PRODUCCIÓN GANADERA CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE

Y RESTAURACIÓN DEL SUELO EN PASTIZALES URUGUAYOS

Informe de sistematización de prácticas y tecnologías ganaderas con potencial de mitigación

Producto 4

Consultoría nacional para la elaboración del

Plan de Mitigación en Ganadería

Mayo 2023

Ganadería y Clima

Proyecto GCP/URU/034/GFF "Producción ganadera climáticamente inteligente y restauración del suelo en pastizales uruguayos"
Ejecutado por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca (MGAP) y el Ministerio de Ambiente (MA), con el apoyo técnico de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y el financiamiento del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF).

Consultoría nacional para la elaboración del Plan de Mitigación en Ganadería

Producto 4. Informe de sistematización de prácticas y tecnologías ganaderas con potencial de mitigación

Elaboración:

Carolina Balian (Consultora Nacional para apoyo en la elaboración del Plan de Mitigación en Ganadería), Andrés Castagna (Consultora Nacional para desarrollo del sistema MRV) y Felipe García (Coordinador Adjunto) por Proyecto GyC, FAO.

Revisión:

Soledad Bergós (Coordinadora Nacional), Felipe García (Coordinador Adjunto), Valentín Balderrín (Especialista en Monitoreo y Evaluación), Lucía Pais (Administrativa Contable) y Cecilia Márquez (Responsable de Comunicación) por Proyecto GyC, FAO.

Comunicación y Diseño:

Cecilia Márquez (Responsable de Comunicación por Proyecto GyC, FAO).

Revisión y aprobación final:

Cecilia Jones (MGAP), Carolyn Opio (FAO).

Montevideo, mayo de 2023

Contenido

SIGLAS Y ACRÓNIMOS 4

MARCO DEL PROYECTO GANADERÍA Y CLIMA 5

INTRODUCCIÓN 7

1. TECNOLOGÍAS QUE APUNTAN A AUMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN SISTEMAS GANADEROS DE BASE PASTORIL 11

1.1. Tecnologías transversales para la ganadería bovina y ovina 13

1.2. Tecnologías para sistemas de cría en bovinos 18

1.3. Tecnologías para sistemas de ciclo completo en bovinos 21

1.4. Tecnologías para sistemas ovinos 22

2. TECNOLOGÍAS QUE APUNTAN A REDUCIR LAS EMISIONES ABSOLUTAS DE GEI 30

2.1. Aditivos inhibidores de metanogénesis en bovinos 30

2.2. Selección genética con base en emisiones de metano 32

2.3. Incorporación de forrajes altos en taninos 33

3. TECNOLOGÍAS QUE APUNTAN AL SECUESTRO DE CARBONO 35

3.1. Secuestro de carbono en suelos 35

3.2. Secuestro de carbono en biomasa forestal 38

4. ESTUDIOS COMPLEMENTARIOS 43

REFERENCIAS 47

Siglas y acrónimos

BV	Biomasa viva
CAF	Cooperativas Agrarias Federadas
CC	Condición corporal
CH4	Metano
CN	Campo natural
CNFR	Comisión Nacional de Fomento Rural
CNM	Campo natural mejorado
CO2	Dióxido de carbono
DEP	Diferencias Esperadas en la Progenie
DGF	Dirección General Forestal - MGAP
DIEA	Oficina de Estadísticas Agropecuarias - MGAP
FAGRO	Facultad de Agronomía - Universidad de la República
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GCI	Ganadería Climáticamente Inteligente
GEF	Fondo para el Medio Ambiente Mundial
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IIP	Intervalo Inter-Parto
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
IPA	Instituto Plan Agropecuario
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
MA	Ministerio de Ambiente
MGAP	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca
MGCN	Mesa de Ganadería sobre Campo Natural
MOM	Materia orgánica muerta
MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
MS	Materia seca
N2O	Óxido nitroso
NAMA	Acción Nacional Apropiada de Mitigación
NDC	Contribución Determinada a nivel Nacional al Acuerdo de París
OPYPA	Oficina de Programación y Política Agropecuaria – MGAP
PMG	Plan de Mitigación en Ganadería
PP	Pasturas plurianuales
PV	Peso vivo
SOC	Carbono Orgánico del Suelo/Soil Organic Carbon
SUL	Secretariado Uruguayo de la Lana
UDELAR	Universidad de la República
UG	Unidades ganaderas
WRI	World Resources Institute

