las cargas objetivo establecidas (1,8 VO/ha PP en BC y 3,0 VO/ha PP en AP), lo contrario ocurre cuando se observan las cargas en SEP, donde se da un aumento significativo, explicado por la reducción de la superficie efectiva de pastoreo ocurrida durante el otoño. La producción por hectárea está directamente relacionada a la carga; es decir que, a mayor carga, mayor producción por unidad de superficie (Valentine et al., 2009), concordando con los resultados obtenidos, donde la producción promedio de leche por hectárea diaria, fue de 47,6 kg leche/ha PP para AP y 26,4 kg leche/ha PP para BC, remarcando una superioridad en la producción a favor del tratamiento AP de aproximadamente el 80%. Autores como Fike et al. (2003) obtuvieron una producción del 61% superior en tratamientos de alta carga animal con respecto al de baja carga, reafirmando que esta variable es la principal determinante de la productividad por hectárea.

Tabla 12

Carga animal y producción promedio por hectárea por día

Variable/Tratamiento	BC	AP
Carga animal (VO/ha PP)	1,4 B	2,7 A
Carga animal (VO/ha SEP)	2,5 B	4,7 A
kg de leche/ha PP/día	26,4 B	47,6 A

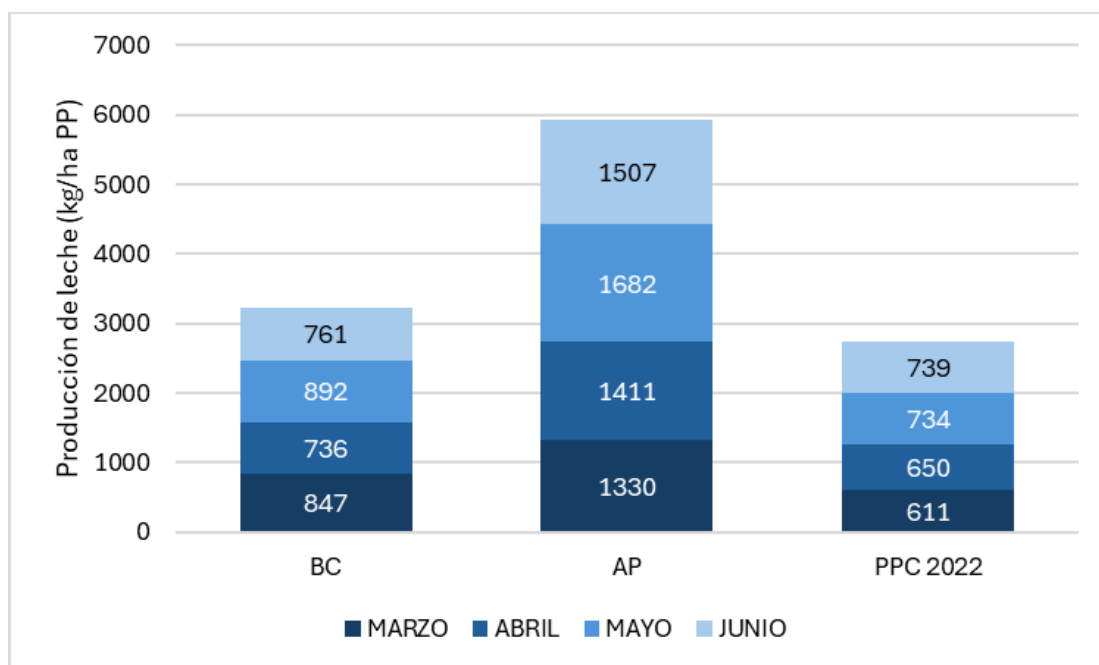
Nota. Leer letras de significancia ($p < 0,05$) en forma horizontal.

