



PROPUESTAS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE CRÍA EN LA REGIÓN FITOGEOGRÁFICA DEL MONTE

**APLICACIÓN TERRITORIAL EN LA
ZONA SEMIÁRIDA MENDOCINA**

**TRABAJO FINAL DE MAESTRÍA
ING. AGR. ROMINA OSSES**

DIRECTORA: DRA. MARÍA LAURA GUZMÁN
CO-DIRECTOR: DR. RICARDO LUIS SAGER

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

INDICE

Resumen	1
Introducción	2
Hipótesis y objetivos	10
Materiales y métodos	11
Establecimiento ganadero	11
Determinación de zonas homogéneas	15
Balance forrajero	15
Análisis NIR y desarrollo de calibraciones	18
Distribución de aguadas	18
Resultados y discusión	22
Determinación de zonas homogéneas	22
Medición de forraje	29
Distribución de aguadas	40
Conclusiones	57
Bibliografía	59

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Balance hídrico de la región	4
Figura 2. Croquis del establecimiento EL CLARÍN	11
Figura 3. Vegetación del establecimiento	12
Figura 4. <i>E. curvula</i> “pasto llorón” con aro de muestreo	13
Figura 5. Rodeo del establecimiento	14
Figura 6. Incubador de Daisy II ANKOM	17
Figura 7. Digestor de fibra ANKOM A200	17
Figura 8. Equipo FOSS DS 2500	18
Figura 9. Mapa satelital establecimiento El Clarín	22
Figura 10. Zonas homogéneas establecimiento El Clarín	24
Figura 11. Productividad observada total por zona	26
Figura 12. Productividad potencial total por zona	27
Figura 13. Comparación de productividad potencial y observada por zona	28
Figura 14. Toma de muestras para análisis	30
Figura 15. Situación inicial potrero degradado	30
Figura 16. Producción promedio por especie	34
Figura 17. Digestibilidad in vitro de materia seca en otoño y primavera	39
Figura 18. Contenido de proteína bruta en primavera y otoño	39
Figura 19. Distribución de aguadas en el establecimiento El Clarín en etapa 1 ..	53
Figura 20. Distribución de aguadas en el establecimiento El Clarín en etapa 2 ..	54
Figura 21. Distribución de aguadas en el establecimiento El Clarín en etapa 3 ..	55
Figura 22. Nuevas aguadas en el establecimiento El Clarín	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Zonas, potreros y superficies con producción final utilizable	25
Tabla 2. Productividad observada	26
Tabla 3. Productividad potencial	27
Tabla 4. Precipitación anual y primaveral (OND) y anomalías	29
Tabla 5. Datos relevados para estimación de producción	32
Tabla 6. Producción promedio por especie	33
Tabla 7. Requerimientos nutricionales por mes	35
Tabla 8. Oferta nutritiva de <i>Eragrostis curvula</i> por mes, en Kg/MS	35
Tabla 9. Oferta forrajera de pastizales naturales por mes	36
Tabla 10. Requerimientos nutricionales y oferta forrajera	36
Tabla 11. Balance forrajero	38
Tabla 12. Planilla de días de uso lote 1	43
Tabla 13. Planilla de días de uso lote 2	44
Tabla 14. Planilla de días de uso lote 3	44
Tabla 15. Planilla de días de uso lote 4	45
Tabla 16. Planilla de días de uso lote 5	45
Tabla 17. Planilla de días de uso lote 6	46
Tabla 18. Planilla de días de uso lote 7	46
Tabla 19. Planilla de días de uso lote 8	47
Tabla 20. Planilla de días de uso lote 9	47
Tabla 21. Planilla de días de uso lote 10	48
Tabla 22. Planilla de días de uso lote 11	48

Tabla 23. Planilla de días de uso lote 12	49
Tabla 24. Planilla de días de uso lote 13	49
Tabla 25. Planilla de días de uso lote 14	50
Tabla 26. Planilla de días de uso lote 15	50
Tabla 27. Planilla de días de uso lote 16	51
Tabla 28. Distancia promedio a las aguadas y zonas críticas	55

RESUMEN

El presente trabajo final aborda la optimización de la eficiencia productiva en sistemas de cría bovina en zonas semiáridas de la Provincia Fitogeográfica del Monte, con énfasis en la implementación de tecnologías adaptativas y manejo sostenible. El estudio se desarrolló en el establecimiento "El Clarín", ubicado en General Alvear, Mendoza, a lo largo de un período de seis años. El objetivo fue mejorar la productividad del sistema mediante la incorporación de pasturas mejoradas, el diseño de un balance forrajero estratégico, la evaluación de la calidad nutricional del forraje y el manejo eficiente de aguadas y potreros. La introducción de *Eragrostis curvula* (pasto llorón) en áreas degradadas permitió aumentar la productividad a 3306 kg MS/ha, mejorando significativamente la receptividad y reduciendo la dependencia de pastizales naturales con menor valor forrajero. Sin embargo, el análisis del balance forrajero mostró déficits críticos en otoño e invierno, destacando la necesidad de suplementación estratégica con fuentes de nitrógeno no proteico y ajustes en la carga animal. La calidad del forraje fue evaluada por espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS) para lo cual se desarrollaron curvas de digestibilidad en pasto llorón (especie clave) que permitieron obtener datos precisos y dinámicos para planificar el manejo. Asimismo, el uso de imágenes satelitales identificó zonas homogéneas de alta, media y baja productividad, proporcionando información clave para diseñar manejos diferenciados que optimicen el uso del territorio. La infraestructura hídrica con la redistribución de aguadas permitió mejorar el acceso al agua para el ganado, favoreciendo un uso más uniforme del pastizal y reduciendo la presión sobre áreas específicas. Estas mejoras no solo impactaron en el bienestar animal, sino que también incrementaron la sostenibilidad del sistema. Se resalta la importancia de prácticas regenerativas, suplementación estratégica y una infraestructura hídrica adecuada para lograr un sistema ganadero resiliente y eficiente. La experiencia en "El Clarín" confirma que un manejo adaptativo y tecnológico puede transformar la ganadería extensiva en una actividad más eficiente y sostenible, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 y sirviendo como modelo replicable en otras regiones con desafíos similares.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina es una actividad que lleva muchos años acompañando al hombre como proveedora de leche y carne, sin embargo, actualmente es catalogada por la opinión pública como una actividad ineficiente, depredadora de los recursos naturales y rezagada tecnológicamente, si se compara con otros sectores de la economía (Perdomo y col., 2022). Estudios dan cuenta de la necesidad de mejorar en la introducción del uso de nuevas tecnologías. Al remitirnos al concepto de tecnología, debemos incluir en éste al conjunto de información y conocimientos que permiten mejorar el proceso productivo, corresponde a la introducción de habilidades nuevas, la internalización de nuevos conocimientos, como así también de renovaciones en los medios de producción y en su uso. Para el caso de la tecnología agropecuaria se podría afirmar que se refiere a la potenciación en la productividad del trabajo humano y de la tierra, cuestión que tiene su fuente principal en el proceso de avance tecnológico, a través de cambios tanto en los insumos utilizados, como en la posibilidad de incorporar nuevos productos (Mikkelsen, 2005). La mera persecución de la productividad para la obtención de ganancia ha generado una explotación desmedida de la naturaleza, concepción que persigue únicamente maximizar los beneficios, con mínimos costos, en el menor tiempo posible, sin considerar la vulnerabilidad de los ambientes. En este contexto es que se debe insertar la discusión sobre la sostenibilidad en el desarrollo rural, considerando que el desarrollo tiene una connotación mayor que el crecimiento económico, implica el cambio y la modernización de las áreas rurales, significa el despliegue de las potencialidades de una identidad, sea esta biológica o sociocultural. La imperiosa necesidad de buscar un desarrollo sostenible, que se plantea a escala mundial, se sustenta en la comprobación de que el modelo de desarrollo adoptado, de neto corte productivista, ha generado severos deterioros ambientales, en tal sentido, es evidente que las demandas económicas y las urgencias sociales a menudo marchan a contrapelo de la salud del ambiente y la preservación de los recursos naturales (Viglizzo, 2014). El uso de las tecnologías se presenta como una oportunidad para incrementar la competitividad y eficiencia de la ganadería extensiva. Estas tecnologías aplicadas al sector de la agricultura, es lo que se denomina PLF (Precision livestock farming), que son los sistemas de agricultura de precisión. Consiste en una variedad de sensores u otros sistemas automáticos para mejorar el control de las granjas y el manejo de los animales entre otras cosas (Odintsov y col., 2021). Actualmente, los ganaderos que disponen de explotaciones en extensivo, priorizan el control y el cuidado de su explotación con recursos más económicos, y la implementación de PLF supondría un coste importante en la mayoría de los casos (Odintsov y col., 2021). En el caso de las ganaderías extensivas, la aplicación de tecnologías añade más retos para su implementación comparada con la intensiva, ya que debido el ambiente que se encuentran los animales los sistemas tienen que ser

marginales (Bahlo y col., 2019), y presentan todavía algunas barreras a resolver para avanzar con el correcto desarrollo y aplicación de tecnologías de precisión (Aquilani y col., 2021). En el presente trabajo, nos centraremos en la actividad ganadera, y en particular la cría bovina que se realiza en el vasto territorio de la provincia de Mendoza, específicamente en General Alvear, como caso de estudio, debido al papel fundamental en la economía regional y nacional (Tacchini y col., 2014). La producción ganadera en esta región no solo se enfrenta a desafíos propios del sector, como la eficiencia productiva y la calidad de carne, sino también a las particularidades del entorno, como el clima semiárido y las limitaciones hídricas.

Durante los últimos años la adopción de nuevas tecnologías ha sido un factor determinante para incrementar la competitividad de aquellas organizaciones que poseen visión empresarial establecida. Por ello, la gestión tecnológica tiene un manejo como cualquier otro recurso de la organización (Barrios y col., 2016). Sin embargo, los sistemas productivos pecuarios de argentina, se caracterizan por presentar un sistema de producción artesanal con un bajo nivel de implementación tecnológica, siendo necesario la consolidación de un sector ganadero con visión empresarial y competitiva ante las necesidades del mercado mundial e interno. La dinámica de los sistemas de cría extensivos requiere efectivas estrategias de manejo para mantener la rentabilidad. El crecimiento de la producción ganadera conlleva grandes desafíos, tales como la necesidad de aumentar la eficiencia de la producción y productividad; mejorar la seguridad y calidad de los productos; ser amigable con el medio ambiente; y contribuir a la conservación de la biodiversidad (IICA, 2017). El crecimiento sostenible del sector ganadero tiene el potencial para generar numerosos beneficios para la sociedad: ingresos y empleo, alimentos y nutrición, suministro de energía y servicios de transporte, servicios ambientales y de salud, ahorros, seguros.

Como se mencionó en el primer párrafo, el concepto de tecnología abarca al conjunto de información y conocimientos que permiten mejorar el proceso productivo, por ello que el manejo de las pasturas, las instalaciones y las aguadas se erige como una herramienta indispensable para garantizar la sostenibilidad y la rentabilidad de la producción ganadera extensiva. Las pasturas constituyen el principal recurso forrajero para el ganado, y su adecuado manejo incide directamente en la productividad y la salud del rodeo. Asimismo, las instalaciones ganaderas deben ser diseñadas y mantenidas de manera óptima para favorecer el bienestar animal y facilitar las tareas de manejo. Por último, la disponibilidad y calidad del agua son aspectos críticos para el desarrollo de la actividad ganadera en zonas áridas como esta, y las aguadas deben planificarse estratégicamente para asegurar un suministro adecuado en todo momento.

La ganadería de cría del sur de Mendoza se desarrolla bajo un clima templado semiárido, con temperatura media anual de 16,8 °C y precipitación media cercana a 450 mm anuales, con máxima concentración estival (Tacchini y col., 2014). En los últimos 26 meses, la zona atravesó condiciones La Niña, con acumulados anuales del orden de 200–250 mm según el Servicio Meteorológico Nacional (2023), lo que implica un déficit hídrico marcado respecto del promedio y condiciona la productividad forrajera y el manejo del pastoreo (Fig. 1). Este contexto justifica el enfoque en balance forrajero y accesibilidad al agua desarrollado posteriormente.

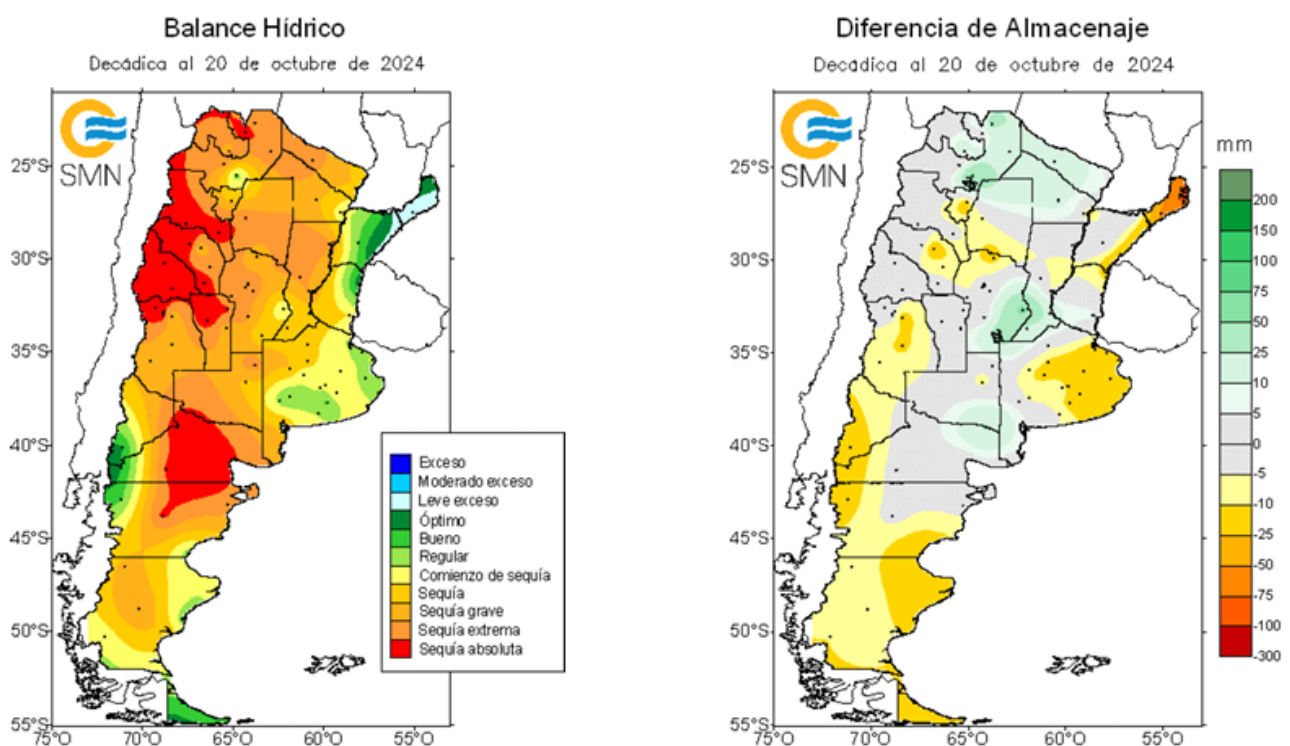


Figura 1. Balance hídrico de la región

La gestión eficiente del pastoreo en zonas áridas exige ajustar la oferta forrajera a los requerimientos nutricionales del rodeo. La oferta efectiva está condicionada por factores del paisaje y del manejo, entre los que se destacan la distancia máxima a la aguada, la densidad y continuidad del forraje, la movilidad y el comportamiento de los animales y sus estados fisiológicos. Estos elementos modulan la disponibilidad real de materia seca (MS) y, en consecuencia, el consumo y la producción animal. Este marco justifica el uso de una zonificación de productividad y de factores de disminución de disponibilidad forrajera (FDDF), así como la comparación oferta–demanda desarrollada en este trabajo.

La interpretación de las planillas de cálculo permite estimar la capacidad de carga por lote y ajustarla a las condiciones específicas de cada área (zonas Z1–Z3, distancia a aguada, calidad estacional del

forraje). Esta herramienta viabiliza una asignación equilibrada del rodeo, minimizando riesgos de sobre/subpastoreo y favoreciendo la sostenibilidad productiva del sistema. La interpretación de las planillas obtenidas ofrece una herramienta clave para la toma de decisiones en el manejo del establecimiento. Este análisis contribuye a optimizar el equilibrio oferta-demanda de forraje, garantizando la sostenibilidad del sistema y mejorando el desempeño del rodeo en términos de producción y bienestar animal.

En establecimientos del Monte, la distribución de aguadas condiciona el acceso efectivo al forraje y puede concentrar el pastoreo, por lo que en este estudio se analiza su evolución temporal y su efecto en los FDDF y los días de uso.

La distribución y densidad de aguadas condiciona el acceso efectivo al forraje y la distribución espacial del pastoreo; un diseño deficiente concentra la presión, favorece sobrepastoreo y parches de degradación, mientras que una red bien ubicada mejora el aprovechamiento homogéneo del recurso (Squires y Sidahmed, 1998). En este estudio, el análisis de accesibilidad al agua se integra con la zonificación de productividad y los Factores de Disminución de Disponibilidad Forrajera (FDDF), como base para dimensionar la oferta utilizable y ajustar la asignación del rodeo.

De forma de explicar la propuesta, el presente trabajo describe un estudio de caso en la región fitogeográfica del Monte, el cual combina investigación y producción en un sistema ganadero. El estudio abarca un periodo de 6 años, iniciado con una inversión para la producción de bovinos, con implantación de megatérmicas, aguadas y apotreramiento para uso eficiente del espacio. El establecimiento donde se realizó el estudio está ubicado en Ruta 188 Km 716 (Gral. Alvear)-Paraje La Mora, situado en la región fitogeográfica denominada “Provincia Fitogeográfica del Monte” (Cabrera, 1976). La ganadería se desarrolla en un entorno complejo que responde a un clima templado semiárido, con una temperatura media anual de 16,8 °C y una precipitación media de aproximadamente 450 mm (Tacchini y col., 2014), de concentración estival. Los suelos son arenosos (proclives a sufrir erosión hídrica y eólica) invadidos por la paja amarga (*Elionurus muticus*), carente de valor forrajero.