Marco del proyecto Ganadería y Clima

En Uruguay, más del 90 % de su superficie es adecuada para la producción agropecuaria (Uruguay XXI, 2020) y en particular, la pecuaria, ha sido históricamente uno de los rubros principales. Según datos de Uruguay XXI, la carne bovina fue el principal producto de exportación en 2019, representando un 20 % del valor total de las exportaciones.

De acuerdo con datos del Anuario Estadístico de DIEA (2020), 44.355 establecimientos ganaderos ocupan una superficie de 12.871.000 hectáreas, de las cuales aproximadamente el 85% tienen como base forrajera el campo natural. El campo natural, además de ser un valioso recurso para la producción, provee diversos servicios ecosistémicos y posee resiliencia frente a eventos climáticos extremos. Sin embargo, su potencial productivo se ha visto limitado por el sobrepastoreo lo que implica menor productividad de carne por hectárea, erosión de suelos, pérdida paulatina de materia orgánica y degradación de la biodiversidad.

Existen evidencias de que un alto número de predios ganaderos tienen niveles bajos de productividad y reducidos ingresos netos por hectárea. Según datos de la Encuesta Ganadera Nacional de 2016, se constata un bajo nivel de adopción de tecnologías, a modo de ejemplo, sólo un 43,7 % realiza revisación de toros previo al entore, un 42,5 % de los productores declaran tener el toro con el rodeo de cría todo el año y el porcentaje baja a 7,3 % cuando se consulta sobre la realización de diagnóstico de actividad ovárica. Estudios nacionales determinan una productividad media de carne por superficie de pastoreo de entre 70 y 81 kg/ha en el período 2010-2017, constatando además una fuerte brecha entre quienes alcanzan los mejores y los peores desempeños productivos. Entre el percentil 75 y el 25 de desempeño, la diferencia en productividad fue mayor a 65 kg/ha (Aguirre, 2018). Reducir esta brecha en productividad tendría un alto impacto, no solo a nivel de los establecimientos individuales sino de la economía uruguaya.

El sector agropecuario es responsable del 57% de las emisiones netas de gases de efecto invernadero en Uruguay de acuerdo al Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 2019, siendo la ganadería el principal responsable por las emisiones de metano. Por lo tanto, la ganadería se presenta como un sector estratégico para acciones de mitigación. Uruguay así lo ha definido en su primera Contribución Determinada a nivel Nacional para el Acuerdo de

París (NDC) y ha presentado metas desagregadas por gas y por sector, entre ellas la reducción de emisiones de la ganadería vacuna por kilogramo de carne producida.

La GCI propone aumentar la productividad de manera sostenible de forma de contribuir a reducir la vulnerabilidad climática y al mismo tiempo, a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En este sentido, el MGAP, en colaboración con el MA, con apoyo técnico de FAO y financiamiento del GEF, implementan desde marzo del 2019, el proyecto "Producción ganadera climáticamente inteligente y restauración de suelos en pastizales uruguayos" (GCP/URU/034/GFF), conocido como "Ganadería y Clima", con el objetivo de promover el aumento sostenible de la productividad y el ingreso neto en los sistemas ganaderos familiares y medianos, y contribuir a mitigar el cambio climático, restaurar tierras degradadas y mejorar la resiliencia en los sistemas a través de un proceso de coinnovación.

Componentes del proyecto Ganadería y Clima

El proyecto está estructurado en 3 componentes que conjuntamente contribuyen al logro del objetivo.

El Componente 1 fortalece el marco institucional y las capacidades nacionales para implementar la gestión de la GCI a gran escala. Dentro de este componente se desarrolla: (I) una Estrategia Nacional de GCI; y (II) una Acción Nacional para una Adecuada Mitigación (denominado en el contexto actual nacional Plan de Mitigación en Ganadería) con su correspondiente sistema de monitoreo, reporte y verificación (MRV) para el sector carne.