En la figura 16, se observa la producción de leche a nivel de superficie (kg de leche/ha PP) mensual y acumulada para ambos tratamientos y PPC 2022 (J. Ernst, comunicación personal, s.f.). La producción acumulada otoñal para el lote AP fue

significativamente superior, alcanzando 5930 kg de leche/ha PP, siendo 83% superior que la producción de BC y más del doble de la obtenida por los tambos integrantes del PPC, que registraron 3236 y 2733 kg de leche/ha PP, respectivamente. A pesar de los menores registros de producción individual de las vacas del tratamiento AP, los resultados confirman nuevamente que la carga tiene alta incidencia en la producción de leche por hectárea, concordando con autores como Baudracco et al. (2011), Patton et al. (2016) y Ortega et al. (2024). El manejo de altas cargas deja de manifiesto la importancia de las estrategias de alimentación de cada lote, donde se prioriza maximizar la cosecha directa de forraje con la necesidad de altos niveles de suplementación para sostener una elevada productividad y mantener el sistema en equilibrio, sobre todo en el tratamiento AP.

Figura 15

Producción de leche por hectárea mensual y acumulada de los tratamientos y PPC 2022



4.10 COMPOSICIÓN DE LA LECHE

4.10.1 Producción individual de sólidos

La producción individual de sólidos y sus componentes (tabla 13), no se vio afectada por la carga, no existieron diferencias de significancia estadística entre tratamientos. Sin embargo, sí se observaron diferencias en la composición de la leche, específicamente en proteína.

Tabla 13*Producción individual de sólidos por día y composición de la leche*

Variable/Tratamiento	BC	AP
Grasa (kg/VO/día)	0,84 A	0,79 A
Proteína (kg/VO/día)	0,73 A	0,74 A
Sólidos (kg/VO/día)	1,57 A	1,52 A
Grasa (%)	4,73 A	4,56 A
Proteína (%)	4,05 B	4,16 A

Nota. Leer letras de significancia ($p < 0,05$) en forma horizontal.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto a la producción individual de grasa ($p < 0,0865$), que fue de 0,84 y 0,79 kg/VO/día, para BC y AP respectivamente. A pesar de observarse una tendencia a mayor producción en las vacas del tratamiento de menor carga, la cual puede estar explicada por la mayor participación del forraje en la dieta de las mismas, tampoco existieron diferencias significativas en el % de grasa en la leche ($p < 0,2410$). Con cargas de 1,9 vacas/ha, Chataway et al. (2010) registraron producciones similares de 0,85 kg/VO/día, mientras que Baudracco et al. (2011) tampoco encontraron diferencias significativas en la producción individual de grasa para tratamientos de cargas contrastantes de 1,6, 2,1 y 2,6 vacas por hectárea. Por el contrario, Ortega et al. (2024) sí registraron diferencias, reportando mayor producción individual de grasa, y por ende de sólidos, en tratamientos de alta carga, asociado a dietas con mayor nivel de concentrados y menos gasto energético producto de menores oportunidades de pastoreo directo.

En cuanto a la producción individual diaria de proteína, tampoco se observaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,8268$), con un promedio de 0,73 y 0,74 kg de proteína por vaca por día para BC y AP respectivamente. Por otra parte, al analizar la composición de la leche, sí se encontraron diferencias estadísticas en el % de proteína, pero con un p-valor de 0,0463, y diferencias mínimas significativas de 0,11131, lo que sugiere que la magnitud de la diferencia es reducida, y a efectos de los resultados productivos puede tener poca importancia. En este caso, el lote AP presentó valores superiores a BC, resultado que difiere con los publicados por Patton et al. (2016) donde los tratamientos de menor carga registraron un mayor % de proteína, justificado por la estructura de la dieta de las vacas, que consumieron más forraje de manera directa y tuvieron menor participación de reservas, a diferencia de las vacas que componen sistemas de mayor carga.