El campo posee 5599 hectáreas de monte, donde predominan el algarrobo (*Neltuma sp.*) y la jarilla (*Larrea divaricata* o *Larrea cuneifolia*, acompañada por *Larrea nitida*). En el pastizal natural abundan especies estivales como tupe (*Panicum urvilleanum*), pasto de hoja (*Trichloris crinita*), plumerito (*Pappophorum caespitosum*), flechilla fina (*Nasella tenuis*) y flechilla crespa (*Aristida mendocina*). Inicialmente, el establecimiento era en su totalidad pastizal natural, con una provisión aproximada de 200-250 Kg MS/ha estimándose una receptividad total de 279 EV (20 ha/EV). En este establecimiento, la no división en lotes y mala distribución de las aguadas, por encontrarse a distancia superiores a 2500

m, según Bavera (2011), trae como consecuencia sobre y sub pastoreo, afectando el volumen y calidad de forraje ofrecido, determinando una baja eficiencia productiva animal en el establecimiento. Esta situación favoreció también la proliferación de especies arbustivas, como olivillo (*Hyalis argentea*) y romerillo (*Baccharis coridifolia*). Las especies deseables representan menos del 6% de la materia seca disponible (Viñolo A., comunicación personal, 2010). Esta condición de degradación está estabilizada y no admite retroceso si no es con una tecnología de alto impacto, como la eliminación mecánica o química y la siembra de especies forrajeras. En este planteo se implantó pasto llorón (*Eragrostis curvula*) como alternativa forrajera. La región posee un alto riesgo climático, con sequías frecuentes que deterioran la condición corporal de las vacas al parto, replanteando el servicio tradicional realizando experiencias con entores de otoño, o aumentando la duración del servicio, acompañadas de un destete precoz o hiperprecoz. La falta de nitrógeno en el sistema también es un punto crítico, ya que este elemento es vital para la eficiencia en el uso del agua por parte de las plantas (C3 o C4). Desde el punto de vista animal, la suplementación proteica en vacas de cría es una valiosa herramienta nutricional que ha permitido lograr más preñeces y destetar terneros más pesados en campos donde el recurso forrajero tiene limitantes de calidad. El objetivo de esta suplementación es proveer de nitrógeno degradable en rumen, esto además de nutrir a la flora ruminal, genera un ambiente adecuado para que se desarrollen más bacterias que degradan celulosa, lo que incrementa la tasa de degradación del forraje de baja calidad, el rumen se descarga más rápido y genera un aumento del consumo de materia seca, entre el 15 y el 40% dependiendo de cuánta proteína en rumen adicional se aporta. Lo importante es que este incremento de consumo se produce con cualquier recurso forrajero que tenga menos de 7% de proteína bruta. De este modo la vaca consume algunos kg de más del mismo recurso forrajero, que si bien sigue siendo de baja calidad esto es suficiente para pasar de un balance energético negativo a uno positivo, mejorando la condición corporal al parto y consiguiendo más preñeces. Durante la lactancia, en determinados momentos, no es suficiente para cubrir el requerimiento, pero la suplementación disminuye el balance energético negativo, y estimula a una mayor producción de leche, lo que se traduce en terneros 20 a 30 kg más pesados al destete (Frasinelli y col., 2002).

La productividad de la ganadería de cría bajo sistema pastoril en la zona árida de General Alvear está en estrecha correlación con la producción de forraje a campo. A su vez, en las zonas áridas y semiáridas argentinas, la producción forrajera lograda por unidad de superficie está relacionada directamente con la precipitación anual. El factor de eficiencia de uso de las precipitaciones estimado en Mendoza es de 2.15 y 1.4 kg MS ha⁻¹ por mm de lluvia media anual para forrajeras herbáceas y leñosas respectivamente (Le Houérou y Hoste, 1977). Se debe tener en cuenta que el forraje consumible por los animales podría alcanzar los 0.5 kg MS ha⁻¹ por mm de lluvia media anual. (Tacchini y col., 2014).

En cualquier región fitogeográfica, es estratégico poder mantener la ganadería extensiva ligada a la tierra ya que ayuda a mantener nuestro entorno rural y la biodiversidad, entre otros beneficios. Una alternativa para mejorar la eficiencia y competitividad de estos sistemas de producción es la implementación de técnicas de manejo adecuadas siendo clave determinar una correcta presión de pastoreo. Para ello el balance forrajero es clave consistiendo en la comparación entre la oferta y la demanda de forraje en un establecimiento ganadero para un período de tiempo determinado. La oferta de forraje se expresa a través de la disponibilidad de recursos forrajeros: pasturas, reservas, suplementos. La demanda de forraje se expresa a través de los requerimientos nutritivos del rodeo, que pueden ser de mantenimiento y/o producción. Las decisiones diarias o semanales en un establecimiento ganadero (por ej. ajustes en la alimentación) se basan en información real, pero la oferta de forraje no puede ser modificada. Conocer la composición botánica de la ingesta de los animales herbívoros, tanto silvestres como domésticos, ayuda a identificar estrategias de conservación y manejo de las poblaciones animales, y contribuye a minimizar el impacto del pastoreo sobre la vegetación (Kamler y col., 2003; Pelliza de Sbriller y col., 1997). En este sentido, los estudios de ingesta son fundamentales para identificar qué especies componen el forraje consumido por el ganado (Holechek y col., 1982) y es una información útil para formular los programas de suplementación en casos de deficiencias nutricionales (con previo conocimiento del aporte nutricional de cada especie según su estado fenológico); además puede ser una herramienta eficaz para la identificación y cuantificación de especies tóxicas ingeridas por el ganado (Yagueddú y col., 1998, Cid y col., 2003). Las decisiones de manejo del pastoreo comienzan con la determinación de los nutrientes y cantidad de materia seca (MS) del forraje, sirviendo de insumo para las estimaciones de consumo de materia seca (CMS) y digestibilidad, ambos parámetros nos permiten alcanzar un correcto balance forrajero y adecuarlo a las categorías por su calidad en función a sus requerimientos. Como sabemos la oferta forrajera no es estática por lo cual las determinaciones periódicas serían complejas a través del análisis de química húmeda, además de costosas y requiere mucho tiempo, mientras que la espectroscopia de infrarrojo cercano (Near infrared spectroscopy, NIRS) puede proporcionar predicciones rápidas y precisas de la composición de nutrientes y estimaciones de la ingesta y la digestibilidad, permitiendo planificaciones y ajustes del balance para la optimización del sistema. La tecnología NIRS se basa en la absorción de la luz (IR) por los enlaces químicos de las muestras. Aunque el poder predictivo del NIRS se refiere básicamente a los componentes químicos de las muestras, los espectros pueden relacionarse con parámetros más complejos según las relaciones que puedan existir entre estos parámetros y las propiedades químicas de las muestras. Sin embargo, la necesidad de desarrollar grandes bases de datos de referencia que requieren una actualización frecuente para mantener calibraciones sólidas que tengan en cuenta la variación en la composición del forraje en diversas condiciones de crecimiento, limitan la

aplicación práctica de NIRS. Otra herramienta tecnológica de bajo costo y fácil accesibilidad para uso en los sistemas de producción ganaderos son las tecnologías de información geográfica (SIG). En este sentido las SIG desempeñan un papel crucial al proporcionar herramientas para el análisis espacial y la toma de decisiones en diversos sectores, incluida la ganadería. Entre los SIG disponibles, QGIS (Quantum GIS) se ha convertido en una opción popular y de código abierto para el análisis y la visualización de datos geoespaciales. A través de imágenes satelitales, podemos determinar zonas homogéneas en los establecimientos, que resulta esencial para optimizar la gestión agrícola y ganadera, permitiendo una asignación eficiente de recursos y una toma de decisiones más precisa. El uso de imágenes satelitales junto con herramientas de SIG (Sistemas de Información Geográfica) como QGIS ofrece una metodología eficaz y precisa para lograr este objetivo. La combinación de imágenes satelitales y QGIS proporciona una metodología robusta para determinar zonas homogéneas en un campo ganadero. La información obtenida facilita la toma de decisiones informada y la gestión eficiente de recursos, contribuyendo a la optimización de las operaciones ganaderas. Para mejorar la precisión del análisis, se recomienda la validación de resultados con datos de campo y la utilización de imágenes de alta resolución en áreas críticas. Además, es importante actualizar periódicamente el análisis para tener en cuenta cambios estacionales y eventos climáticos significativos. Una de las principales ventajas de utilizar QGIS en la ganadería es su capacidad para integrar y analizar datos geoespaciales relacionados con el manejo del ganado. Esto incluye información sobre pastizales, fuentes de agua, infraestructuras y otros elementos que afectan directamente a la salud y productividad de los animales. Una de las principales aplicaciones de QGIS en la ganadería es el análisis del pastoreo y la gestión de pastizales. Utilizando datos de teledetección y sistemas de información geográfica, QGIS permite evaluar la calidad de los pastizales, determinar la carga animal óptima y analizar patrones de pastoreo para mejorar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas de ganadería extensiva (Castaño-Díaz y col., 2017). Estas ayudan a maximizar la eficiencia productiva, minimizar los costos y reducir el impacto ambiental negativo (Martínez-Guijosa y col., 2019).

Otra aplicación importante de QGIS en la ganadería es el análisis de la distribución espacial de los recursos y la planificación de la ubicación de instalaciones ganaderas. Al utilizar datos de SIG para evaluar la disponibilidad de agua, la calidad del suelo y otros factores ambientales, QGIS puede ayudar a tomar decisiones informadas sobre la ubicación de diferentes infraestructuras (Vázquez-Prada y col., 2018).

En este contexto, y coincidiendo que la ganadería es una actividad fundamental en la producción de alimentos a nivel mundial, y su gestión eficiente y sostenible es de vital importancia, el presente análisis propone evaluar el estado actual de las pasturas, las instalaciones y las aguadas en un campo

de cría bovina en General Alvear, identificando fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas que puedan impactar en la productividad y la sustentabilidad del sistema ganadero. A partir de esta evaluación, se buscarán recomendaciones y estrategias de manejo que permitan optimizar el uso de los recursos disponibles y potenciar el desempeño del establecimiento ganadero. El objetivo general es desarrollar propuestas integrales para optimizar la eficiencia de los sistemas de cría en la Provincia Fitogeográfica del Monte mediante la implementación de pasturas mejoradas, el diseño de un balance forrajero, la evaluación de la calidad nutricional del forraje y el manejo sostenible de las aguadas, promoviendo la sostenibilidad del sistema mediante recursos limitados.

En el marco de este estudio de caso se realizó una evaluación integral del sistema ganadero del establecimiento “El Clarín” (General Alvear, Mendoza), orientada a identificar limitaciones en la oferta forrajera, el manejo del pastoreo y la disponibilidad de recursos críticos. Los resultados se presentan organizados según los objetivos específicos y se interpretan a la luz de la hipótesis planteada. En todo el manuscrito se emplea el equivalente vaca (EV) como unidad estándar para expresar carga y receptividad. Se define como una vaca de 420 kg con un consumo de referencia de 10 kg MS día⁻¹, equivalente a 3.650 kg MS año⁻¹.

Por último, el presente Trabajo Final de Máster se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la agenda 2030, fundamentalmente con el ODS 2. Hambre cero, 8. Trabajo decente y crecimiento económico, 12. Producción y consumo responsables, 13. Acción por el clima y 15. Vida de ecosistemas terrestres.

HIPÓTESIS

La implementación de estrategias de desarrollo a través de la adopción de tecnologías sostenibles permitirá la evaluación cuali y cuantitativa estacional de la oferta forrajera del campo, detectando falencias de aportes nutritivos y a través de su corrección aumentar considerablemente el rendimiento de los sistemas productivos.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia productiva de un sistema de cría en un establecimiento modal (El Clarín) de la zona semiárida de la Provincia Fitogeográfica del Monte, mediante la implementación de pasturas, el diseño de un balance forrajero estratégico, la evaluación de la calidad nutricional del forraje y el manejo eficiente de las aguadas y potreros, promoviendo la sostenibilidad productiva y ambiental.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.- Determinar zonas homogéneas mediante imágenes satelitales.
- 2.- Realizar el balance forrajero por estación, de la situación actual.
- 3.- Desarrollar calibraciones de espectroscopia de infrarrojo cercano para la predicción de digestibilidad estacional.
- 4.- Planificar un cronograma de pastoreo mejorador. Proponer en consecuencia posibles correcciones nutritivas, probablemente necesidades de suplementación con nitrógeno no proteico.
- 5.- Analizar la distribución de aguadas y definir un plan de mejora en la distribución de estas, mediante análisis de imágenes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Establecimiento ganadero

Para la realización de este estudio, primero se seleccionó un modelo productivo ganadero que describiera una cantidad representativa de productores, con una participación importante dentro del stock ganadero nacional, y que geográficamente corresponda a zonas homogéneas de la zona semiárida del Monte. Se incluyeron muestreos a campo de forrajimasa y suelo, resultados de entrevistas a los integrantes de la unidad productiva, información de manejo animal e infraestructura. Posteriormente el trabajo en laboratorio para análisis químicos de forrajes, terminando en gabinete para la analítica de datos.

El establecimiento donde se realizó el estudio está ubicado sobre la Ruta 188 (km 716), Paraje La Mora, General Alvear, Mendoza ($35^{\circ}09'29.27''$ S; $66^{\circ}43'34.14''$ O), dentro de la Provincia Fitogeográfica del Monte (Cabrera, 1976). A diferencia del patrón regional de grandes potreros con pastoreo continuo, el establecimiento presenta una subdivisión interna en múltiples potreros y una red de aguadas distribuida, lo que posibilita la planificación de rotaciones y descansos. Esta configuración no es la más habitual en los sistemas de cría extensivos del Monte y condiciona positivamente la capacidad operativa para implementar las propuestas de manejo. En la Figura 2 se muestran la ubicación y dimensiones del establecimiento.

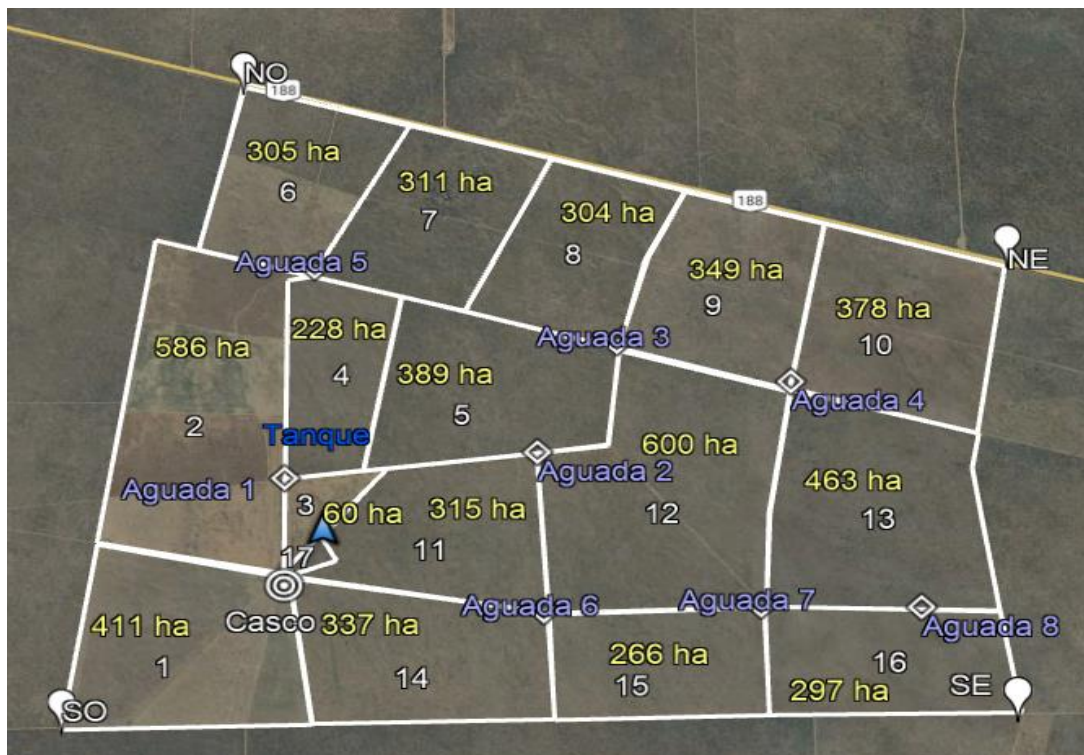


Figura 2. Croquis del establecimiento EL CLARÍN

Los suelos son arenosos (proclives a sufrir erosión hídrica y eólica) invadidos por paja amarga (*Elionurus muticus*), carente de valor forrajero (Fig. 3).



Figura 3. Vegetación del establecimiento

El campo posee 5599 hectáreas de monte, donde predomina el algarrobo (*Neltuma sp.*) y la jarilla (*Larrea divaricata* o *Larrea cuneifolia*, acompañada por *Larrea nitida*). En el pastizal natural, como se muestra en la figura 3, abundan especies estivales como tupe (*Panicum urvilleanum*), pasto de hoja (*Trichloris crinita*), plumerito (*Pappophorum caespitosum*), flechilla fina (*Nasella tenuis*) y flechilla crespada (*Aristida mendocina*). Antes del inicio de este estudio (previo a 2017), el establecimiento estaba conformado íntegramente por pastizal natural, con una oferta media aproximada de 200–250 kg MS ha⁻¹ y una receptividad total estimada en 279 EV (equivalente a 20 ha EV⁻¹). Esta estimación corresponde al diagnóstico de base del productor/ensayos locales y se usa como línea de referencia para comparar cambios posteriores. En este establecimiento, la no división en lotes y mala distribución de las aguadas, por encontrarse a distancia superiores a 2500 m, según Bavera (2011), trajo como consecuencia sobre y sub pastoreo, afectando el volumen y calidad de forraje ofrecido, determinando una baja eficiencia productiva animal en el establecimiento. Esta situación favoreció también la proliferación de especies

arbustivas, como olivillo (*Hyalis argentea*) y romerillo (*Baccharis coridifolia*). Las especies deseables representan menos del 6% de la materia seca disponible (Viñolo A., comunicación personal, 2010). Esta condición de degradación está estabilizada y no admite retroceso si no es con una tecnología de alto impacto, como la eliminación mecánica o química y la siembra de especies forrajeras. En el año de inicio de estudio se había realizado la implantación de pasto llorón (*Eragrostis curvula*) como alternativa forrajera (Fig. 4).