El Componente 2 trata del desarrollo e implementación de prácticas y tecnologías de GCI a nivel de 60 predios comerciales que abarcan 35.000 ha distribuidos en cuatro regiones ganaderas utilizando un enfoque de coinnovación. Establece un sistema de monitoreo para realizar el seguimiento de los impactos de los cambios introducidos en la gestión, sobre las variables relacionadas con las emisiones de GEI, el secuestro de carbono, los cambios en la vegetación y en la calidad del suelo, así como la producción y los resultados socioeconómicos.

Dentro del Componente 3 se establece un sistema de monitoreo y evaluación para una gestión del proyecto basada en resultados, incluyendo recolección de lecciones aprendidas y la gestión y el intercambio de conocimientos. Se implementa además una estrategia de comunicación con el objetivo de generar vínculos y fluidez entre todos los participantes, para comunicar actividades y resultados y asegurar una amplia difusión.

A lo largo de todo el ciclo del proyecto se incorpora de forma transversal a los 3 componentes un enfoque de género. Finalmente, el proyecto establece y mantiene lazos con proyectos anteriores e iniciativas en curso para el desarrollo de una ganadería sostenible, con el fin de compartir lecciones aprendidas y beneficiarse de las experiencias.

Introducción

En el marco del Componente 1 del proyecto "Ganadería y Clima" se elaborará una Acción Nacional Apropiada de Mitigación (NAMA), incluyendo un sistema nacional de monitoreo, información y verificación (MRV), para el sector ganadero de rumiantes. Este documento se denomina Plan de Mitigación en Ganadería (PMG) en el contexto nacional.

Este informe busca sistematizar las prácticas y tecnologías ganaderas con potencial de mitigación disponibles para la producción de carne vacuna y ovina, a ser consideradas en la elaboración del PMG en Uruguay. Las prácticas y tecnologías evaluadas aplican principalmente a sistemas ganaderos de base pastoril, que predominan en el país tanto en superficie abarcada como en producción total de carne.

En primer lugar, se identifica una serie prácticas y tecnologías que tienen como foco la mejora de la productividad y la eficiencia en los predios ganaderos. Al aumentar la productividad ganadera, estas prácticas permiten reducir la intensidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por kilogramo de carne producida. Existe relativo consenso a nivel nacional sobre cuáles son estas prácticas y tecnologías, si bien se identifican distintos enfoques que le otorgan distinto peso relativo a las tecnologías de procesos y las basadas en insumos externos.

Por un lado, existe una base sólida de investigación nacional que muestra que es posible mejorar los resultados productivos y económicos en la ganadería a través de la adopción de prácticas de manejo simples basadas en la gestión óptima del campo natural y el uso reducido de insumos externos (Modernel et

al., 2016; Paparamborda, 2017; Picasso et al., 2018; Ruggia et al., 2021; Jaurena et al., 2021). Estas prácticas de intensificación ecológica basada en el campo natural se centran en el manejo espacio-temporal del pastoreo, y han sido promovidas a nivel nacional por el proyecto Ganadería y Clima y otras iniciativas. Además de su potencial de mitigación del cambio climático, pueden generar cobeneficios vinculados a mejorar el estado del campo natural y sus servicios ecosistémicos (adaptación al cambio climático, secuestro de carbono, conservación de biodiversidad, regulación hídrica, retención de nutrientes y control de la erosión del suelo). No obstante, la producción bajo este modo de intensificación tiene un límite impuesto por la disponibilidad de agua en el suelo dado por las precipitaciones y el contenido de nutrientes del suelo, que determinan el crecimiento y valor nutricional del forraje (Jaurena et al., 2021).