En resumen, no existieron grandes diferencias en la producción de sólidos por vaca y en la composición de la leche a pesar de tratarse de cargas contrastantes con diferentes estrategias de alimentación. La búsqueda de características similares en el

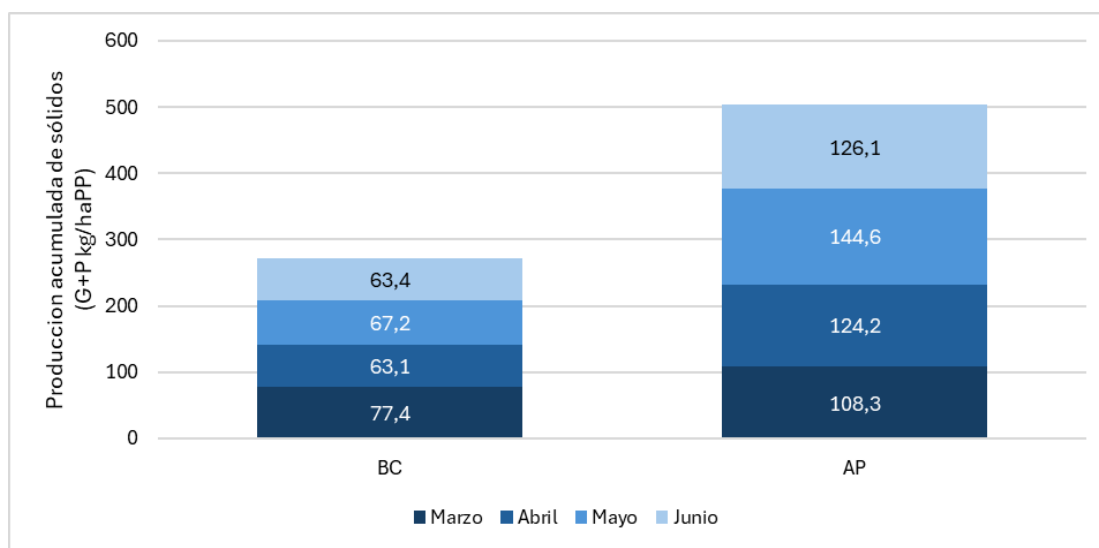
armado de los lotes, como por ejemplo biotipo, edad y época de parto de las vacas pudo tener influencia en estos resultados.

4.10.2 Producción de sólidos totales por hectárea

La producción de sólidos totales (kg de grasa+proteína/ha PP/día) fue significativamente diferente entre los tratamientos ($p < 0,0001$), siendo de 2,27 kg/ha PP/día en BC y 4,14 kg/ha PP/día en AP, lo que significa un aumento de aproximadamente el 82%.

Figura 16

Producción de sólidos (grasa+proteína por hectárea de plataforma de pastoreo) mensual y acumulada por tratamiento



La producción acumulada otoñal (figura 17) para el tratamiento AP fue de 503 kg de sólidos/ha PP, mientras que el tratamiento BC registró 271 kg de sólidos/ha PP. La diferencia significativa en la producción de sólidos totales entre los tratamientos no se explica por una mayor producción individual de sólidos por animal, sino por la carga de cada tratamiento. Un aumento en la carga, se correlaciona con un aumento en la producción de sólidos totales por hectárea. Esto indica que, como ya fue mencionado, el incremento en la carga no afectó negativamente la producción individual, permitiendo mantener un aumento proporcional en la producción total de sólidos con el aumento de la carga, lo que genera a lo largo del período que el acumulado total sea aproximadamente 85% superior para el tratamiento AP respecto a BC. A su vez, comparando con los resultados promedio registrados por el PPC (J. Ernst, comunicación personal, s.f.) para el mismo período, los tambos comerciales con cargas promedio de 1,2 VO/ha PP, registraron una producción otoñal de sólidos acumulada de 208 kg de sólidos/ha PP. Dicha producción, es un 59% menor a la registrada por el sistema (AP), y un 23% inferior a la registrada en el tratamiento BC, remarcando la importancia de la carga animal en la intensificación de los sistemas productivos lecheros de base pastoril, alcanzando mayores productividades.