Figura 4. *E. curvula* “pasto llorón” con aro de muestreo utilizado para estimar biomasa por puntos aleatorios dentro de cada zona homogénea

El rodeo del establecimiento corresponde a la raza Aberdeen Angus (Fig. 5) y, durante el período de estudio 2017–2020, estuvo integrado por 1.130 animales (750 vacas, 40 toros y 340 vaquillonas de reposición), con un destete promedio del 80 %. La carga informada por el productor fue de 10 ha EV⁻¹ (EV: equivalente vaca). El manejo se apoya en el pastizal natural, al menos durante cinco meses por año, complementado con suplementación estratégica que, a lo largo del tiempo, evolucionó desde sales minerales con urea (~40 g vaca⁻¹ día⁻¹) hacia proteína verdadera de soja (~500 g vaca⁻¹ día⁻¹) con núcleo vitamínico-mineral y aporte energético. En cuanto al uso del forraje, entre enero y febrero se

reconcentran los rodeos que pudieron subdividirse durante la parición, tras lo cual rotan por los lotes asignados procurando hasta dos ingresos estivales a los campos de pasto llorón; la selección de lotes respondió a la observación previa y a la historia de uso de cada unidad. Cabe señalar que la subdivisión interna y red de aguadas del establecimiento, poco frecuentes en sistemas extensivos del Monte, facilitan la implementación de rotaciones y descansos, lo que debe considerarse al extrapolar las propuestas de manejo.



Figura 5. Rodeo del establecimiento

Determinación de zonas homogéneas

Se identificaron las fuentes de agua (naturales y artificiales) utilizables por el ganado y se integraron datos geoespaciales relevantes (imágenes satelitales, cartografía topográfica e hidrográfica) en un entorno SIG, asegurando formatos compatibles y geo-referenciación correcta. Sobre esta base se abordó la caracterización espacial del establecimiento mediante análisis de imágenes satelitales para identificar zonas homogéneas según su comportamiento productivo.

A partir de las imágenes se calcularon índices de vegetación, en particular el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index/índice de vegetación de diferencia normalizada), empleado como indicador de cobertura y vigor de la vegetación. Con las series seleccionadas para primavera avanzada y otoño avanzado se analizaron patrones y variaciones espaciales y se agruparon áreas con características similares, obteniendo clases de productividad relativa (zonas homogéneas). La clasificación se validó a campo mediante recorridos y puntos de verificación georreferenciados, constatando composición y estructura de la vegetación en cada zona; adicionalmente se contrastó con imágenes de mayor resolución. Cuando correspondió, se realizaron ajustes de límites para mejorar la precisión del mapa final.

Finalmente, se cuantificó la extensión de cada zona y se delimitaron áreas de interés operativo, como pasturas de alta densidad o zonas de descanso. La combinación de teledetección (NDVI), verificación a campo y herramientas SIG permitió obtener una zonificación operacional que se utilizó luego para: (1) ponderar la oferta forrajera, (2) integrar la accesibilidad al agua (distancia a aguadas) en el FDDF y (3) planificar el uso de los recursos y la optimización del manejo del territorio (rotaciones, descansos y priorización de potreros).

Balance forrajero

Para la confección del balance forrajero, el muestreo se efectuó en dos momentos seleccionados por su representatividad del ciclo productivo anual: primavera avanzada, que caracteriza la máxima producción forrajera (primavera-verano), y otoño avanzado, que representa la menor oferta del año (otoño-invierno). Esta selección permitió capturar los extremos estacionales relevantes para la planificación del pastoreo. Previamente, se determinaron áreas homogéneas del establecimiento para realizar el relevamiento vegetal e índice verde mensual de cada lote. En cada época se muestrearon los dos lotes en los que se encontraban los animales. El muestreo se estratificó por distancia a la aguada (0–1.000 y 1.001–2.000 m) y, cuando correspondía, por zona homogénea (Z1–Z3). En cada estrato se tendió una transecta radial de 20 m (ubicación aleatoria dentro del estrato), sobre la cual se efectuaron 20 lecturas

a intervalos de 1 m mediante el método de Daubenmire para cobertura (clases convertidas a puntos medios; Daubenmire, 1959). En los mismos puntos se estimó densidad y frecuencia por el método de cuadrantes (0.25 m²) (Mueller-Dombois y Ellenberg, 1974; Bonham, 2013). En total, por lote × época × estrato se registraron 20 lecturas de cobertura y 20 cuadrantes de densidad/frecuencia. El NDVI mensual por lote se utilizó como insumo para la delimitación de estratos y para interpretar la estacionalidad de la oferta. También se geoposicionó la zona de muestreo, especie presente y diámetro de corona, para seguimientos futuros.

Para evitar pseudorreplicación, las lecturas a 1 m se agregaron al nivel “transecta-estrato” (unidad experimental). Se compararon estación (primavera/otoño) y distancia (0–1.000; 1.001–2.000 m), con lote como efecto aleatorio cuando fue posible. Las coberturas se analizaron con modelos lineales (o GLMM beta) sobre promedios por transecta-estrato; densidad con GLMM Poisson/nb según dispersión. Dada la n baja (una transecta por estrato), los contrastes se reportan de manera descriptiva (media ± DE) e intervalos de confianza por bootstrap; cuando no se cumplieron supuestos o la n impidió inferencia, los resultados se presentan como tendencias sin pruebas formales.

Factores externos como el clima provoca impactos en la distribución de la oferta y calidad forrajera de cada estación. En base a esto no es correcto considerar la optimización productiva de un campo solamente por su rendimiento total del forraje, sino que además es necesario considerar su distribución y variabilidad estacional vegetativa y la eficiencia de uso del mismo por el animal. Por ello es que se propone como referencia la determinación de la digestibilidad estacional por NIRS. Para esto se determinaron los análisis de digestibilidad in vitro de la materia seca de muestras de pasto llorón en un rango de tiempo suficiente para cubrir los cambios de fenología de la especie megatérmica. Se recolectaron muestras (60), mediante muestreo representativo, en diferentes épocas del año para capturar las variaciones inherentes al ambiente y de diferentes partes de la planta para representar las variaciones en digestibilidad.

Para la preparación de las muestras se ajustó al protocolo del Laboratorio de Análisis de Alimentos para Rumiantes (LAAR) situado en la EEA-INTA San Luis donde se realizó una pasantía “Entrenamiento en distintas técnicas de laboratorio sobre calidad del forraje a aplicar en el manejo de campo”. Cada muestra se secó en una estufa con circulación de aire forzado a 60°C hasta peso constante. Las muestras secas fueron molidas a 2 mm con molino de cuchillas. Para obtener los datos de referencia se determinó MS Materia Seca (estufa 105°C), PB. Proteína Bruta (Kjeldhal; AOAC 1995) expresada en base seca (bs), FDN Fibra Detergente Neutra, FDA Fibra Detergente Ácida (Van Soest) y cenizas (CEN); 600°C por 2

h.; AOAC 1990). Se determinó digestibilidad in vitro verdadera de la materia seca (DIVMS) por el método de Daisy Ankom, que consiste en una incubación de 48 h. con licor ruminal (Fig.6) y posterior fermentación de residuos eliminando lo correspondiente a heces metabólicas (Fig. 7). Paralelamente se recogió el espectro de absorción de radiación visible e infrarroja cercana de cada muestra por duplicado con un equipo FOSS DS 2500, modo reflectancia, rango de 400 a 2500 nm (Fig. 8).



Figura 6. Incubador de Daisy II ANKOM



Figura 7. Digestor de fibra ANKOM A200

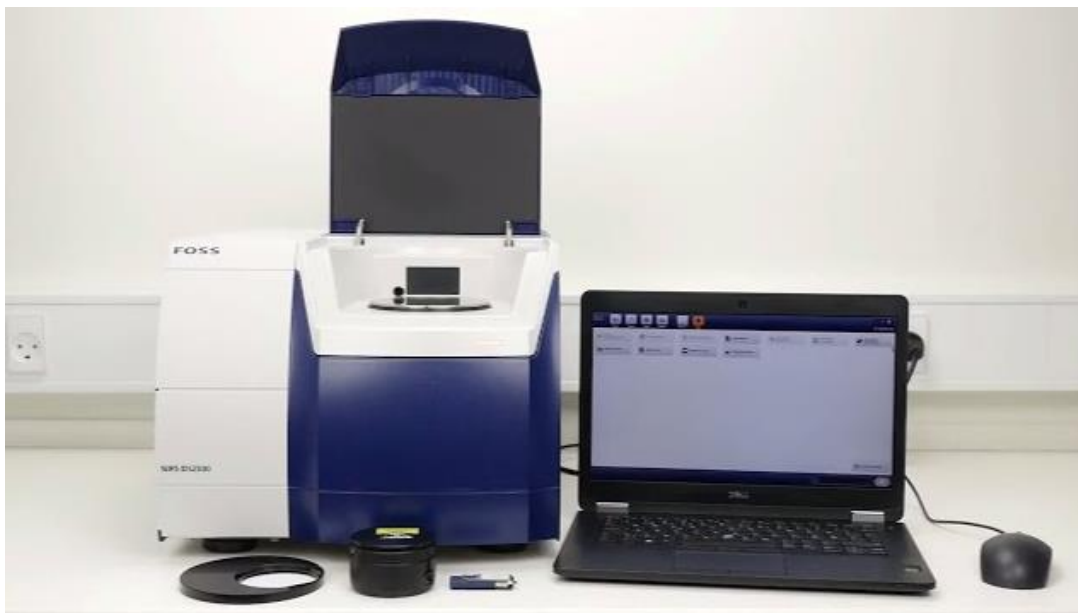


Figura 8. Equipo FOSS DS 2500

Análisis NIR y desarrollo de calibraciones (DS2500-WinISI)

Los espectros se obtuvieron con un FOSS NIRSystem DS2500 (Fig. 8), en reflectancia difusa y rango 850–2500 nm (paso 2 nm), adecuado para material vegetal seco y molido. Cada muestra se midió a 25 °C, con 3 lecturas promediadas ($\log 1/R$). Para preprocesamiento se aplicó SNV (Standard Normal Variate) para reducir efectos de tamaño de partícula y compactación (Barnes y col., 1989) y el tratamiento 1,8,8,1 (primera derivada, gap 8; suavizados 8 y 1 puntos) para atenuar deriva y ruido de alta frecuencia (Foskolos y col., 2015). Las calibraciones se desarrollaron en WinISI mediante MPLS/PLS; la validación interna se realizó por validación cruzada ($k = 4$), permitiendo hasta 2 etapas de eliminación de atípicos (criterio $t > 2,5$ sobre residuos estandarizados). El desempeño se reporta como R^2 , SEP y RPD.

Distribución de aguadas

Para el análisis de la distribución de las aguadas se realizaron recorridos al establecimiento, estableciendo los puntos en los que efectivamente existen aguadas, buscando cotejar con imágenes satelitales y proponer un plan de mejoras con una distribución y cantidad de aguadas acorde a la cantidad de animales y lotes indicados para el establecimiento, según criterios técnicos.

El diseño utilizado fue seccional, es decir, no se manipularon variables para ver su efecto en un fenómeno

determinado. Se realizó una observación de las variables en análisis para un tiempo y espacio específico, tal como se dan en su contexto. Se indagó la incidencia de variables específicas sobre una población (aguadas construidas sin agua), siendo la unidad de análisis la aguada y su área de captación. El alcance del estudio es de carácter descriptivo, a partir de la descripción de las características de las aguadas y su área de captación se clasificaron en tipos de aguadas existentes (Hernández Sanpieri, 2010).

La cuantificación de la oferta utilizable y de los días de uso por potrero se basó en ecuaciones explícitas. Primero se estimó la oferta ponderada por zonas (Z1–Z3) y luego se ajustó por un factor de disminución de disponibilidad forrajera (FDDF) que integra la distancia máxima a la aguada (DMA) y el escenario estacional–fisiológico. Finalmente, los días de uso se obtuvieron dividiendo la oferta utilizable por la demanda diaria del rodeo.

(1) Oferta ponderada por potrero

$$\text{Oferta_pond}_p = \sum_{i \in \{Z1, Z2, Z3\}} \left(\frac{\text{Sup}_{p,i}}{\text{Sup}_p} \right) \cdot \text{Prod}_i \quad [\text{kg MS ha}^{-1}]$$

Sup_{p,i}: superficie del potrero *p* en la zona *i* (ha); **Sup_p** : superficie total (ha); **Prod_i**: productividad media de la zona *i* por estación representativa (kg MS ha⁻¹).

(2) Factor de disminución de disponibilidad forrajera (FDDF)

$$\text{FDDF}_{p,e} = f_{\text{dist}}(\text{DMA}) \cdot f_{\text{esc}}(e) \quad [-]$$

DMA: distancia máxima a la aguada (m) en el potrero; *e*: escenario estacional–fisiológico (definido abajo).

(3) Componente por distancia al agua (ajuste cuadrático en función de DMA)

FDDF 1 – Invierno (mínima calidad) / peri-parto

$$f_{\text{dist}}(\text{DMA}) = 0,00000001 \text{DMA}^2 - 0,0011 \text{DMA} + 2,6143 \quad (R^2 = 0,993)$$

FDDF 2 – Otoño (calidad media) / vaca seca-preñez chica

$$f_{\text{dist}}(\text{DMA}) = 0,00000001 \text{DMA}^2 - 0,0011 \text{DMA} + 2,9514 \quad (R^2 = 0,9887)$$

FDDF 3 – Primavera–verano (alta calidad) / lactación

$$f_{\text{dist}}(\text{DMA}) = 0,0000009 \text{ DMA}^2 - 0,001 \text{ DMA} + 3,0237 \quad (R^2 = 0,9537)$$

Rango de aplicación de **DMA**: **0–2.500 m**. f_{dist} es adimensional; si el resultado se sale de [0;1], truncar en ese intervalo para evitar extrapolaciones.

(4) Componente por escenario estacional–fisiológico

En esta planilla, el efecto del escenario $f_{\text{esc}}(e)$ se operacionaliza eligiendo la ecuación correspondiente del bloque (3):

- f_{esc} (invierno-peri-parto) → Ec. (3a)
- f_{esc} (otoño-media) → Ec. (3b)
- f_{esc} (primavera-verano-lactación) → Ec. (3c)

(5) Oferta utilizable

$$\text{Oferta_util}_{p,e} = \text{Oferta_pond}_p \cdot \text{FDDF}_{p,e} \quad [\text{kg MS ha}^{-1}]$$

(6) Demanda diaria del rodeo

$$\text{Demanda_diaria}_{p,e} = \sum_{c \in \{\text{VTP}, \text{R1}, \text{R2}\}} N_{p,c} \cdot (\%PV_{c,e}) \cdot PV_c \quad [\text{kg MS d}^{-1}]$$

$N_{p,c}$: número de animales por categoría; $\%PV_{c,e}$: consumo (fracción del PV día⁻¹); PV_c : peso vivo (kg).

(7) Días de uso por potrero

$$\text{Días_uso}_{p,e} = \frac{\text{Oferta_util}_{p,e} \cdot \text{Sup}_p \cdot \text{coef_seg}}{\text{Demanda_diaria}_{p,e}} \quad [\text{días}]$$

Sup_p (ha); coef_seg (–) si se aplica un margen de seguridad.

La accesibilidad al agua se evaluó en tres cortes temporales con el mismo protocolo: Etapa 1 (situación previa a 2017), Etapa 2 (2017–2018) y Etapa 3 (estado actual). Para cada etapa se: (1) inventariaron puntos de aguada (naturales y artificiales) validados en recorridas; (2) georreferenciaron y normalizaron los insumos en un entorno SIG; (3) generó un mapa de distancias al aguada y umbrales operativos de 2,2 km y 2,5 km para cartografía de accesibilidad; (4) cuantificaron las superficies pastoreables dentro

y fuera de esos umbrales (excluyendo caminos, casco y áreas operativas) y su distribución por zona homogénea (Z1–Z3); y (5) derivó para cada potrero su DMA (distancia máxima a aguada) usada en el cálculo continuo del FDDF (ver Ecs. (3a–3c), rango 0–2.500 m), así como los días de uso por potrero (Ecs. (6–7)). Los mapas etapa-específicos se presentan en Fig. 19 (Etapa 1), Fig. 20 (Etapa 2) y Fig. 21 (Etapa 3), y sus métricas asociadas se reportan en el apartado de Resultados.

La distancia mínima a la aguada (DMA) se calculó para cada celda del raster de trabajo mediante distancia euclidiana a los puntos/objetos de agua vigentes en cada etapa. El raster resultante se enmascaró con la superficie pastoreable (excluyendo caminos, casco y áreas operativas) y se obtuvieron estadísticos zonales por potrero y para el establecimiento completo. La distancia promedio a las aguadas reportada en Resultados corresponde al promedio ponderado por superficie:

$$\overline{\text{DMA}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{DMA}_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

donde DMA_i es la distancia de la celda i a la aguada más cercana y A_i su área. Adicionalmente, se estimó $\text{DMA}_{>2,5 \text{ km}}$ sobre el subconjunto con $\text{DMA} > 2.500 \text{ m}$ para caracterizar zonas críticas. Estos valores se integran al FDDF (Ecs. 3a–3c) y, por ende, al cálculo de días de uso (Ecs. 6–7).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de zonas homogéneas

Dado el contexto de la región fitogeográfica del monte en Mendoza, la imagen satelital (Fig. 9) muestra un área con manejo de rodeo de cría bovina donde los desafíos son evidentes:



Figura 9. Mapa satelital establecimiento El Clarín. 1. Áreas con pasto llorón – 2. Pastizales naturales – 3. Zonas degradadas o invadidas

Cobertura Vegetal y Forrajera

-Áreas con Pasto Llorón (Fig. 9 -1-): las zonas más homogéneas y con tonalidades intermedias en la imagen corresponden a las áreas donde el *Eragrostis curvula* (como pastura implantada) está bien establecido. Esto indica una cobertura vegetal moderada a buena, con potencial forrajero estable para el rodeo de cría bovina. El pasto llorón es clave en esta región debido a su adaptabilidad a suelos pobres y climas áridos, proporcionando una base forrajera confiable.

-Pastizales naturales y valor forrajero medio (Fig. 9 -2-): las zonas más oscuras y fragmentadas representan parches de pastizales naturales dominados por gramíneas como *Panicum urvilleanum* (Tupe)

y *Leptochloa crinita* (Pasto de hoja). Aunque de valor forrajero moderado, su integración en el sistema depende de mantener un equilibrio entre pastoreo y conservación.

-Zonas degradadas o invadidas (Fig. 9 -2-): las áreas más claras y heterogéneas reflejan espacios donde la implantación del pasto llorón ha sido menos exitosa o donde está siendo desplazado por especies invasoras, como *Hyalis argentea* (olivillo) o *Baccharis coridifolia* (romerillo). Además, las tonalidades claras indican suelos desnudos o áreas dominadas por especies como *Elionurus muticus* (paja amarga), con bajo valor nutricional. Estas áreas pueden requerir un manejo más intensivo para reimplantar el pasto llorón o combinarlo con otras especies de valor forrajero. La presencia de estas especies reduce significativamente la disponibilidad de forraje, especialmente en áreas menos manejadas o en aquellas donde el pastoreo excesivo ha reducido la competencia de gramíneas.