Por otro lado, existen tecnologías y prácticas que permiten aumentar el nivel de productividad de los sistemas ganaderos a partir de una intensificación productiva basada en insumos externos. Estas tecnologías buscan superar las limitaciones mencionadas para seguir aumentando la producción ganadera, pero a costa de reducir muchos de los servicios ecosistémicos asociados al campo natural (Jaurena et al., 2021). A través del aumento en la productividad, estas prácticas permiten reducir aún más la intensidad de emisiones de GEI de los sistemas ganaderos, en comparación con el enfoque de intensificación ecológica. Sin embargo, algunas presentan compromisos en términos de conservación de biodiversidad, balance de nutrientes, resiliencia a eventos climáticos y la sostenibilidad de los sistemas ganaderos en el mediano y largo plazo.

En segundo lugar, se han desarrollado tecnologías que tienen un efecto directo en las emisiones absolutas de GEI de la ganadería y que no necesariamente generan un aumento en la productividad, algunas de las cuales son de más reciente introducción en el país. En esta categoría se incluyen el uso de aditivos inhibidores de la metanogénesis que permiten reducir las emisiones de metano entérico, la selección genética con base en la eficiencia en emisiones de metano (que también repercute en la eficiencia de producción de carne), y la incorporación de forrajes altos en taninos para reducir las emisiones de óxido nitroso.

En tercer lugar, hay medidas que apuntan a aumentar el secuestro de carbono, ya sea en suelos (adopción de prácticas que permiten mejorar la gestión del pastoreo, evitar la conversión de pastizales, e inclusión de pasturas perennes en rotaciones agrícolas) o en biomasa forestal (montes de abrigo y sombra, sistemas silvopastoriles, y medidas de conservación del bosque nativo).

Gran parte de los establecimientos ganaderos en Uruguay enfrentan bajos niveles de producción y de ingresos, y son vulnerables a la variabilidad y el cambio climático, lo cual se explica principalmente por el desbalance entre la producción de forraje y los requerimientos de alimento de los animales (Dogliotti et al., 2021). Este desbalance puede ser causado por una alta intensidad de pastoreo o la falta de control y gestión de ciertos procesos productivos determinantes, por ejemplo, la época y duración del entore, el momento del destete definitivo, y la no asignación del forraje con base al estado corporal y fisiológico del rodeo (Soca y Orcasberro, 1992).

En línea con lo anterior, la Encuesta Ganadera Nacional 2016 muestra un bajo nivel de adopción de tecnologías en los establecimientos: el 43,7% de los productores ganaderos revisa los toros previo al entore, el 42,5% declara tener el toro con el rodeo de cría todo el año y solo el 7,3% realiza un diagnóstico de actividad ovárica.

A su vez, la Encuesta de Buenas Prácticas Ganaderas realizada en 2020 muestra que solo el 6,5% de los predios (que ocupan el 13% de la superficie de campo natural) aplican simultáneamente las 8 prácticas de manejo definidas como estrategias proactivas para acoplar los requerimientos de los animales y la producción de forraje según Jones at al. (2020), como se muestra en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1. Adopción de prácticas de manejo en ganadería

Práctica de manejo		**Superficie de campo natural (ha)**	**Porcentaje de la superficie de campo natural**	**Porcentaje de predios**
1	Entore vaquillonas con menos de 28 meses	6.909.854	75%	62%
2	1 + Entore o inseminación estacional	5.383.300	58%	48%
3	2 + Ventas fijas (programadas con anterioridad)	4.066.269	44%	32%
4	3 + Loteo de vacas	3.642.778	39%	22%
5	4 + Realiza diagnóstico de preñez	2.984.734	32%	16%

6	5 + Destete definitivo en marzo	1.541.323	17%	9,8%
7	6 + Período de entore o inseminación nov-feb	1.344.856	15%	7,2%
8	7 + Estima disponibilidad de pasto con métodos cuali y/o cuantitativos	1.228.576	13%	6,5%

Fuente: Jones et al. (2020) en Anuario OPYPA 2020 con base en Encuesta de Buenas Prácticas Ganaderas