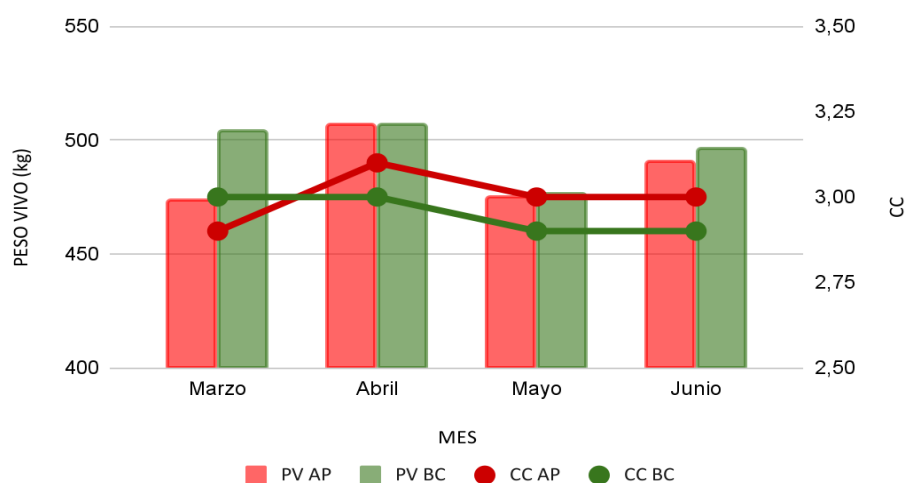
4.11 EVOLUCIÓN DE LA CONDICIÓN CORPORAL Y PESO VIVO

Otras variables que influyen sobre la producción de leche, y resultan del manejo aplicado a las vacas, son la condición corporal (CC) y peso vivo (PV), variables que no muestran diferencias significativas entre tratamientos ni meses (figura 18), por lo que se concluye que estas variables no son causantes de un efecto diferencial sobre los tratamientos en cuanto a términos de producción individual de leche.

Estos resultados sugieren que las dietas formuladas cumplieron con los objetivos establecidos, cubriendo la demanda de nutrientes y permitiendo que el aumento de la carga no comprometa el peso vivo ni la condición corporal de los animales.

Figura 17

Evolución mensual del PV y CC para ambos tratamientos



Nota. PV (Peso Vivo) - CC (Condición Corporal).

5 CONCLUSIONES

El presente trabajo, indica que es posible aumentar la productividad de sistemas lecheros de base pastoril durante el otoño, con diferentes estrategias de alimentación basadas en niveles de carga animal y dedicación operativa contrastantes, con foco en optimizar la producción y uso del forraje, sin afectar la performance animal. Es clave el monitoreo, medición y registro de datos mediante un manejo sistematizado y estructurado que permita obtener información para tomar decisiones a tiempo y lograr una gestión eficiente del sistema.

Los resultados muestran que la producción de forraje no se vio afectada por la carga cuando el manejo del pastoreo se basa en los mismos criterios, a pesar de variar en los tiempos de ocupación de la franja. Diferentes niveles de carga afectan la estructura de la dieta de las vacas, impactando en las oportunidades de pastoreo directo, y por ende, en la rutina de los animales. Se ha observado que los sistemas con una alta carga animal lograron una mayor cosecha de forraje directa por hectárea, lo que condujo a una mayor producción de leche y sólidos por unidad de superficie. Esto fue posible gracias a una mayor proporción de reservas en la dieta, con la necesidad de contar con la infraestructura necesaria para llevar a cabo la respectiva suplementación. Además, se demostró que las dietas evaluadas cubrieron adecuadamente las demandas nutricionales de los animales, manteniendo tanto el peso vivo como la condición corporal sin diferencias significativas entre tratamientos y permitiendo expresar la capacidad productiva de las vacas, a pesar de la superioridad en producción individual de leche observada por las vacas integrantes del lote de menor carga.