El análisis de imágenes satelitales permitió identificar zonas homogéneas en el paisaje, evidenciando diferencias en la cobertura vegetal y el estado del terreno. Esta variabilidad se asocia directamente con las prácticas de manejo aplicadas, como la intensidad del pastoreo, la frecuencia de rolado y la siembra de especies forrajeras mejoradoras. Dichas prácticas generan contrastes visibles en los tonos de las parcelas observadas, facilitando su delimitación y caracterización.

La zonificación por NDVI (Fig. 10) asignó tres zonas de productividad (Z1 alta; Z2 media; Z3 baja) que no coinciden necesariamente con los límites de potrero; solo el potrero 2 quedó atravesado (30 % Z2; 70 % Z3). En Z1 predomina *Eragrostis curvula* (pasto llorón), mientras que en Z2–Z3 aumenta el pastizal natural y especies de menor valor. En la **Tabla 1** se listan los potreros por zona, sus superficies y la producción final esperada (kg MS) calculada como MS zonal (kg ha⁻¹) × índice de uso sostenible y multiplicada por la superficie (ha) de cada potrero.

La zona 1, de alta productividad comprende 3.038 ha, caracterizándose por un predominio de *Eragrostis curvula*, especie de alto valor forrajero y buena adaptabilidad a condiciones semiáridas. La cobertura densa y uniforme indica un manejo adecuado, con prácticas de rolado y siembras eficientes, asegurando una oferta forrajera sostenida para el ganado.

La zona 2, de productividad media con una extensión de 1.728 ha, está conformada por pastizales naturales donde predominan *Panicum urvilleanum* y *Leptochloa crinita*. La vegetación muestra cierta heterogeneidad, sugiriendo un manejo moderado y menor intervención tecnológica, lo que limita parcialmente el potencial productivo.

Finalmente, la zona 3 de baja productividad que abarca 859 ha, presenta suelos desnudos y una

implantación ineficiente de pasturas. El predominio de especies invasoras y la falta de cobertura vegetal adecuada evidencian una limitada gestión de los recursos forrajeros. La escasez de prácticas correctivas ha contribuido a una significativa reducción en la capacidad de carga animal.

La identificación de estas zonas homogéneas proporciona una base sólida para diseñar estrategias de manejo diferencial, permitiendo una asignación más eficiente de los recursos y prácticas específicas que maximicen la producción forrajera y minimicen la degradación del ecosistema.

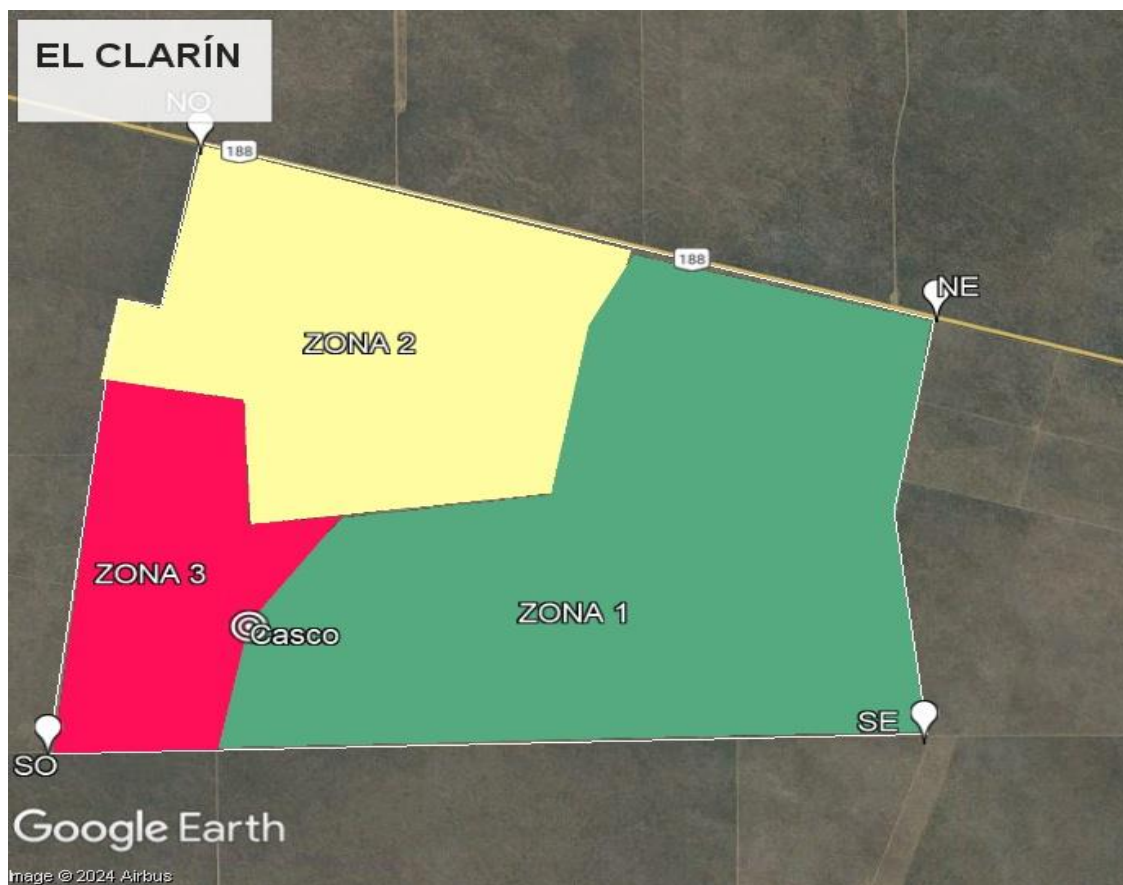


Figura 10. Zonas homogéneas establecimiento El Clarín.

Tabla 1. Zonas, potreros y superficies con producción final utilizable de MS (kg MS) según índice de uso sostenible.

Zona	Potrero	Forraje dominante	Superficie (ha)	Rend. utilizable (kg MS ha ⁻¹)	Producción final (kg MS)
Z1 (alta)	9	P. Llorón	349	1983,6	692300
	10	P. Llorón	378	1983,6	749800
	11	P. Llorón	315	1983,6	624800
	12	P. Llorón	600	1983,6	1190200
	13	P. Llorón	463	1983,6	919400
	14	P. Llorón	337	1983,6	668500
	15	P. Llorón	266	1983,6	527600
	16	P. Llorón	297	1983,6	589100
Subtotal Z1 (por potrero)				3038	6.026.176,8
Z2 (media)	2 (30%)	Mosaico	175,8	632	111100
	4	Mosaico	228	632	144100
	5	Mosaico	389	632	245800
	6	Mosaico	305	632	192800
	7	Mosaico	311	632	196600
	8	Mosaico	304	632	192100
Subtotal Z2 (por potrero)				1728	1.092.293
Z3 (baja)	1	Natural/invasoras	411	36,6	15000
	2 (70%)	Natural/invasoras	410,2	36,6	15000
	3	Natural/invasoras	60	36,6	2200
Subtotal Z3 (por potrero)				881,2	32.252

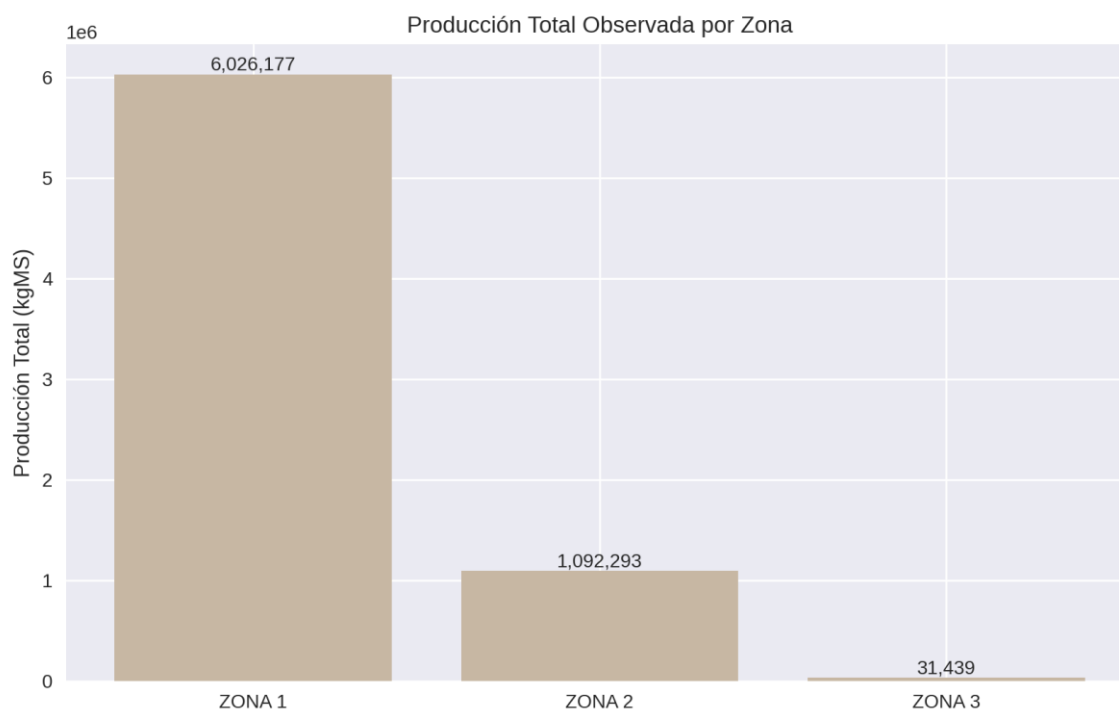


Figura 11. Productividad observada total por zona.

En el gráfico de barras (Fig. 11) se destacan las diferencias en la productividad total observada en las tres zonas (tabla 2), lo que indica una reducción significativa de la productividad en comparación con los valores potenciales. La productividad observada en la Zona 1 es de 6.026.176,8 kgMS, en la Zona 2 es de 1.092.293 kgMS y en la Zona 3 es de 31.439 kgMS. Esta disparidad pone de relieve el impacto de los factores ambientales y las prácticas de gestión en los resultados reales de producción.

Tabla 2. Productividad observada

	Producción (kgMS/ha)	Superficie (ha)	Indice de uso sostenible	Prod. Total (kgMS)
ZONA 1	3306	3038	0,6	6026176,8
ZONA 2	1580	1728	0,4	1092293
ZONA 3	183	859	0,2	31439

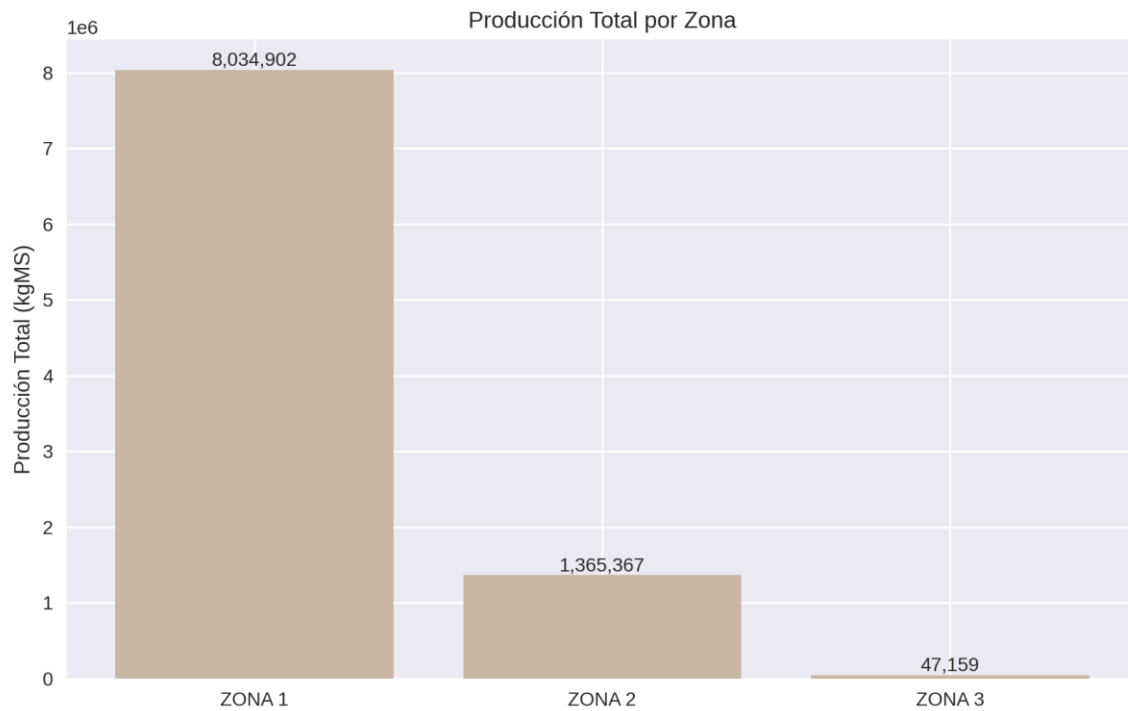


Figura 12. Productividad potencial total por zona.

Esta visualización ilustra claramente las diferencias en la productividad total potencial en las tres zonas (tabla 3), destacando la disparidad significativa en la capacidad de producción, lo cual es crucial para comprender el potencial de gestión del ganado que tendríamos en estas áreas, y el manejo diferencial de categorías y cargas en los mismos. Se introduce un factor de sustentabilidad, con este factor se busca calcular la cantidad de biomasa necesaria para mantener un número de animales sin degradar el potrero.

Tabla 3. Productividad potencial

	Producción (kgMS/ha)	Superficie (ha)	Indice de uso sostenible	Prod. Total (kgMS)
ZONA 1	3306	3038	0,8	8034902,4
ZONA 2	1580	1728	0,5	1365367
ZONA 3	183	859	0,3	47159

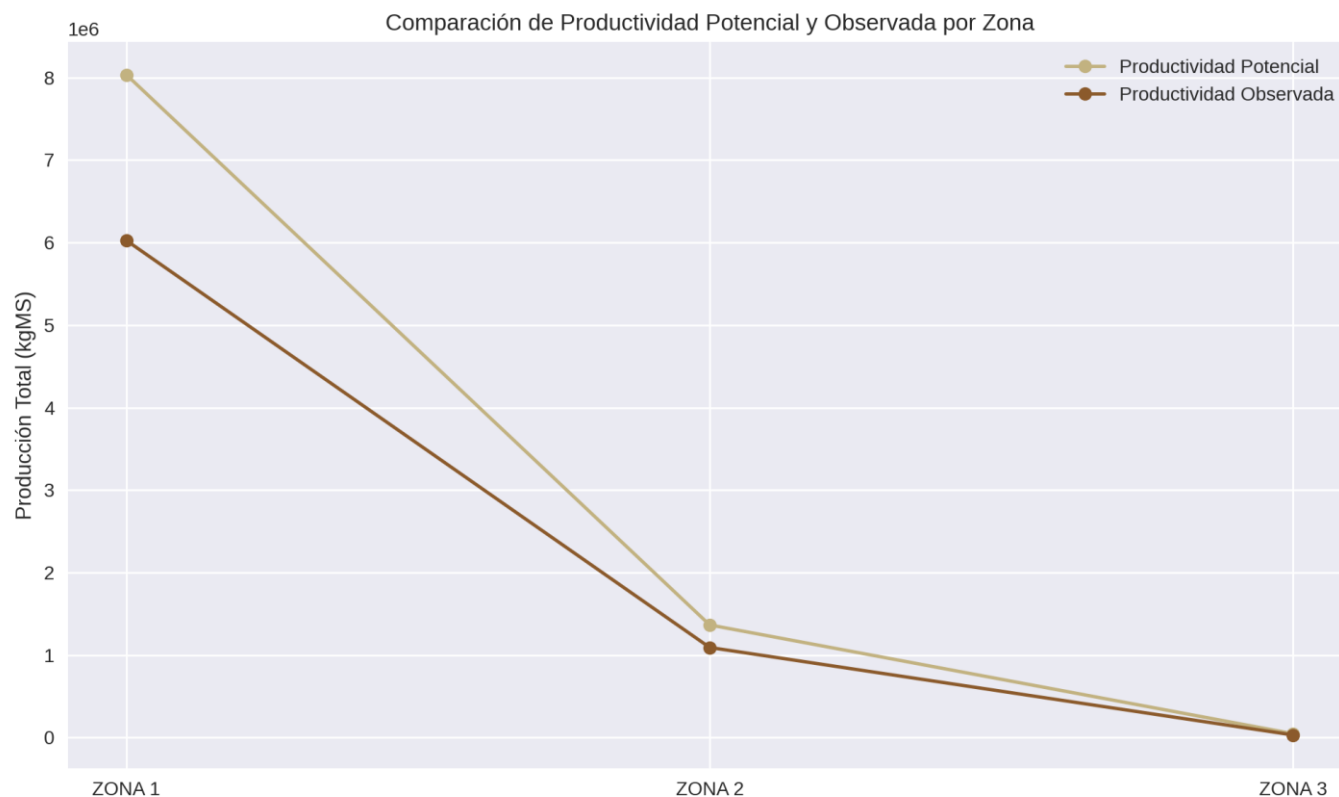


Figura 13. Comparación de productividad potencial y observada por zona (Z1–Z3). *Potencial* = Producción zonal (kg MS ha⁻¹) × Superficie (ha). *Observada* = Potencial × Índice de uso (Z1=0,60; Z2=0,40; Z3=0,20).

Este gráfico de líneas ilustra el marcado contraste entre la productividad potencial y la observada en las tres zonas. Los valores de productividad potencial son significativamente más altos que los valores observados, lo que indica una brecha sustancial que puede atribuirse a diversos factores, como las condiciones ambientales, las prácticas de gestión y la disponibilidad de recursos.

En la Zona 1 (el ambiente de mayor productividad potencial) la productividad observada se redujo en los años secos del período 2017–2020, en concordancia con el régimen de precipitaciones. En términos anuales, 2018–2020 registraron 190–197 mm, es decir, –56 a –58 % respecto de la media local (~450 mm**), mientras que 2017 fue cercano/superior a la media (503,8 mm, +12 %). A escala estacional, la precipitación primaveral (OND) (crítica para la acumulación) mostró déficit en 2018 (89,8 mm, –7,3 % vs. 96,9 mm históricos) y, sobre todo, en 2019 (34,2 mm, –64,7 %), lo que explica la brecha entre el potencial de Z1 y el rendimiento observado en esos ciclos. En 2020, pese a una OND ligeramente superior a la media (102,5 mm, +5,8 %), la sequía anual severa (197,1 mm) probablemente limitó la recuperación; por ello, la persistencia de la brecha sugiere además co-limitación por manejo (descansos/uso estival, accesibilidad al agua) que condicionó la captura de la oferta generada. La Zona

2 y la Zona 3 también reflejan esta tendencia, ya que la productividad observada no alcanza el potencial, lo que pone de relieve la necesidad de intervenciones específicas para optimizar la producción en estas áreas.