1. Tecnologías que apuntan a aumentar la productividad en sistemas ganaderos de base pastoril

Se identifica una serie prácticas y tecnologías que tienen como foco la mejora de la productividad y la eficiencia en los sistemas ganaderos de base pastoril. Al mejorar la productividad, estas prácticas y tecnologías resultan en una menor intensidad de emisiones de GEI por kg de carne producida. A su vez, varias de estas prácticas podrían tener un efecto adicional de mejorar la calidad de la dieta. Existe relativo consenso a nivel nacional sobre las prácticas y tecnologías que aportan a la sostenibilidad de los predios, si bien se identifican distintos enfoques que le otorgan distinto peso relativo a las tecnologías de procesos y las basadas en insumos externos. A partir de la combinación de las tecnologías, se han propuesto paquetes tecnológicos escalonados con niveles incrementales de intensificación productiva para sistemas bovinos de cría y ciclo completo y sistemas ovinos.

El enfoque de intensificación ecológica ha sido propuesto como forma de aumentar simultáneamente la producción ganadera y la provisión de servicios ecosistémicos. Consiste en la gestión óptima del campo natural y el uso reducido de insumos externos, principalmente a través del manejo espacio-temporal del pastoreo (Tittonell, 2014; Modernel et al., 2016; Paparamborda, 2017; Picasso et al., 2018; Ruggia et al., 2021; Jaurena et al., 2021). En Uruguay, hay varios proyectos que han promovido la adopción de prácticas y tecnologías consistentes con el enfoque de intensificación ecológica.

El proyecto Ganadería y Clima tiene como objetivo promover el aumento de la productividad y el ingreso neto en los sistemas ganaderos familiares y medianos, y al mismo tiempo contribuir a mitigar el cambio climático, restaurar tierras degradadas y mejorar la resiliencia en los sistemas a través de un proceso de coinnovación. El componente 2 del proyecto implica el desarrollo y la adopción de prácticas y tecnologías sostenibles en 60 predios con el apoyo de asistencia técnica[1]. Se parte de un diagnóstico individual del predio para, a partir de allí,

[1] Otro proyecto que ha trabajado en la adopción de prácticas de manejo en predios comerciales con el enfoque de coinnovación es "Ganadería Familiar Resiliente en Uruguay" ejecutado desde 2020 por la Comisión Nacional de Fomento Rural (CNFR) con el apoyo de INIA y financiamiento del programa EUROCLIMA+ de la Unión Europea. A su vez, la Fagro-Udelar, el INIA y el IPA llevan adelante proyectos de investigación sobre los efectos de estas prácticas de manejo sobre indicadores ambientales y productivos en predios comerciales y experimentales.

elaborar un plan de rediseño para cada establecimiento, desarrollado y acordado con los/as productores/as participantes.

El conjunto de prácticas y tecnologías promovidas por el proyecto se basa en la propuesta de intensificación ecológica elaborada por la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República (Fagro-Udelar). En Dogliotti et al. (2021) se sintetizan las propuestas y planes de rediseño predial elaborados por los técnicos extensionistas del proyecto con apoyo de la Fagro-Udelar y el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA).

Por otra parte, en Fernández et al. (2018) se sintetizan las prácticas y tecnologías disponibles para la ganadería en Uruguay y se presentan agrupadas en paquetes tecnológicos con niveles incrementales de intensificación. La mayoría de las prácticas consideradas coinciden con la propuesta tecnológica promovida por la intensificación ecológica. Sin embargo, incluyen algunas tecnologías que implican una mayor dependencia de insumos externos, y por lo tanto de costos, por ejemplo, el incremento del área de pasturas mejoradas y la suplementación alimenticia del ganado. Para la intensificación ecológica, estas tecnologías podrían ser útiles de forma estratégica o coyuntural siempre que se incorporen una vez que se haya logrado previamente una gestión integral de los procesos del sistema. Los paquetes tecnológicos presentados en dicho trabajo refieren a sistemas de cría bovina, sistemas de ciclo completo bovino, y sistemas ovinos.