El estudio destaca la importancia de un manejo cuidadoso y planificado del pastoreo y la suplementación para maximizar la eficiencia de los sistemas lecheros, y muestra que con estrategias adecuadas es posible mantener altos niveles de productividad en los sistemas de pastoreo intensivo durante el período de otoño.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguerre, M., Cajarville, C., La Manna, A., Cavestany, D., Mendoza, A., Mattiauda, D., Carriquiry, M., Repetto, J., Meikle, A., & Chilibroste, P. (2017). *Estrategias de alimentación de vacas lecheras en pastoreo: ¿Qué hemos aprendido de los sistemas comerciales y que hemos generado desde la investigación en Uruguay?*. ANII; Universidad de la República; Conaprole; INIA; CRI; INALE. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/8181/1/Revista-estrategias-de-alimentacion-Red-Tecnologica-Sectorial-2017.pdf>
- Arbeletche, P. (2020). El agronegocio en Uruguay: Su evolución y estrategias cambiantes en el siglo XXI. *RIVAR*, 7(19), 109-129. <https://revistas.usach.cl/ojs/index.php/rivar/article/view/4355>
- Arboleya, I. (2024). *Sector lechero uruguayo: Tendencias y desafíos*. Instituto Humanista Cristiano Juan Pablo Terra. <https://institutojuanpabloterra.org.uy/wp-content/uploads/2024/06/IHC-JPT.-Doc-28.-Lecheria.-Ignacio-Arboleya.pdf>
- Astigarraga, L. (2004). Desafíos técnicos de la intensificación: Análisis de los resultados productivos de las empresas del seguimiento. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Intensificación en lechería: La alternativa rentable* (pp. 33-58). Universidad de la República. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.27779.52007>
- Baudracco, J., López-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., López-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>
- Berone, G. (2020). Manejo de pasturas por stock y tasa de crecimiento. *Visión Rural*, 27(135), 17-18. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/9367>
- Bossi, J. (2001). *Carta geológica del Uruguay a escala 1/500.000*. Universidad de la República.
- Cajarville, C., Mendoza, A., Santana, A., & Repetto, J. (2012). En tiempos de intensificación productiva... ¿Cuánto avanzamos en el conocimiento de los nuevos sistemas de alimentación de la vaca lechera? *Veterinaria (Montevideo)*, 48(Suppl. 1), 35-39. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/11770/1/AUPA-2012-35-39-Cajarville.pdf>
- Calistro, E., & Gutiérrez, F. (2024). Producción de forraje estacional de mezclas de alfalfa con diferentes cultivares de festuca. *Todo Tambo*, (262), 34-36. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17766/1/Todotambo-262-Marzo-2024-p.34-36.pdf>