Tabla 4. Precipitación anual y primaveral (OND) y anomalías respecto de la media histórica. Media histórica OND: 96,9 mm (27,9+31,1+37,9). Media anual de sitio: 450 mm.

Año (mm)	OND (mm)	Anomalía OND (%)	Anual (mm)	Anual vs. 450 mm (%)
2017	106,5	+9,9	503,8	+12
2018	89,8	-7,3	190	-57,8
2019	34,2	-64,7	193,9	-56,9
2020	102,5	+5,8	197,1	-56,2

OND = octubre–noviembre–diciembre. Anomalía (%) = (valor–media)/media × 100.

La heterogeneidad observada es típica de sistemas en regiones áridas y semiáridas, donde las limitaciones edáficas y la disponibilidad de agua son determinantes para la productividad (FAO, 2015). El manejo diferenciado según estas zonas puede maximizar la eficiencia del uso de recursos y minimizar la degradación de áreas más frágiles (Holechek y col., 2011).

Medición de forraje

Del análisis obtenido por Daubenmire y método de Cuadrantes (Fig. 14) se observaron gramíneas como *Panicum urvilleanum* (tupe), *Leptochloa crinita* (pasto de hoja), *Pappophorum caespitosum* (plumerito), *Nasella tenuis* (flechilla fina), *Thelesperma megapotamicum* (te pampa) y *Aristida mendocina* (flechilla crespa). Estas especies aportan valor forrajero moderado, pero su distribución es limitada debido a la invasión de arbustos como *Hyalis argentea* (olivillo) y *Baccharis coridifolia* (romerillo), así como a la presencia de *Elionurus muticus* (paja amarga), de escaso valor nutricional (Fig. 15). Estas limitaciones exigen prácticas de manejo intensivo, como rolado o siembra de especies mejoradas.



Figura 14. Toma de muestras para análisis.



Figura 15: Situación inicial potrero degradado

La introducción de *Eragrostis curvula* (pasto llorón) ha transformado áreas degradadas en pastizales funcionales. Esta pastura megatérmica soporta condiciones adversas y ofrece altos rendimientos como muestra la tabla 5. Se prioriza un manejo rotacional estratégico, permitiendo dos ingresos al verano por lote, para evitar el sobrepastoreo y mantener la productividad. Su capacidad para mejorar la receptividad demuestra su valor como una herramienta central en el desarrollo sustentable del establecimiento.

Tabla 5. Datos relevados en muestreo a campo para estimación de producción.

Especie	C (%)	DC (cm)	A (cm)	PF (g)	PS (g)	kgMS/ha	%MS
Pasto Llorón	90	10	70	278	234	4680	84
Pasto Llorón	70	13	65	209	165	3300	79
Aristida mendocina	70	9	45	89	71	1420	80
Pasto Llorón	40	12	55	190	149	2980	78
Pasto Llorón	80	10	90	124	101	2020	81
Aristida Mendocina	80	13	30	216	145	2900	67
Té Pampa	80	22	40	55	34	680	62
Tupe	30	20	43	199	156	465	78
Pasto Llorón	80	24	70	486	376	7520	77
Tupe	50	30	55	233	196	280	84
Pasto Llorón	60	13	70	487	400	8000	82
Aristida Mendocina	60	17	35	17	14	280	82
Pasto Llorón	80	18	85	363	299	5980	82
Pasto Llorón	30	17	75	134	109	2180	81
Pasto Llorón	80	18	60	235	186	3720	79
Pasto Llorón	20	17	75	344	261	5220	76
Pasto Llorón	30	17	55	153	127	2540	83
Pasto Llorón	30	16	65	251	210	4200	84
Tupe	40	26	46	98	75	129	76
Pasto Llorón	10	21	65	378	292	5840	77
Tupe	60	43	67	178	116	62	65
Pasto Llorón	20	20	45	134	119	2380	89
Pasto Llorón	50	25	40	209	166	3320	79
Pasto Llorón	20	20	45	134	119	2380	89
Tupe	30	39	51	133	93	65	70
Pasto Llorón	10	23	35	121	94	1880	78
Pasto Llorón	40	20	35	308	219	4380	71
Pasto Llorón	50	24	20	160	126	2520	79

*Continuación Tabla 5.

Especie	C (%)	DC (cm)	A (cm)	PF (g)	PS (g)	kgMS/ha	%MS
Pasto Llorón	30	35	35	127	95	1900	75
Té Pampa	40	30	50	75	51	59	68
Té Pampa	55	19	35	60	44	136	73
Pasto Llorón	75	20	56	250	198	598	79
Pasto Llorón	45	18	57	396	316	1178	79
Aristida mendocina	65	11	40	168	115	988	68
Tupe	40	48	63	350	311	184	89
Tupe	50	31	54	159	99	98	62
Pasto Llorón	80	13	87	400	329	2240	82
Pasto Llorón	50	20	62	538	492	1711	91
Pasto Llorón	70	19	63	660	615	2422	93
Pasto Llorón	85	25	71	432	388	854	90

C: % de cobertura – **DC:** diámetro de corona – **A:** altura – **PF:** peso fresco – **PS:** peso seco – **KgMS/ha:** productividad –

%MS: % de materia seca

La tabla 6 muestra la producción promedio en kg MS/ha de las especies presentes en el muestreo a campo. Como lo muestra la figura 16 el pasto llorón presentó la mayor producción promedio con 3306 ± 100 kg MS/ha, evidenciando su alta adaptabilidad y potencial forrajero en las condiciones edáficas y climáticas del establecimiento, sumado que es una implantación nueva y el manejo con los animales se realizan en función a su fenología. Le sigue *Aristida mendocina*, con una producción de 1397 ± 300 kg MS/ha, indicando una contribución moderada al volumen total de forraje disponible. En contraste, el té pampa (*Thelesperma megapotamicum*) y el tupe (*Panicum urvilleanum*) registraron producciones significativamente menores, con 292 ± 100 kg MS/ha y 183 ± 80 kg MS/ha, respectivamente. Estos resultados destacan la importancia del pasto llorón como especie clave en la oferta forrajera y subrayan la necesidad de prácticas de manejo que favorezcan su persistencia y producción sostenida

Tabla 6. Producción promedio por especie.

Especie	kgMS/ha
Pasto llorón	3306
Aristida mendocina	1397
Té Pampa	292
Tupe	183

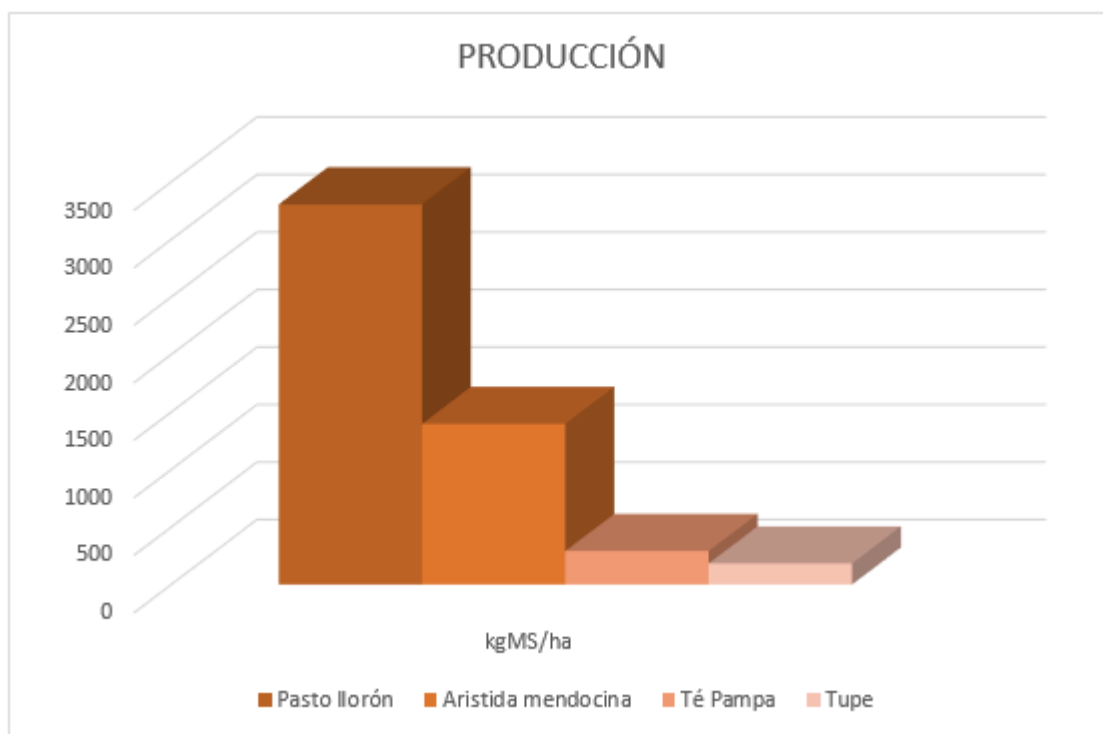


Figura 16. Producción promedio por especie.

Los datos sobre las disponibilidades de materia seca (MS) y receptividad del establecimiento se han correlacionados con los requerimientos animales. Para llevar a cabo el seguimiento y evaluación de la eficiencia reproductiva del rodeo se tuvieron en cuenta factores tales como: destete, porcentaje de preñez, estado corporal de los animales que componen el rodeo y se realizó un balance del sistema en cuanto a requerimientos y oferta en proteína bruta y digestibilidad. Ambos parámetros fueron obtenidos de curvas desarrolladas para pasto llorón en NIRS (tablas 7 y 10).

En la Tabla 6 se contrasta la demanda nutricional (proteína y energía) de una vaca de cría (NRC, 2001; ver Tabla 7) con la oferta nutricional de las dos comunidades presentes en el establecimiento: pasto llorón y pastizal natural (Tablas 8 y 9). La oferta se ponderó por comunidad (no por especie): las coberturas registradas por Daubenmire se agregaron a dos clases (“pasto llorón” y “pastizal natural”) y se integraron con la MS utilizable (ajustada por FDDF) de cada potrero. La Tabla 10 reporta únicamente los potreros muestreados en primavera avanzada y otoño avanzado. La selección se sustentó en la delimitación de zonas homogéneas (Z1–Z3): la Z1 aporta $\approx 85\%$ de la MS utilizable del establecimiento y, al excluir caminos, casco y áreas de galpones/maquinarias, la superficie muestreada resulta equivalente, en términos operativos, al total de la superficie pastoreable (contexto

general: 652 ha en dos lotes de 315 y 337 ha, con mosaico llorón–pastizal y predominio de pasto llorón). Con este criterio se evalúa si la combinación real de comunidades satisface los requerimientos del rodeo y se orientan ajustes de manejo (rotación/priorización de potreros y suplementación).

Tabla 7. Requerimientos nutricionales por mes.

Meses	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES					
	PB		Energía (Mcal/anim/día)			
	g/día	%	ENm	ENg	ENl	Total
Octubre	535,9	5,4	8,63		3,4	12,03
Noviembre	854,3	8,5	8,53		3,58	12,11
Diciembre	874	8,7	8,71		3,36	12,07
Enero	849	8,5	8,76	0	2,95	11,71
Febrero	792,7	7,9	8,7	0,01	2,49	11,2
Marzo	754,5	7,5	8,67	0,01	1,64	10,32
Abril	676,3	6,8	8,79	0,09		8,88
Mayo	520,6	5,2	8,66	0,24		8,9
Junio	454	4,5	8,64	0,47		9,11
Julio	473	4,7	8,81	0,89		9,7
Agosto	545,6	5,5	8,64	1,63		10,27
Septiembre	538	5,4	8,72	2,96		11,68

Tabla 8. Oferta nutritiva de *Eragrostis curvula* por mes, en Kg/MS.

Meses	Pastura	OFERTA FORRAJERA		
		PB		Energía (EM/kgMS)
		g/día	%	EM
Octubre	Pasto llorón	750	7,5	1,31
Noviembre	Pasto llorón	750	7,5	1,25
Diciembre	Pasto llorón	750	7,5	1,25
Enero	Pasto llorón	570	5,7	1,19
Febrero	Pasto llorón	400	4,0	1,14
Marzo	Pasto llorón	420	4,2	1,08
Abril	Pasto llorón	350	3,5	1,02
Mayo	Pasto llorón	320	3,2	1,02
Junio	Pasto llorón	300	3,0	0,97
Julio	Pasto llorón	300	3,0	0,91
Agosto	Pasto llorón	300	3,0	0,85
Septiembre	Pasto llorón	300	3,0	0,8

Tabla 9. Oferta forrajera de pastizales naturales por mes.

Meses	Pastura	OFERTA FORRAJERA		
		PB		Energía (EM/kgMS)
		g/día	%	EM
Octubre	Pastizal Natural*	640	6,40	1,35
Noviembre	Pastizal Natural*	730	7,30	1,35
Diciembre	Pastizal Natural*	730	7,30	1,56
Enero	Pastizal Natural*	750	7,50	1,56
Febrero	Pastizal Natural*	750	7,50	1,56
Marzo	Pastizal Natural**	750	7,50	1,56
Abril	Pastizal Natural**	350	3,50	1,51
Mayo	Pastizal Natural**	300	3,00	1,29
Junio	Pastizal Natural**	250	2,50	1,29
Julio	Pastizal Natural**	250	2,50	1,29
Agosto	Pastizal Natural**	280	2,80	1,29
Septiembre	Pastizal Natural*	650	6,50	1,29

*Especies estivales: *P. urvilleanum* - *A. mendocina* - *D. californica* - *T. megapotamicum* - *P. caespitosum*. ** Especies Invernales: *P. lanuginosa* - *N. tenuis* - *P. ligularis*

Tabla 10. Requerimientos nutricionales y oferta forrajera por mes en el establecimiento El Clarín.

Meses	Pastura	REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES						OFERTA FORRAJERA				
		PB		Energía (Mcal/anim/día)				PB		CMS (Kg)	Energía Metabólica	
		g/día	%	ENm	ENg	ENI	Total	g/día	%		EM (Mcal/KgMSD)	EM (Mcal/día)
Octubre	P. llorón + PN	535,9	5,4	8,63		3,4	12,03	728	7,3	10	1,32	13,2
Noviembre	P. llorón + PN	854,3	8,5	8,53		3,58	12,11	746	7,5	10	1,27	12,7
Diciembre	P. llorón + PN	874	8,7	8,71		3,36	12,07	746	7,5	10	1,31	13,1
Enero	P. llorón + PN	849	8,5	8,76	0	2,95	11,71	606	6,1	10	1,26	12,6
Febrero	P. llorón + PN	792,7	7,9	8,7	0,01	2,49	11,2	470	4,7	10	1,22	12,2
Marzo	P. llorón + PN	754,5	7,5	8,67	0,01	1,64	10,32	486	4,9	10	1,18	11,8
Abril	P. llorón dif. + PN	676,3	6,8	8,79	0,09		8,88	350	3,5	8	1,22	9,7
Mayo	P. llorón dif. + PN	520,6	5,2	8,66	0,24		8,9	312	3,1	8	1,13	9
Junio	P. llorón dif. + PN	454	4,5	8,64	0,47		9,11	280	2,8	8	1,10	8,8
Julio	P. llorón dif. + PN	473	4,7	8,81	0,89		9,7	280	3	8	1,06	8,5
Agosto	P. llorón dif. + PN	545,6	5,5	8,64	1,63		10,27	292	3	8	1,03	8,2
Septiembre	P. llorón dif. + PN	538	5,4	8,72	2,96		11,68	440	4	8	1,00	8

PN: pastizales naturales - **PB:** proteína bruta - **ENm:** energía neta para mantenimiento - **ENg:** energía neta para gestación - **ENI:** energía neta para lactación - **CMS:** consumo de materia seca.

Los resultados reflejan una marcada estacionalidad en la producción de materia seca (MS) y proteína bruta (PB) de las pasturas con mayores rendimientos durante la primavera (2.200 kg MS/ha) y un descenso progresivo hacia el otoño (900 kg MS/ha) e invierno (1000 kg MS/ha). Este patrón es característico de los sistemas forrajeros en regiones áridas, donde la producción vegetal está estrechamente ligada a la disponibilidad de agua y la temperatura ambiental.

En contraste, los requerimientos de consumo de MS por categoría resultan superiores a la oferta estacional promedio. Según NRC (2001) y adoptando 420 kg como PV de referencia, las vacas secas requieren 8,4 kg MS $\text{cab}^{-1} \text{d}^{-1}$ (0,84 EV; 2 % PV), las vacas en lactancia 12,6 kg MS $\text{cab}^{-1} \text{d}^{-1}$ (1,26 EV; 3 % PV) y las categorías de recría 10,5 kg MS $\text{cab}^{-1} \text{d}^{-1}$ (1,05 EV; 2,5 % PV). Esto evidencia un desbalance entre oferta y demanda, especialmente hacia fin de verano, otoño e invierno (Ministerio de Producción y Ambiente, 2022).

Al contrastar los requerimientos teóricos con la simulación realizada mediante el modelo NASEM, se evidencia un déficit crítico durante el otoño (finales de mayo). Para una vaca de 420 kg sobre una base forrajera de pasto llorón y pastizales nativos, la oferta nutricional resulta insuficiente para sostener los procesos fisiológicos. En vacas lactantes y gestantes, se observa un balance negativo extremo de -461.9 g/d de Proteína Metabolizable (PM) y -17.38 Mcal/d de Energía Metabolizable (EM). Por su parte, la vaca seca, a pesar de tener una menor demanda, presenta un déficit de -231.5 g/d de PM y un balance energético de -9.46 Mcal/d, lo que proyecta una pérdida de 1 punto de condición corporal (CC) en apenas 15 días. Estos resultados validan el desbalance mencionado en la bibliografía de referencia, demostrando que la restricción nutricional en el otoño fueguino no solo es de volumen, sino de calidad, comprometiendo gravemente las reservas corporales antes del inicio del invierno.

Estos resultados sugieren la necesidad de implementar estrategias de manejo, como el ajuste de la carga animal, la suplementación estratégica y la siembra de especies forrajeras de mayor productividad y calidad para estabilizar la oferta forrajera y reducir la dependencia de insumos externos.

Para mantener un balance positivo, la oferta debe igualar o superar la demanda total según el número de animales presentes. Sin embargo, como muestra la tabla 11, los valores de producción estacional en otoño e invierno son muy inferiores a los requerimientos diarios de los animales.