Asimismo, Jaurena et al. (2021) resume la evidencia de investigaciones y casos de estudio sobre estrategias para intensificar la producción ganadera con base en el campo natural. Este trabajo muestra que la implementación conjunta de estas prácticas y tecnologías permite aumentar tanto la rentabilidad como la sostenibilidad ambiental de la producción ganadera en la región de los Campos. Alineados con lo presentado por Jaurena et al. (2021), en este informe se incluye a los sistemas de pastoreo continuos y rotativos dentro de las tecnologías de asignación de oferta de forraje. Cada uno tiene diferentes fortalezas en la implementación, pero no han mostrado grandes diferencias en su potencial productivo (Jaurena *et al.* 2021 y referencias allí citadas).

Este trabajo está alineado con la "Propuesta para la intensificación sostenible de sistemas ganaderos basados en Campo Natural" de la Mesa de Ganadería sobre Campo Natural (MGCN, 2020).

Por su parte, el Instituto Plan Agropecuario (IPA), un actor central en la capacitación y extensión para sistemas ganaderos, elaboró una guía sobre el manejo del rodeo de cría sobre campo natural con el objetivo de brindar pautas de manejo que ayuden a mejorar la toma de decisiones prediales (IPA, 2011). De

forma similar, el Secretariado Uruguayo de la Lana (SUL) elaboró un Manual Práctico de Producción Ovina destinado a productores de este rubro (SUL, 2018).

A continuación, se presenta una síntesis de las tecnologías y paquetes tecnológicos recomendados para los sistemas bovinos de cría y ciclo completo y sistemas ovinos, con base en los trabajos antes mencionados. Primero se presentan las tecnologías transversales y luego las que aplican a los distintos sistemas de producción.

Las tecnologías pueden ser clasificadas en aquellas de carácter estratégico, de carácter táctico, y las que apoyan la toma de decisiones (Paparamborda, 2017). Las tecnologías de carácter estratégico implican impactos de mediano a largo plazo, que le dan la estructura al sistema y definen los momentos en que ocurren los principales eventos a lo largo del ciclo de producción (Dogliotti et al., 2021). Las de carácter táctico permiten al sistema productivo adaptarse o mitigar el impacto de variaciones normales en su estado según las condiciones climáticas previas y la condición de los animales a lo largo del ciclo productivo. Se aplican según el estado del sistema en cada temporada (Dogliotti et al., 2021). Por último, las tecnologías que apoyan la toma de decisiones de manejo involucran medidas de monitoreo y control de los procesos productivos y brindan información cuantitativa sobre el estado del sistema ganadero (Dogliotti et al., 2021).

1.1. Tecnologías transversales para la ganadería bovina y ovina

Las tecnologías transversales recomendadas para sistemas bovinos y ovinos se presentan en las tablas 2 y 3. En la tabla 2 se presentan de forma integrada las tecnologías de carácter estratégico y táctico, mientras que en la tabla 3 se muestran las tecnologías que apoyan la toma de decisiones en el predio.

Tabla 2. Tecnologías de carácter estratégico y táctico recomendadas para la ganadería bovina y ovina

Tecnología	Descripción	Fuente
Control de la oferta de forraje / Manejo de la carga	Control de la asignación de forraje a pastoreo para mejorar el consumo y la partición de energía de los animales y el crecimiento del pasto. Definición y asignación de forraje de los diferentes potreros según los requerimientos de los animales, considerando condición corporal, estado fisiológico y ganancia objetivo de los mismos. Puede resultar y/o requerir ajustes de la carga ganadera total promedio y muchas veces se utiliza esa denominación y estrategia como enfoque simplificado.	**1,2,3,4,5**
Diferimiento de campo natural	Tecnología de manejo del pastoreo que implica reservar un potrero que viene del otoño con buen pasto y mantenerlo sin pastoreo, difiriendo el consumo de	**2,3,4**