- Carámbula, M. (2002). *Pasturas y forrajes: Vol. 1. Potenciales y alternativas para producir forraje*. Hemisferio Sur
- Castaña, J. P., Giménez, A., Ceroni, M., Furest, J., & Aunchayna, R. (2011). *Caracterización agroclimática del Uruguay 1980-2009*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2538/1/18429021211104157.pdf>
- Chataway, R. G., Walker, R. G., & Callow, M. N. (2010). Development of profitable milk production systems for northern Australia: A field assessment of the productivity of five potential farming systems using farmlets. *Animal Production Science*, 50(4), 246-264. <https://doi.org/10.1071/AN09124>
- Chilibroste, P. (2015). Carga o productividad individual? Pasto o concentrado?: Mitos y realidades en la intensificación de los sistemas de producción de leche en Uruguay. En Centro Médico Veterinario de Paysandú & Sociedad Uruguaya de Buiatría (Orgs.), *XLIII Jornadas Uruguayas de Buiatría: Trabajos presentados* (pp. 158-162). https://bibliotecadigital.fvet.edu.uy/bitstream/handle/123456789/2265/JB2015_158-162.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chilibroste, P., Artagaveytia J., & Giudice, G. (2010). Rol del riego en sistemas pastoriles de producción de leche: Ruta de intensificación o estabilizadora del sistema. En Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (Ed.), *Potencial del Riego Extensivo en Cultivos y Pasturas: 1er Seminario Internacional* (pp. 155-164). <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4514/1/Libro-1-Seminario-Internacional-de-Riego-en-Cultivos-y-Pasturas.pdf>
- Chilibroste, P., & Battegazzore, G. (s.f.). *Proyecto Producción Competitiva 2013-2018: Dinámica bio-económica de los sistemas de producción de leche*. Conaprole.
- Chilibroste, P., Mattiauda, D. A., Bentancur, O., Soca, P., & Meikle, A. (2012). Effect of herbage allowance on grazing behavior and productive performance of early lactation primiparous Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology*, 173(3-4), 201-209. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.02.001>
- 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* (pp. 1-17). <https://centromedicoveterinariopaysandu.com/wp-content/uploads/2014/08/Lecheria-Chilibroste-2011.pdf>
- Chilibroste, P., Soca, P., Mattiauda, D. A., Bentancur, O., & Robinson, P. (2007). Short term fasting as a tool to design effective grazing strategies for lactating dairy cattle: A review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(9), 1075-1084.
- Durán, A. (Coord.). (1976). *Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay 1:1.000.000* [Mapa]. MAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DGRN/Comunicaciones/1619_carta_de_reconocimiento_de_suelos_del_uruguay_1.1.000.000_imprimir_a0_0.pdf

- Ernst, O. (2003). Uso del suelo en los tambos relevados. En P. Chilbroste (Ed.), *Proyecto Alimentación-Reproducción: Acuerdo de trabajo CONAPROLE-EEMAC: Resultados año 2003* (pp. 19-25). Conaprole.
- Escuder, C. J. (1996). Manejo de la defoliación: Efecto de la carga y métodos de pastoreo. En C. A. Cangiano (Ed.), *Producción animal en pastoreo* (pp. 65-82). INTA.
- 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://doi.org/10.2134/jpa1995.0088>
- Fariña, S. (2023). La gestión del pastoreo como herramienta para las trayectorias agroecológicas en sistemas lecheros. En G. P. García-Inza, J. M. Paruelo, & R. Zoppolo (Eds.), *Aportes científicos y tecnológicos del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) del Uruguay a las trayectorias agroecológicas* (pp. 395-410). CICCUS. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/17119/1/Farina-S.-Capitulo-19.pdf>
- Fariña, S., & Chilbroste, P. (2019). 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., Tuñón, G., Pla, M., & Martínez, R. (2017). *Sistema de manejo de pastoreo la estanzuela: Guía práctica para la implementación de un sistema de pastoreo*. INIA. https://www.inia.uy/sites/default/files/publications/2024-07/bd%20115_2017.pdf
- Ferguson, J. D., Galligan, D. T., & Thomsen, N. (1994). Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *Journal of Dairy Science*, 77(9), 2695-2703. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77212-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X)
- Fike, J. H., Staples, C. R., Sollenberger, L. E., Macoon, B., & Moore, J. E. (2003). Pasture forages, supplementation rate, and stocking rate effects on dairy cow performance. *Journal of Dairy Science*, 86(4), 1268-1281. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73711-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73711-4)
- Ganche, E., Delaby, L., O'Donovan, M., Boland, T. M., Galvin, N., & Kennedy, E. (2013). Post-grazing sward height imposed during the first 10 weeks of lactation: Influence on early and total lactation dairy cow production, and spring and annual sward characteristics. *Livestock Science*, 157(1), 299-311. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.08.001>
- 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>
- Gil Zibil, L. (2024). *Estrategias de intensificación de sistemas lecheros pastoriles: Dimensiones productivas y balance de nutrientes* [Tesis de maestría, Universidad la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/48133>