Durante la primavera la oferta es insuficiente, generando un déficit de 115 g de PB por día, debido a la baja disponibilidad de pasturas naturales y alta demanda proteica animal. A pesar de la mayor producción de forraje, el contenido proteico no cubre completamente los requerimientos del ganado de vaquillonas de reposición. En verano la oferta supera ligeramente la demanda, lo que sugiere que esta estación es la única con un balance positivo, aunque el margen es estrecho. En otoño se observa un déficit significativo de 461 g de PB por día debido al aumento de los requerimientos por la presencia del ternero lactante y la disminución de la calidad forrajera. Y en invierno se presenta el mayor déficit, con una brecha de 525 g de PB diarios, atribuido a las mayores necesidades del ternero en crecimiento y la baja producción forrajera durante esta estación.

Tabla 11. Balance forrajero.

Estación	OFERTA PB (g/día)	DEMANDA PB (g/cabeza/día)
Primavera	±740	855
Verano	±521	500
Otoño	±314	400 + 375*
Invierno	±337	377 + 485**

*requerimientos de un ternero de 100 kg. ** requerimientos de un ternero de 150 kg.

El balance forrajero muestra que las deficiencias estacionales observadas son características de sistemas de producción extensiva en regiones áridas y semiáridas, donde las limitaciones de agua y los extremos climáticos afectan la productividad (Mannetje, 2000). Los déficits forrajeros en invierno destacan la importancia de planificar estrategias de suplementación para mantener la condición corporal y la eficiencia reproductiva del ganado (Lemaire y col., 2009).

Como se detalló arriba, la calidad nutricional es determinante del rendimiento ganadero; por ello se desarrollaron calibraciones NIR para predecir la digestibilidad (DIVMS) estacional de los forrajes disponibles. La digestibilidad estacional por potrero se calculó ponderando por comunidad (pasto llorón; pastizal natural) en función de la MS utilizable ajustada por FDDF. De este modo, la calidad compuesta refleja la contribución real de cada comunidad a la dieta potencial, evitando sesgos por promedios simples.

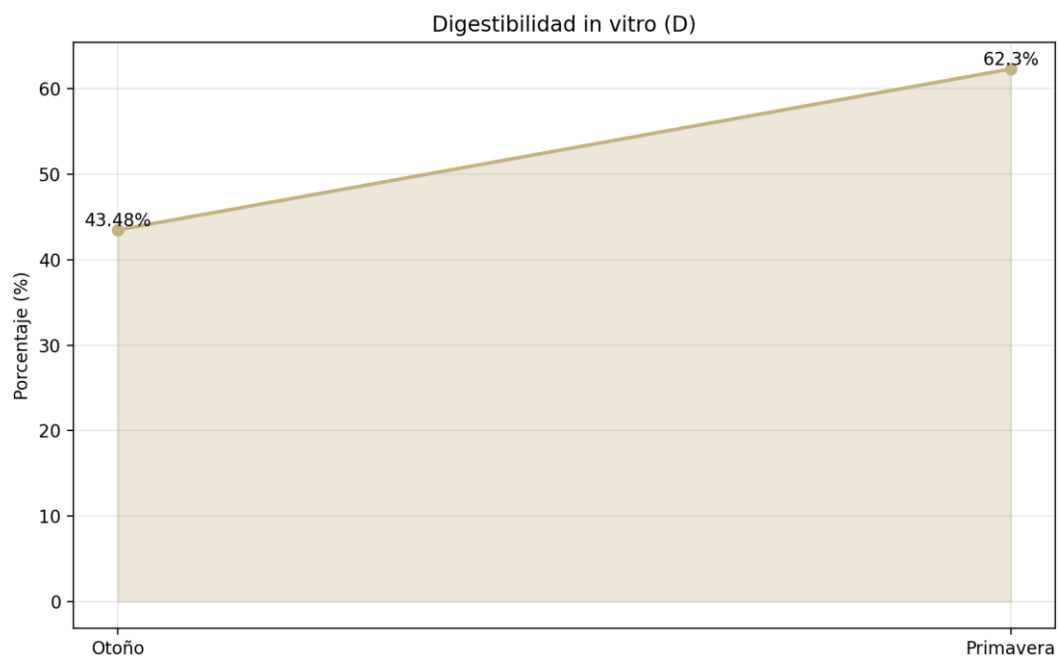


Figura 17. Digestibilidad in vitro de materia seca en otoño y primavera.

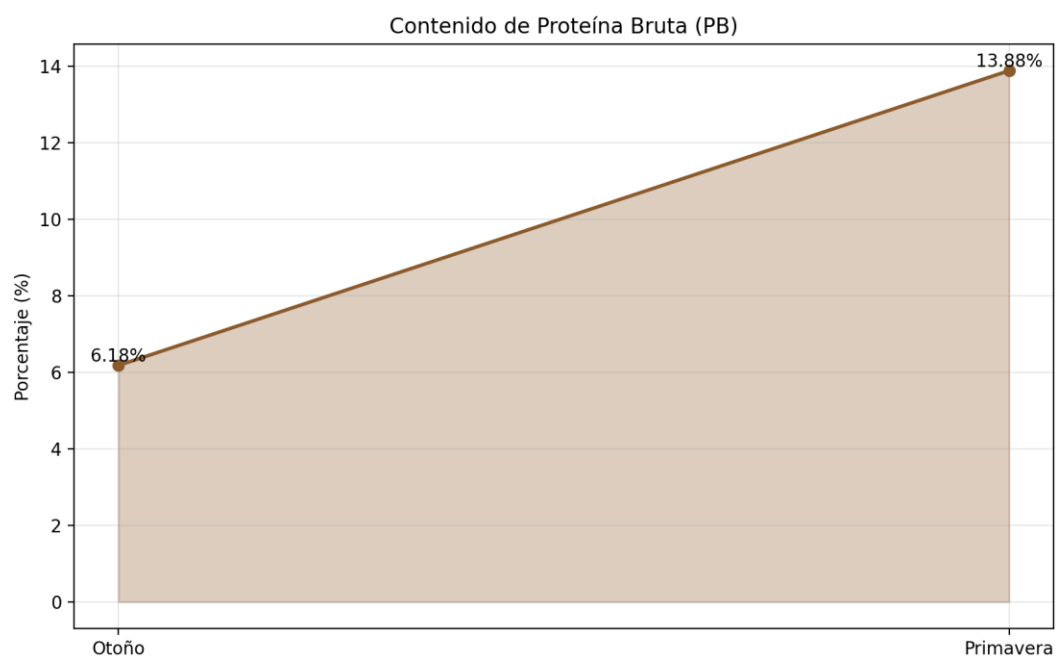


Figura 18. Contenido de proteína bruta en primavera y otoño.

Los resultados obtenidos reflejan la compleja dinámica nutricional de los forrajes en zonas áridas, donde las condiciones ambientales juegan un papel crucial en la producción ganadera.

El porcentaje de digestibilidad (D) reflejado en la figura 17, muestra un patrón estacional característico de zonas áridas, con valores más elevados en primavera (62.3%) que coinciden con el período de mayor actividad fotosintética y desarrollo vegetativo. La disminución en otoño (43.48%) refleja el proceso natural de lignificación y endurecimiento de los tejidos vegetales, típico de especies adaptadas a la aridez.

En la figura 18, se evidencia cómo el contenido de proteína bruta (PB) sigue una tendencia similar, con máximos primaverales (13.88%) y descensos en otoño (6.18%). Estos valores, relativamente bajos pero típicos de zonas áridas, indican la necesidad de considerar estrategias de suplementación proteica en determinadas épocas del año para mantener niveles adecuados de producción animal.

Estos patrones nutricionales son consistentes con las adaptaciones de la vegetación a ambientes áridos, donde las plantas desarrollan mecanismos de resistencia que afectan su valor nutritivo, como el incremento de paredes celulares y la reducción del contenido proteico.

La digestibilidad forrajera y el contenido de proteína presentan una variación estacional marcada, siendo el otoño-invierno el período más crítico. Esto coincide con estudios previos que muestran cómo la madurez de las especies forrajeras y las condiciones climáticas afectan su calidad nutricional (Van Soest, 1994).

Con base en estos análisis, se puede diseñar un cronograma de pastoreo mejorador que contemple la rotación adecuada del ganado y la aplicación de correcciones nutricionales. En este marco, se evaluaron posibles estrategias de suplementación con fuentes de nitrógeno no proteico para cubrir deficiencias detectadas.

Distribución de aguadas

La gestión eficiente del pastoreo en sistemas ganaderos de zonas áridas implica comprender y ajustar la oferta forrajera disponible según los requerimientos nutricionales del ganado. Dicha oferta se encuentra condicionada por factores del paisaje como la distancia máxima al aguada, la densidad de forraje, la capacidad de movilidad de los animales y sus estados fisiológicos. Estos elementos inciden directamente en la disponibilidad efectiva de materia seca, afectando su consumo y, por ende, la producción animal.

En este contexto, se elaboraron planillas que permiten definir los días de uso por potrero para vacas de cría, ajustando la disponibilidad de MS según la distancia al aguada y la calidad nutricional del forraje en distintas épocas del año. Las ecuaciones propuestas integran factores de disminución de disponibilidad forrajera (FDDF), desarrollados a partir de modelos estadísticos con elevados coeficientes de determinación (R^2). Las ecuaciones utilizadas se detallan en Materiales y métodos: (3a) para invierno–peri-parto, (3b) para otoño–calidad media y (3c) para primavera–verano–lactación (todas en función de DMA). A partir de ellas se derivan la oferta utilizable (Ec. 5) y los días de uso (Ec. 7) presentados en las planillas de este capítulo.

Estos modelos contemplan tres escenarios relevantes según la fisiología del rodeo y la calidad de la oferta forrajera:

→ **Mínimo valor nutricional y máximo requerimiento:** considera el período invernal con forraje diferido, correspondiente a los últimos dos meses de gestación y el primer mes de lactación.

→ **Valor nutricional medio y requerimiento moderado:** se refiere al otoño, cuando el forraje es maduro y las vacas están secas o con preñez incipiente.

→ **Alto valor nutricional y requerimiento medio:** aplicable a la primavera-verano, cuando las vacas están paridas y en lactación, con terneros al pie.

El uso de estas ecuaciones permite planificar un cronograma de pastoreo mejorador, asegurando un equilibrio óptimo entre la oferta y la demanda de forraje, minimizando así riesgos de sobrepastoreo o subpastoreo. Además, esta planificación contribuye a definir necesidades de suplementación con nitrógeno no proteico en momentos críticos, mejorando la sostenibilidad productiva y ambiental del sistema ganadero en zonas áridas.

El análisis de las planillas correspondientes a los 16 lotes evaluados permite obtener una visión detallada de las condiciones forrajeras y la capacidad de carga para cada uno de ellos. Este enfoque permitirá diseñar estrategias específicas de manejo, ajustadas a las particularidades de cada lote, maximizando el uso eficiente de los recursos y minimizando el impacto ambiental.

Cada lote presenta valores ajustados de disponibilidad de MS, calculados considerando factores como la distancia a la aguada, la calidad nutricional del forraje y las características fisiológicas de la vaca de cría. Estos datos reflejan la cantidad de MS realmente utilizable por el rodeo y permiten establecer días de ocupación y periodos de descanso necesarios para evitar el sobrepastoreo.

Las planillas también evidencian diferencias en la calidad de la oferta forrajera entre lotes, clasificándolos según valores nutricionales altos (tablas 19 a 27), medios (tablas 15 a 18) o bajos (tablas 12, 13 y 14). Esta información es fundamental para determinar la necesidad de suplementación en momentos críticos, especialmente en lotes donde el forraje presenta deficiencias nutricionales significativas.

La determinación de la distribución de aguadas permitió realizar unas planillas para el análisis de factores como la distancia a la aguada que se revela como un factor determinante en la disponibilidad efectiva de forraje, debido a su impacto en el comportamiento de consumo del ganado. Lotes con mayores distancias (tablas 12, 18, 21 y 25) muestran menores tasas de utilización, lo que subraya la importancia de considerar este parámetro en la planificación del pastoreo.

Lotes de alta productividad (tablas 19 a 27), presentan cobertura vegetal densa y mayormente forrajes de alta calidad nutricional como el pasto llorón, adecuados para vacas en lactación o en etapas de alta demanda energética.

Lotes de productividad media (tablas 15 a 18), se caracterizan por una mezcla de pastizales naturales y menor densidad forrajera, lo que los hace óptimos para etapas de menor exigencia fisiológica.

Lotes de baja productividad (tablas 12 a 14), incluyen suelos desnudos o con predominancia de especies invasoras, requiriendo manejo correctivo y, posiblemente, suplementación para cubrir deficiencias nutricionales.

Nota general de siglas y símbolos

MS: materia seca. **kg MS ha⁻¹:** kilogramos de MS por hectárea. **% cosecha/Factor de uso:** proporción de la oferta cosechable.

DMA: distancia máxima a la aguada (m). **FDDF:** factor de disminución de disponibilidad forrajera (—).

Z1–Z3: zonas homogéneas de productividad (alta–media–baja) definidas por NDVI.

DIVMS: digestibilidad “in vitro” de la MS (%). **PB:** proteína bruta (%).

PV: peso vivo (kg). **%PV:** tasa de consumo como fracción del PV día⁻¹.

V. Nutri.: calidad nutricional del forraje (Bajo/Medio/Alto). **Requerim.:** nivel de requerimientos de la categoría (Bajo/Medio/Alto).

VTP: vaca con ternero al pie. **R1/R2:** recrias 1 y 2.

Sup_p: superficie del potrero (ha). **coef_seg:** coeficiente de seguridad (–).

OND: octubre–noviembre–diciembre (precipitación primaveral).

Escenarios FDDF (para “días de uso”)

BA: bajo valor nutricional – alto requerimiento (invierno, peri-parto).

MM: medio valor – medio requerimiento (otoño, vaca seca/preñez chica).

AM: alto valor – medio requerimiento (primavera–verano, lactación).

Relación con cálculos

Kg MS totales ajustado = Oferta ponderada × FDDF (ver Ecs. 1–5).

Días para FDDF X = (Oferta utilizable × Sup_p × coef_seg) / Demanda diaria (ver Ecs. 6–7).

Tabla 12. Planilla de días de uso lote 1.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			844	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		30%	253,2	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		411	104.065,20	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		3494	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	-0,0082964	-863,37	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	0	34.217,01	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	65.396,99	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	-86
				FDDF 2	3.422
				FDDF 3	6.540
Cantidad de cabezas				105	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		-1
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		33
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		62

Tabla 13. Planilla de días de uso lote 2.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		30%	991,8	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		586	581.194,80	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2071	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,7651041	444.674,52	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	581.194,80	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	581.194,80	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	44.467
				FDDF 2	58.119
				FDDF 3	58.119
Cantidad de cabezas				150	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		296
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		387
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		387

Tabla 14. Planilla de días de uso lote 3.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		30%	991,8	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		60	59.508,00	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		1038	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	1,5802444		Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	2	59.508,00	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	2	59.508,00	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	0
				FDDF 2	5.951
				FDDF 3	5.951
Cantidad de cabezas				15	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		0
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		397
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		397

Tabla 15. Planilla de días de uso lote 4.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			1799	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		50%	899,5	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		228	205.086,00	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		1343	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	1,3173649		Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	2	205.086,00	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	2	205.086,00	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	0
				FDDF 2	20.509
				FDDF 3	20.509
Cantidad de cabezas				58	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		0
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		354
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		354

Tabla 16. Planilla de días de uso lote 5.

Disponibilidad de MS acumulada/ha				1744	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha			50%	872	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)				10		
Superficie (ha)			389	339.208,00	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)			2240	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,65206	221.183,97	Kg MS totales ajustado		Bajo	Alto
FDDF 2	1	335.530,99	Kg MS totales ajustado		Medio	Medio
FDDF 3	1	339.208,00	Kg MS totales ajustado		Alto	Medio
Cantidad de raciones:					FDDF 1	22.118
					FDDF 2	33.553
					FDDF 3	33.921
Cantidad de cabezas					100	
Cantidad de días de uso				DIAS PARA FDDF 1 BA		221
				DÍAS PARA FDDF 2 MM		336
				DÍAS PARA FDDF 3 AM		339

Tabla 17. Planilla de días de uso lote 6.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			1697	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		50%	848,5	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		305	258.792,50	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2488	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,4965144	128.494,20	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	215.733,15	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	258.792,50	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	12.849
				FDDF 2	21.573
				FDDF 3	25.879
Cantidad de cabezas				78	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		165
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		277
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		332

Tabla 18. Planilla de días de uso lote 7.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			1799	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		50%	899,5	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		311	279.744,50	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2812	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,3118344	87.233,96	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	181.535,83	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	258.305,15	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	8.723
				FDDF 2	18.154
				FDDF 3	25.831
Cantidad de cabezas				80	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		109
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		227
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		323

Tabla 19. Planilla de días de uso lote 8.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			1799	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		50%	899,5	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		304	273.448,00	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2417	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,5397889	147.604,20	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	239.783,52	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	273.448,00	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	14.760
				FDDF 2	23.978
				FDDF 3	27.345
Cantidad de cabezas				78	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		189
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		307
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		351

Tabla 20. Planilla de días de uso lote 9.

Disponibilidad de MS acumulada/ha				3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		60%		1983,6	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)				10		
Superficie (ha)		349		692.276,40	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2097		V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,7473409	517.366,47	Kg MS totales ajustado		Bajo	Alto
FDDF 2	1	692.276,40	Kg MS totales ajustado		Medio	Medio
FDDF 3	1	692.276,40	Kg MS totales ajustado		Alto	Medio
Cantidad de raciones:					FDDF 1	51.737
					FDDF 2	69.228
					FDDF 3	69.228
Cantidad de cabezas					89	
Cantidad de días de uso				DIAS PARA FDDF 1 BA		581
				DÍAS PARA FDDF 2 MM		778
				DÍAS PARA FDDF 3 AM		778

Tabla 21. Planilla de días de uso lote 10.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		60%	1983,6	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		378	749.800,80	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2683	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,3828489	287.060,41	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	539.818,26	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	741.226,09	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	28.706
				FDDF 2	53.982
				FDDF 3	74.123
Cantidad de cabezas				97	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		296
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		557
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		764

Tabla 22. Planilla de días de uso lote 11.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		60%	1983,6	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		315	624.834,00	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2516	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,4797256	299.748,87	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	510.380,41	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	624.834,00	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	29.975
				FDDF 2	51.038
				FDDF 3	62.483
Cantidad de cabezas				81	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		370
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		630
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		771

Tabla 23. Planilla de días de uso lote 12.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		60%	1983,6	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		600	1.190.160,00	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		1973	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,8332729	991.728,07	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	1.190.160,00	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	1.190.160,00	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	99.173
				FDDF 2	119.016
				FDDF 3	119.016
Cantidad de cabezas				154	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		644
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		773
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		773

Tabla 24. Planilla de días de uso lote 13.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		60%	1983,6	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		463	918.406,80	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2500	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,4893	449.376,45	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	758.971,38	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	918.406,80	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	44.938
				FDDF 2	75.897
				FDDF 3	91.841
Cantidad de cabezas				119	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		378
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		638
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		772

Tabla 25. Planilla de días de uso lote 14.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		60%	1983,6	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		337	668.473,20	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2600	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,4303	287.644,02	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	512.986,33	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	668.473,20	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	28.764
				FDDF 2	51.299
				FDDF 3	66.847
Cantidad de cabezas				86	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		334
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		596
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		777

Tabla 26. Planilla de días de uso lote 15.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		60%	1983,6	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		266	527.637,60	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		1657	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	1,0661649		Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	527.637,60	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	2	527.637,60	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	0
				FDDF 2	52.764
				FDDF 3	52.764
Cantidad de cabezas				58	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		0
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		910
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		910

Tabla 27. Planilla de días de uso lote 16.

Disponibilidad de MS acumulada/ha			3306	Kg MS/ha	
Factor de USO / % cosecha		60%	1983,6	Kg MS/ha para cosechar	
Requerimiento MS hembra adulta (kg MS/día)			10		
Superficie (ha)		297	589.129,20	Kg MS totales	
Distancia máxima al aguada (metros)		2200	V. Nutri Requerim.		
FDDF 1	0,6783	399.606,34	Kg MS totales ajustado	Bajo	Alto
FDDF 2	1	589.129,20	Kg MS totales ajustado	Medio	Medio
FDDF 3	1	589.129,20	Kg MS totales ajustado	Alto	Medio
Cantidad de raciones:				FDDF 1	39.961
				FDDF 2	58.913
				FDDF 3	58.913
Cantidad de cabezas				76	
Cantidad de días de uso			DIAS PARA FDDF 1 BA		526
			DÍAS PARA FDDF 2 MM		775
			DÍAS PARA FDDF 3 AM		775

A raíz de este análisis se propone elaborar un plan de manejo basado en una serie de estrategias integradas para mejorar la sostenibilidad y productividad del sistema ganadero en zonas áridas. Estas estrategias consideran las limitaciones ambientales, las características del forraje nativo y los desafíos asociados con la disponibilidad estacional de los recursos. A partir de la MS utilizable por zona (Z1–Z3; ver Tabla de zonas), la comparación oferta–demanda por categoría (Tabla 10; NRC, 2001) y los ajustes por FDDF (Ecs. 3a–3c), se proponen las siguientes acciones operativas:

→ *Rotaciones más cortas durante el verano para maximizar la recuperación del forraje (Z1 y potreros con pasto llorón dominante)*

En los lotes donde la MS utilizable es mayor (Z1), los días de uso calculados (Ecs. 6–7) permiten reducir la ocupación y aumentar el descanso para sostener la tasa de recuperación. Operativamente, se recomienda que la ocupación por ingreso no exceda los días de uso calculados para verano (ver Tablas de días de uso por potrero) y que el descanso sea, como mínimo, el múltiplo que restituye la MS inicial de la estación. Este ajuste está justificado por la brecha potencial vs. utilizable observada en Z1 y por el descenso estacional de calidad (DIVMS/PB; NIR).

→ *Uso de suplementos durante los déficits invernales (todas las zonas)*

Cuando la oferta estacional (kg PB ha⁻¹; Tabla 10) resulta inferior a la demanda (NRC, 2001), el déficit se cubre con proteína y/o energía. Para cada categoría, calcular:

$$\text{Déficit (kg PB d}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Demanda (kg PB estación)} - \text{Oferta (kg PB estación)}}{\text{días de la estación} \times N}$$

y traducir a una ración diaria (por ej., proteína verdadera cuando la PB ofertada no alcanza la requerida; NNP solo si la energía no es limitante). Los ejemplos numéricos se documentan en Tabla 10 (columna “% de cobertura de requerimientos”) y el sustento teórico en NRC (2001).

→ *Inclusión de pasturas para mejorar la fertilidad y disponibilidad forrajera (en Z2 y bordes de Z3)*

La productividad utilizable de Z2 ($\approx 0,632$ t MS ha⁻¹) es marcadamente menor que la de Z1 ($\approx 1,984$ t MS ha⁻¹). Priorizar implantación/renovación de pasto llorón en potreros Z2 aumenta la MS utilizable en el orden de $+1,3$ t MS ha⁻¹ (diferencia Z1–Z2), con impacto directo en los días de uso y la receptividad (ver Tabla de zonas y Tabla de días de uso). En Z3, evaluar primero mejoras de accesibilidad al agua/distancias (para atenuar FDDF) y luego implantaciones puntuales donde el suelo lo permita. Entre las especies propuestas se incluyen:

- **Eragrostis curvula* (pasto llorón): una gramínea perenne resistente a la sequía, capaz de adaptarse a suelos pobres y de proporcionar forraje en épocas críticas. Su sistema radicular profundo contribuye a la estabilización del suelo y mejora la infiltración del agua.
- **Digitaria eriantha*: otra gramínea perenne que destaca por su alto valor forrajero, tolerancia a condiciones áridas y capacidad de regeneración tras el pastoreo.
- **Onobrychis viciifolia* (Sainfoin): una leguminosa que, además de mejorar la calidad nutricional del forraje por su alto contenido proteico, tiene la capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, lo que favorece la fertilidad del suelo. Su inclusión también ayuda a diversificar la dieta del ganado y reduce la dependencia de suplementos externos.

Estas medidas no son genéricas: se derivan de los valores de MS utilizable, los déficits oferta–demanda y los FDDF cuantificados en este estudio. Por lo tanto, su aplicación en otros establecimientos requiere recalcular los mismos indicadores.

El pastoreo rotativo intensivo ha demostrado ser una estrategia eficaz para aumentar la productividad forrajera y mejorar la resiliencia de los sistemas pastoriles frente a variaciones climáticas (Teague y col., 2011). El uso de suplementos específicos, como nitrógeno no proteico, puede corregir deficiencias críticas y optimizar el desempeño productivo (NRC, 2001).

Finalmente, se llevó a cabo un análisis detallado de la distribución de aguadas. Esto permitió identificar

áreas con deficiente acceso al agua y proponer un plan de mejora en la infraestructura hídrica, indispensable para el bienestar animal y la eficiencia del sistema productivo. Se analizó la evolución temporal de la red de aguadas en tres etapas: Etapa 1 (línea de base previa a 2017), Etapa 2 (2017–2018, con intervenciones) y Etapa 3 (estado actual). Las figuras 18, 19 y 20 muestran, para cada etapa, el mapa de distancias a aguada y los umbrales de 2,2 y 2,5 km, permitiendo dimensionar la superficie dentro/fuera de acceso operativo y su distribución por zonas homogéneas (Z1– Z2 – Z3). Estos resultados se integran luego al FDDF (Ecs. 3a–3c) y a los días de uso (Ecs. 6–7), cuantificando el impacto de la accesibilidad en la MS utilizable y en la carga efectiva.

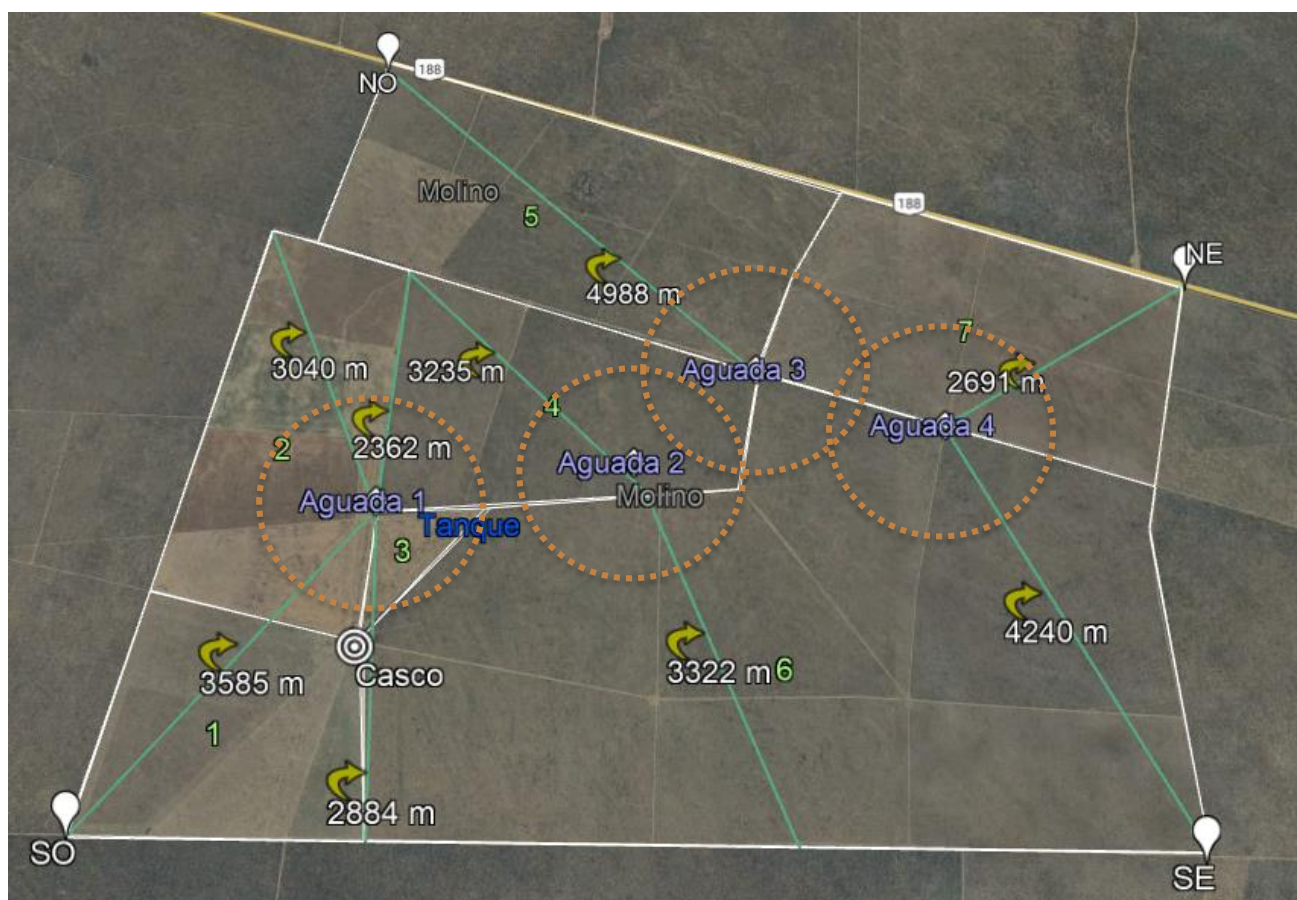


Figura 19. Distribución de aguadas en el establecimiento El Clarín en etapa 1. Radio: 1250 m.

En esta etapa inicial, el análisis reveló una infraestructura hídrica limitada. Las aguadas existentes estaban distribuidas de forma desigual, con distancias al agua que dificultaban la equidad en el acceso al forraje (Fig. 19).

En la figura 20 se observa una expansión en la infraestructura mediante la incorporación de nuevas

aguadas y mejoras en el almacenamiento y distribución. Sin embargo, persistieron zonas con acceso restringido, como el lote 1.

En la actualidad, la infraestructura actual evaluada a partir de datos espaciales actualizados, refleja una mejora generalizada, pero aún se identifican zonas críticas con distancias mayores a 2500 m hasta el agua, en los lotes 1, 10 y 14. Esto representa un desafío para la sostenibilidad del sistema productivo. (Fig. 21).

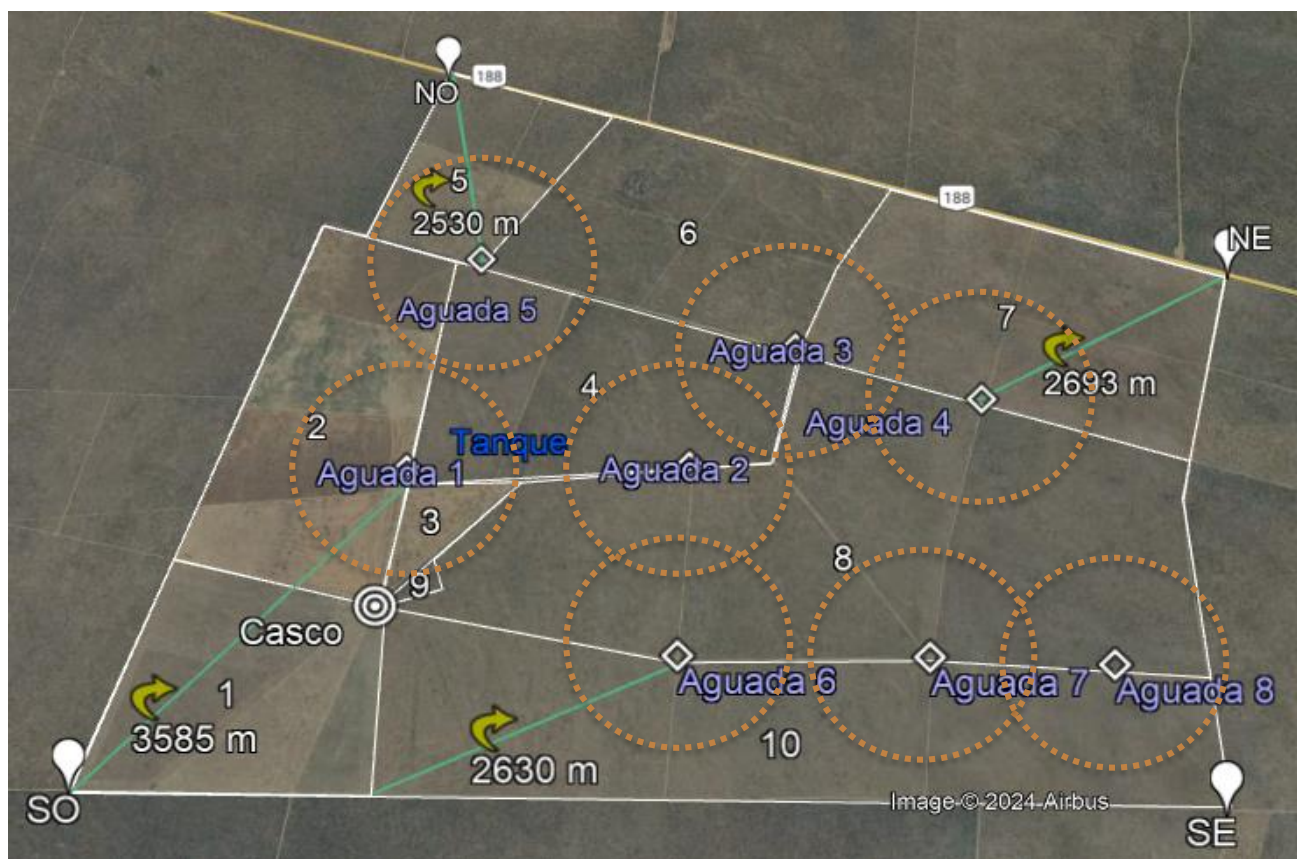


Figura 20. Distribución de aguadas en el establecimiento El Clarín en etapa 2. Radio: 1250 m.

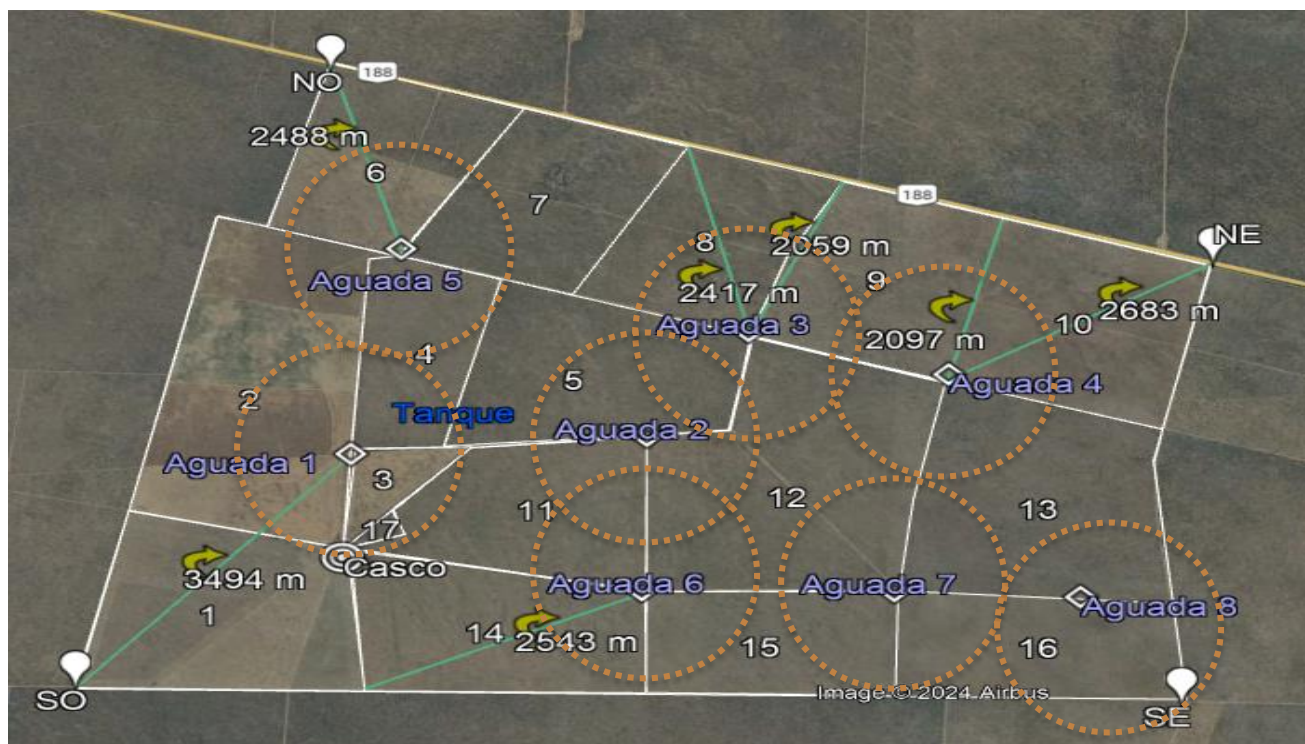


Figura 21. Distribución de aguadas en el establecimiento El Clarín en etapa 3. Radio: 1250 m.