- Giudice, G. (2021). *Escenarios para la lechería uruguaya 2021/2022: Mercados, producción, precios y costos*. INALE. https://www.inale.org/wp-content/uploads/2021/11/Escenarios-para-la-lecheria-uruguaya-2021-2022_editado-para-web_comp.pdf
- González, P., & Astigarraga, L. (2012). Productividad de vacas lecheras en pasturas de festuca o de Dactylis. *Agrociencia (Uruguay)*, 16(1), 160-165. <https://doi.org/10.31285/AGRO.16.582>
- Google. (2023). [Centro Regional Sur, Progreso, Canelones, Uruguay. Mapa] Recuperado el 25 de setiembre de 2023, de <https://maps.app.goo.gl/CFYjKM1hdSkzpjBQ7>
- Holmes, C. W., & Roche, J. R. (2007). Pastures and supplements in dairy production systems. En P. V. Rattray, I. M. Brookes, & A. M. Nicol (Eds.), *Pastures and supplements for grazing animals* (pp. 221-242). NZSAP.
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.a). *Banco de datos agroclimáticos*. <https://www.inia.uy/gras/Clima/Banco-datos-agroclimatico>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (s.f.b). *Intensificación Sostenible de la Lechería*. <https://www.inia.uy/proyectos/ftgrf-15940-rg-intensificacion-sostenible-de-la-lecheria>
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. (2017). *Proyecto 10-MIL (Módulos de Intensificación Lechera)*. <https://www.inia.uy/proyectos/proyecto-10-mil-modulos-de-intensificacion-lechera>
- Instituto Nacional de la Leche. (s.f.). *Exportaciones totales*. <https://www.inale.org/estadisticas/exportaciones-totales/>
- Irigoyen, A. (2011). *Presupuestación forrajera*. IPA. <https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/filemanager/source/2021/Librillos/pdf/Presupuestaci%C3%B3n%20forrajera.pdf>
- Leborgne, R. (1983). *Antecedentes técnicos y metodología para presupuestación en establecimientos lecheros*. Hemisferio Sur.
- 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>
- Macdonald, K. A., Penno, J. W., Nicolas, P. K., Lile, J. A., Coulter, M., & Lancaster, J. A. (2001). Farm systems: Impact of stocking rate on dairy farm efficiency. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 63, 223-227. <https://doi.org/10.33584/jnzg.2001.63.2403>

- McCarthy, J., McCarthy, B., Horan, B., Pierce, K. M., Galvin, N., Brennan, A., & Delaby, L. (2014). Effect of stocking rate and calving date on dry matter intake, milk production, body weight, and body condition score in spring-calving, grass-fed dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 97(3), 1693-1706. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7458>
- Méndez Pereira, 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/handle/20.500.12008/35726>
- Mendoza, A. (2018). *Alimentación de la vaca lechera en transición*. INIA. <https://ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/14969/1/Ficha-tecnica-22-alimentacion-vaca-lechera.pdf>
- Menegazzi Conceição, G. (2020). *Efecto de la altura postpastoreo en el comportamiento ingestivo, consumo de materia seca y producción de leche de vacas Holando* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/30008>
- Merino, V. M., Balocchi, O. A., Rivero, M. J., & Pulido, R. G. (2020). Short-term effect of daily herbage allowance restriction on pasture condition and the performance of grazing dairy cows during autumn. *Animals*, 10(1), Artículo e62. <https://doi.org/10.3390/ani10010062>
- Murphy, D. J., Murphy, M. D., O'Brien, B., & O'Donovan, M. (2021). A review of precision technologies for optimising pasture measurement on Irish grassland. *Agriculture*, 11(7), Artículo e600. <https://doi.org/10.3390/agriculture11070600>
- National Research Council. (2001). *Nutrient requirements of dairy cattle* (7th rev. ed.). National Academy Press.
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2014). *Anuario estadístico agropecuario 2014*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Documentos%20compartidos/Anuario2014/Diea-Anuario%202014-Digital01.pdf>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2022). *Anuario estadístico agropecuario 2022*. MGAP. https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2022/O_MGAP_Anuario_estad%202022-DIGITAL.pdf
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2024). *Anuario estadístico agropecuario 2024*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2024/Anuario2024%20ANUARIO2024.pdf>
- Oficina de Estadísticas Agropecuarias. (2025). *Anuario estadístico agropecuario 2025*. MGAP. <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2025/ANUARIO2025.pdf>