El análisis de la distribución de aguadas en el establecimiento "El Clarín" evidenció desigualdades que afectan el acceso al agua por parte del ganado y generan una presión desigual sobre los recursos forrajeros disponibles.

Tabla 28. “Distancia promedio a las aguadas” = promedio ponderado por superficie de la DMA sobre toda la superficie pastoreable del establecimiento (Etapa 3).
 “Zonas críticas” = potreros con porciones cuya DMA > 2.500 m (umbral operativo).

Parámetro	Valor
Distancia promedio a las aguadas	1.950 m.
Zonas críticas (mayores a 2500 m al aguada)	Lotes 1, 10 y 14
Distancia máxima recomendada al aguadas	2500 m.
Nuevas aguadas recomendadas	2
Ubicación de las nuevas aguadas	SO y NE

La distancia máxima recomendada a la aguada para evitar un impacto negativo en el bienestar animal y la productividad varía entre 2200 y 2500 m, dependiendo de las condiciones del terreno y la carga animal (Bailey y col., 2008; Villalba y Provenza, 2009). Estas cifras destacan la necesidad de ajustar la infraestructura actual para cumplir con estas recomendaciones.

Se recomienda la construcción de dos nuevas aguadas en las zonas críticas identificadas (Fig. 22), una

en el sector suroeste (SO) entre los lotes 1 y 2 que permitirá el mejor aprovechamiento del lote 1 por tratarse de la zona más crítica del establecimiento; y otra en el sector noreste (NE) entre los lotes 10 y 13. Esto permitirá que se reduzca la presión sobre las aguadas existentes y se mejore el acceso equitativo al agua, optimizando la utilización del forraje disponible.



Figura 22. Nuevas aguadas en el establecimiento El Clarín. Radio: 1250 m.

CONCLUSIONES

El establecimiento "El Clarín" ha logrado avances significativos al integrar tecnologías adaptadas al contexto semiárido, demostrando que la ganadería extensiva en zonas áridas puede intensificarse sin comprometer la sostenibilidad. La incorporación de pasturas megatérmicas, como el pasto llorón (*Eragrostis curvula*), ha sido clave para estabilizar y mejorar la productividad en áreas degradadas, gracias a su adaptabilidad a suelos pobres, alta capacidad de producción forrajera y contribución a la conservación del suelo. Sin embargo, el éxito de estas estrategias está condicionado a un manejo activo que incluya la rotación de lotes, el control de la carga ganadera y la implementación de prácticas regenerativas, como el rolando y el pastoreo controlado.

El análisis del balance forrajero puso de manifiesto un déficit proteico en tres de las cuatro estaciones evaluadas, particularmente durante otoño e invierno. Esto resalta la necesidad de estrategias de manejo como la suplementación proteica en períodos críticos, el ajuste de la carga animal y la incorporación de especies forrajeras de mayor calidad. Asimismo, las calibraciones y validaciones realizadas en este estudio muestran que el NIRS es una herramienta ágil y confiable para el monitoreo estacional de la calidad forrajera en sistemas pastoriles del Monte, permitiendo integrarla al balance forrajero y a la planificación del pastoreo. Este resultado es consistente con la literatura previa (Foley y col., 1998) y respalda su uso operativo en el establecimiento. Su incorporación periódica reduce la incertidumbre en DIVMS/PB y mejora la asignación de días de uso por potrero.

El cronograma de pastoreo propuesto optimiza el uso de los recursos forrajeros y mitiga las deficiencias nutricionales críticas, especialmente en las categorías más vulnerables del rodeo. Además, la identificación de zonas homogéneas mediante imágenes satelitales ha permitido planificar manejos diferenciados, incrementando la eficiencia y reduciendo la presión sobre las áreas más susceptibles a la degradación.

El abastecimiento de agua constituye otro pilar fundamental en la gestión de "El Clarín". La distribución adecuada de aguadas no solo favorece un uso más uniforme del pastizal, sino que también mejora el bienestar animal y reduce la presión sobre ciertas áreas. Las mejoras propuestas en la infraestructura hídrica contribuirán significativamente a aumentar la productividad y la sostenibilidad del sistema.

En términos económicos, las inversiones realizadas en infraestructura, tecnología y manejo han transformado "El Clarín" en un sistema resiliente y adaptado a las condiciones áridas. Estas inversiones han permitido incrementar el stock, mejorar la eficiencia y reducir costos a largo plazo, consolidando un sistema productivo rentable y sustentable. La experiencia de "El Clarín" demuestra cómo un enfoque integrado y adaptativo puede servir de modelo para otros establecimientos ganaderos en regiones áridas, destacando la importancia de una estrategia de inversión progresiva para maximizar el uso del forraje y optimizar la infraestructura.

Recomendaciones

1. Implementar el plan de manejo propuesto, enfocado en la rotación de lotes, el ajuste de la carga ganadera y la suplementación proteica en períodos críticos.
2. Continuar con el monitoreo de la oferta forrajera utilizando herramientas tecnológicas, como las calibraciones NIRS y las imágenes satelitales, para realizar ajustes dinámicos según las condiciones del sistema.
3. Mejorar la infraestructura hídrica para garantizar una distribución más uniforme de las aguadas y optimizar el uso del pastizal.
4. Priorizar prácticas regenerativas y de conservación del suelo, como el rolado y el manejo de áreas invadidas, para incrementar la productividad y sostenibilidad del sistema.
5. Evaluar la incorporación de especies forrajeras de mayor calidad que complementen el uso del pasto llorón y mejoren el balance forrajero en estaciones críticas.

En conclusión, el caso de "El Clarín" confirma que la producción ganadera sostenible en zonas áridas es posible mediante un enfoque integrado, adaptativo y orientado a la innovación.

BIBLIOGRAFÍA

Allen, V. G., Batello, C., Berretta, E. J., Hodgson, J., Kothmann, M., Li, X., & McIvor, J. (2011). An international terminology for grazing lands and grazing animals. *Grass and Forage Science*, 66(1), 2-28. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2010.00780.x>

Aquilani, C., Confessore, A., Bozzi, R., Sirtori, F. Y Pugliese, C. (2021). Review: Precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal*. 16 (1), 100429. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100429>

Arriaga, M.O. (1986). Metodología adaptada al estudio de hábitos alimentarios en insectos herbívoros. *Comunicaciones del Museo Argentino de Cs. Naturales, MACN Tomo II, N° 15*: 103-111.

Arriaga, M.O., Stampacchio, M.L., Faggi, A. (2005). Anatomical study applied to the design of analytical techniques: a study case of the ecotone in Tierra del Fuego. *PHYTON* 47-53.

Bahlo, C., Dahlhaus, P., Thompson, H. y Trotter, M. (2019). The role of interoperable data standards in precision livestock farming in extensive livestock systems: A Computers and Electronics in Agriculture, 156, 459-466. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.COMPAG.2018.12.007>

Bailey, D.W., Gross, J.E., Laca, E.A., Rittenhouse, L.R., Coughenour, M.B., Swift, D.M. y Sims, P.L. (2008). Mecanismos que dan lugar a patrones de distribución de pastoreo de grandes herbívoros. *Journal of Range Management*, 49(5), 386–400.

Barker, R.D. (1986). Investigation into the accuracy of herbivore diet analysis. *Australian Wildlife Research* 13: 559-568.

Bavera, G.A. (2011). Aguas y Aguadas para el Ganado. 4º Edición. Río Cuarto.

Bonham, C. D. (2013). *Measurements for terrestrial vegetation* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Boval, M., Coates, D.B., Lecomte, P., Decruyenaere, V. y Archimède, H. (2004). Faecal near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) to assess chemical composition, in vivo digestibility and intake of tropical grass by Creole cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 114:19–29. Disponible en: <https://doi:10.1016/j.anifeedsci.2003.12.009>.

Briske, D.D. y Heitschmidt, R.K. (1991). An ecological perspective. En R. K. Heitschmidt & J. W. Stuth (Eds.), *Grazing management: An ecological perspective* (pp. 11-26). Portland, OR: Timber Press.

Cabrera, A.L. (1976). Regiones Fitogeográficas Argentinas. Editorial ACME S.A.C.I. Buenos Aires.

Castaño Díaz, M.A., Arenal Gutiérrez, A.M. y Méndez López, J.A. (2017). Herramientas geoespaciales para la gestión ganadera extensiva. *Revista Española de Investigación Agraria*, 15(1), e0701.

Chen, L., Xing, L. y Han, L. (2013). Review of the application of near-infrared spectroscopy technology to determine the chemical composition of animal manure. *J. Environ. Qual.* 42: 1015–102. doi:10.2134/jeq2013.01.0014. PMID:24216353.

Cid, M.S., López, T.A., Yagueddú, C. y Brizuela, M. (2003). Acute toxic plant estimation in grazing sheep ingesta and feces. *Journal of Range Management* 56: 353-357.

Climate-Data.org. (sf). Clima: General Alvear. Recuperado de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/argentina/mendoza/general-alvear-1944/>

Coleman, S.W., Stuth, J.W. y Holloway, J.W. (1989). Monitoring the nutrition of grazing cattle with near-infrared analysis of feces. *Proceedings of the XVI International Grassland Congress*. Niza. 881 -882.

Dacar, M.A. y Giannoni, S.M. (2001). Technical note: A simple method for preparing reference slides of seed. *Journal of Range Management* 54: 1914-193.

Daubenmire, R. (1959). A canopy-coverage method of vegetational analysis. *Northwest Science*, 33(1), 43–64.

David, M., Leslie, J.R., Vavra, M., Starkey, E.E. y Slater, R.C. (1983). Correcting for differential digestibility in microhistological analyses involving common coastal forages of the Pacific Northwest. *Journal of Range Management* 36: 730-732.

Dixon, R. y Coates, D. (2009). Review: Near Infrared Spectroscopy of Faeces to Evaluate the Nutrition and Physiology of Herbivores. *J. Near Infrared Spectrosc.* 17, 1-31.

FAO (2015). *Profiles of forage systems: Sustainable grassland management*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <https://www.fao.org>

Feijóo, M.S. y Arriaga, M.O. (2004). Caracteres estructurales comparados en especies de *Eleocharis* (Cyperaceae). XXIX Jornadas Argentinas de Botánica y Reunión Anual de la Sociedad Botánica de Chile.

Frasinelli, C.A.; Veneciano, J.H. y Díaz, J.R. (2002). Sostenibilidad en planteos de cría vacuna (SP 11). 25° Congreso arg. prod. animal (Bs.As., 2-4 oct. 2002). *Rev. Arg. Pr. Anim.* Vol. 22 (Supl. 1): 313-314.

Garnsworthy, P. C. y Unal, Y. (2004). Estimation of dry-matter intake and digestibility in group-fed dairy cows using near infrared reflectance spectroscopy. *Anim. Sci.* 79:327–334. Disponible en: <https://doi:10.1017/s1357729800090184>.

Henley, S.R., Smith, D.G., Raats, J.G. (2001). Evaluation of 3 techniques for determining diet composition. *Journal of Range Management* 54: 582-588.

Hernández Sanpieri, R. (2010). Metodología de la Investigación. México: McGRAW HILL.

Herrero, M. y Thornton, P.K. (2013). Livestock and global change: Emerging issues for sustainable food systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(52), 20878-20881. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1321844111>

Holechek, J., Gross, B. (1982). Evaluation of different calculation procedures for microhistological analysis. *Journal of Range Management* 35(6): 721-726.

Holechek J.L., Vavra M., Pieper R.D. (1982). Botanical composition determination of Range Herbivore diets: A review. *Journal of Range Management* 35: 309-315.

Hopkins, A. y Wilkins, R.J. (2006). Temperate grassland: Key developments in the last century and future perspectives. *Journal of Agricultural Science*, 144(6), 503-523. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S0021859606006490>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2017). La innovación para el logro de una agricultura competitiva, sustentable e inclusiva. México.

Johnson, M.K., Wofford, H. (1983). Digestion and fragmentation: influence on herbivore diet analysis. *Journal of Wildlife Management* 47: 877-879.

Jones, D.I.H. y Hayward, M.V. (1975). The effect of pepsin pretreatment of herbage on the prediction of dry matter digestibility from solubility in fungal cellulase solutions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26(11), 711-718. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740261106>

Kamler, J., Homolka, M. y Kracmar, S. (2003). Nitrogen characteristics of ungulates faeces: effect of time exposure and storage. Homogeneity of individual pellets groups: an important condition in herbivores' diet analyses. *Folia Zool.* 52: 31-35.

Latour, M. y Pelliza de Sbriller, A. (1981). Clave para la determinación de la dieta de herbívoros en el NO de la Patagonia. *Rev. Inv. Agr. INTA XV (I)*: 109-157.

Le Houérou, H.N., Hoste, C.H. (1977). *Journal of Range Management*. JSTOR.

Martín, G.O., Lagomarsino, E.D., Nicosia, M.G. (1990). Estructura epidérmica foliar de hierbas y árboles nativos del monte semiárido subtropical de Tucumán. *Revista Argentina de Producción Animal* 10: 429-442.

Martín, G.O., Lagomarsino, E.D. (1993). Caracteres epidérmicos foliares de arbustos nativos del monte semiárido subtropical de Tucumán. *Revista Argentina de Producción Animal* 13: 201-217.

Martínez Guijosa, J., Foulquié Moreno, A., García Sánchez, M. y Peralvo Herrera, J. (2019). Aplicación de un sistema de información geográfica para el análisis de la fiebre aftosa en el ganado: un estudio de caso en Ecuador. *Salud geoespacial*, 14(1), 59-65.

Mikkelsen, C.A. (2005) Innovaciones tecnológicas productivas agrarias en el partido de San Cayetano: implicancias en la sostenibilidad del suelo. [En línea] *Mundo Agrario*, 5(10). Disponible en: <http://www.mundoagrario.unlp.edu.ar/numeros/numero10/> ; http://www.fuentesmemoria.fahce.unlp.edu.ar/art_revistas/pr.556/pr.556.pdf

Ministerio de Producción y Ambiente. (2022). Plan Ganadero Provincial 2022-2027. Gobierno de la Provincia de Tierra del Fuego, Antártida e Islas del Atlántico Sur.

Minson, D.J. (1990). *Forage in ruminant nutrition*. San Diego, CA: Academic Press.

Mohammad, A.G., Pieper, R.D., Wallace, J.D., Holechek, J.L. y Murray, L.W. (1995). Comparison of fecal analysis and rumen evacuation techniques for sampling diet botanical composition of grazing cattle. *Journal of Range Management* 48: 202-205.

Monge, A.S. (1989). Descripción de las características epidérmicas de gramíneas del centro-este de Mendoza (Ñacuñán, Santa Rosa). *Revista Argentina de Producción Animal* 9: 57-68.

Monge, A.S. (1995). Características epidérmicas de dicotiledóneas encontradas en las dietas de herbívoros de la Reserva de Biósfera de Ñacuñán (Santa Rosa, Mendoza). *Multequina* 4: 47-57.

Mott, G. O. (1960). Grazing pressure and the measurement of pasture production. *Proceedings of the 8th International Grassland Congress*, 606-611.

Mueller-Dombois, D. y Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. Wiley.

National Research Council (NRC). (2001). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle* (7ª ed.). Washington, DC: The National Academies Press. Disponible en: <https://doi.org/10.17226/9825>

NRC (National Research Council). (2001). Nutrient requirements of beef cattle. 7th rev. ed. Washington, DC., USA. National Academy Press. 381 p. Disponible en: https://nap.nationalacademies.org/login.php?record_id=19014

Odintsov, M., Levit, H., Chincarini, M., Fusaro, I., Giammarco, M. y Vignola, G. (2021). Review: Precision livestock farming, automats and new technologies: possible applications in extensive dairy sheep farming. *Animal*, 15(3), 100143. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ANIMAL.2020.100143>

Pelliza de Sbriller, A. (1993). Acerca de la microhistología. INTA-EEA Bariloche, Comunicación técnica Recursos naturales – Dieta, 32: 75 p.

Pelliza de Sbriller, A., Willems, P., Nakamatsu, V. y Manero, A. (1997). Atlas dietario de herbívoros patagónicos. INTA-GTZ-FAO, Bariloche. ISBN 950-9853-88-7. Ed.: R. Somlo.

Perdomo, L.A., Ortiz Meneses, C.A. y Cuellar Medina, Y. (2021). La utilización de las herramientas tecnológicas en los sistemas de producción ganaderas doble propósito. I+D Revista De Investigaciones, 17(1), 34–48. Disponible en: <https://doi.org/10.33304/revinv.v17n1-2022003>

Rosati, V.R. (1991). Caracteres epidérmicos foliares de valor diagnóstico en la identificación de plantas leñosas del Chaco occidental. *Agriscientia* VIII: 41-53.

Scaglia, O.A., Velásquez, C.A. y Cahuepé, M.A. (1981). Técnica de microanálisis para el estudio de dieta en herbívoros. *Producción animal* 7: 572-576.

Sepúlveda Palma, L., Pelliza de Sbriller, A., Manacorda, M. (2004). La importancia de los tejidos no epidérmicos en el microanálisis de la dieta de herbívoros. *Ecología Austral* 14: 31-38.

Sparks, D.R., Malechek, J.C. (1968). Estimating percentage of dry weight in diets using a microscope thecniaue. *J. Range Manage.* 21:264.

Tacchini Welkerling, F., Olmedo, F., Naldini, E., Allegretti, L., Savietto, M., Iglesias, G., Peralta, I., Ramet, E., Abraham, L. y el Viera, M. (2014). Ganadería bovina de General Alvear. 1º Edición. Luján de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Cuyo. 218 pp

Van Soest, P. J. (1994). *Nutritional ecology of the ruminant* (2ª ed.). Ithaca, NY: Cornell University Press.

Viglizzo, E.F. (2014). Sistemas ganaderos y tecnología: Estado actual y prospective (Capítulo 2). En: Manejo de la Cría Vacuna en la Región Pampeana (M.A. Cauhepé, editor). Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, p. 19-37. ISBN: 978-950-504-627-0

Villalba, J.J. y Provenza, F.D. (2009). Aprendizaje y comportamiento de búsqueda de alimento: la dinámica de la alimentación en ambientes impredecibles. *Livestock Science*, 121(2–3), 117–125.

Weather spark. (sf). Clima promedio en General Alvear, Argentina durante todo el año. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/27494/Clima-promedio-en-General-Alvear-Argentina-durante-todo-el-a%C3%B1o>

Williams, O. (1969). An improved technique for identification of plant fragments in herbivore feces. *Journal of Range Management* 22: 51-52.

Yagueddú, C., Cid, M.S. y López T. (1998). Microhistological analysis of sheep gastrointestinal content to confirm poisonous plant ingestion. *Journal of Range Management* 51: 655-660.