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola, Organización Mundial de la Salud, Programa Mundial de Alimentos & Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia. (2020). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo: Transformación de los sistemas alimentarios para que promuevan dietas asequibles y saludables*. <https://doi.org/10.4060/ca9692es>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2021). *OECD-FAO Agricultural: Outlook 2021-2030*. OECD. <https://doi.org/10.1787/19428846-en>
- 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>
- Ortega, G., Chilbroste, P., Garrido, J. M., Waller, A., Fariña, S. R., & Lattanzi, F. A. (2023). Monitoring herbage mass and pasture growth rate of large grazing areas: A comparison of the correspondence, cost and reliability of indirect methods. *The Journal of Agricultural Science*, 161(4), 502-511. <https://doi.org/10.1017/S0021859623000333>
- Ortega, G., Núñez, T., Mello, R., Custodio, D., & López, Y. (2018). Efecto de la carga animal y el manejo del pastoreo sobre: Producción y cosecha de forraje, producción de leche y margen de alimentación. *Opción Veterinaria*, 2(8), 14-16. <http://opcionveterinaria.com.uy/wp-content/uploads/2018/11/opvetnov2018.pdf>
- Ortega Conforte, G. (2019). *Aplicación de sistemas de percepción remota para el monitoreo y gestión de recursos forrajeros en sistemas pastoriles de producción* [Tesis de maestría, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/29887>
- Patton, D., Pierce, K. M., & Horan, B. (2016). Effect of stocking rate on milk and pasture productivity and supplementary feed use for spring calving pasture fed dairy systems. *Journal of Dairy Science*, 99(7), 5904-5915. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10305>
- Silbermann, A., Mendoza, A., & Chilbroste, P. (2005). Capacidad de carga en establecimientos lecheros durante el período otoño invernal. *Cangué*, (27), 38-42.
- Stirling, S. (2021). *Estrategias de intensificación para sistemas lecheros pastoriles en Uruguay: Análisis biofísico y del potencial impacto ambiental* [Disertación doctoral, Universidad de la República]. Colibri. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/34679>
- Valentine, S., Lewis, P., Cowan, R. T., DeFaveri, J. (2009), The effects of high stocking rates on milk production from dryland and irrigated Mediterranean pastures. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 49(2), 100-111. <https://doi.org/10.1071/EA07071>

- Wales, W. J., Marett, L. C., Greenwood, J. S., Wright, M. M., Thornhill, J. B., Jacobs, J. L., Ho, C. K. M., Auldist, M. J. (2013). Use of partial mixed rations in pasture-based dairying in temperate regions of Australia. *Animal Production Science*, 53(11), 1167-1178. <https://doi.org/10.1071/AN13207>
- Zanoniani, R., Zibil, S., Ernst, O., & Chilibroste, P. (2003). Manejo del pastoreo y producción de forraje: Resultados del monitoreo realizado durante el año 2003. En P. Chilibroste (Ed.), *Proyecto Alimentación-Reproducción: Acuerdo de trabajo CONAPROLE-EEMAC: Resultados año 2003* (pp. 25-34). Conaprole.