	forraje hacia finales del invierno cuando hay mayor necesidad. Busca contrarrestar los efectos de la estacionalidad de la producción de forraje del campo natural, minimizando las pérdidas invernales de peso vivo. Es una reserva de forraje en pie.	
Manejo de la estructura de la vegetación del campo natural	Consiste en manejar la intensidad del pastoreo, y hasta cortes mecánicos, en momentos particulares para crear una estructura de la vegetación del campo natural que haga más eficiente la cosecha de forraje por parte de los animales.	**3**
Agua para animales	Gestionar la disponibilidad de agua para garantizar un abastecimiento adecuado y acorde a los requerimientos del ganado a lo largo del año, especialmente en períodos de mayores requerimientos y de déficit hídrico. Puede ser un factor limitante de la producción y el bienestar animal.	**2,5**
Sombra	Disponibilizar sectores con sombra para afrontar el estrés calórico en verano, lo cual permite mejorar el bienestar animal y evitar efectos adversos sobre la producción. La sombra disminuye los requerimientos para mantener la temperatura corporal de los animales durante el verano, permitiendo que más energía sea destinada a la ganancia de peso.	**2,5**
Sanidad animal [(i)]	Controlar, prevenir, diagnosticar y dar seguimiento a la presencia de enfermedades virales, bacterianas y parasitarias para evitar o disminuir las pérdidas por muertes, pérdidas en reproducción, ganancia de pesoy otras afectaciones en la producción animal. Utilización de diagnósticos y análisis, medicamentos preventivos, vacunas y antiparasitarios.	**2,4,5**
Fertilización de campo natural	Fertilizar el campo natural buscando mejorar la producción de forraje del campo natural (en particular, en invierno) y la calidad del mismo (en verano) para aumentar la capacidad de conversión de pasto a carne. Se puede realizar en primavera o en otoño, dependiendo de las necesidades y la estrategia productiva del predio. Se debe seleccionar el campo a fertilizar con base en su potencial de producción (alto) y la presencia de malezas (baja), entre otros factores. Si bien la aplicación de fertilizantes permitiría aumentar la productividad y calidad nutritiva del campo natural, también genera un aumento en las emisiones directas y puede reducir la diversidad de especies y favorecer la invasión de especies exóticas.	**2,3**
Mejoramiento de campo natural con especies C3	Sembrar especies de leguminosas o pastos anuales sobre coberturas de campo natural. Esto permite reducir la estacionalidad e incrementar la productividad en el corto plazo del campo natural. Esta tecnología debe ser manejada con cuidado y conocimiento, ya que puede	**2,3,4**

	derivar en un deterioro de la comunidad de especies nativas del pastizal y la invasión de especies exóticas no deseadas.	
Implantación de pasturas anuales o perennes	Las pasturas sembradas se realizan mediante la implantación de especies exóticas de pastos y leguminosas con fertilización que reemplazan los pastizales nativos. Estas son más utilizadas en sistemas más intensivos pero pueden usarse de manera estratégica (cubriendo aproximadamente un 10% de la superficie ganadera) en sistemas menos intensivos. Las pasturas perennes son utilizadas para priorizar la alimentación de las categorías de animales con mayores requerimientos, ya que tienen un mayor pico de productividad y valor nutritivo. A pesar del aumento de productividad en el corto plazo, las pasturas sembradas tienen una persistencia corta, una alta sensibilidad al clima y requieren mayores gastos de mantenimiento en comparación con los pastizales naturales. Además, la transformación de pastizales naturales en tierras de cultivo modifica las stocks y flujos originales de carbono (C) y nutrientes de esos ecosistemas (Jaurena et al. 2021). Asimismo, los resultados del proyecto Ganadería y Clima indican que la inclusión de pasturas mejoradas sólo aumenta la productividad cuando viene acompañada por cambios en la gestión del sistema, ya que no se observa una correlación estadísticamente significativa entre el área de mejoramientos y la productividad antes del rediseño de los sistemas ganaderos en los predios beneficiarios. Esta condición también es recogida por Jaurena et. al. (2021)	**2,3,4,5**
Suplementación	La suplementación alimenticia puede utilizarse para superar las restricciones nutritivas de los pastizales. En general, el contenido de energía y proteína cruda de los pastizales naturales no es suficiente para satisfacer los requisitos potenciales de crecimiento de los animales jóvenes durante varios meses del año, aunque puede haber excepciones en la primavera o en suelos buenos sin restricciones de agua y buen manejo de la oferta de forraje. Los suplementos alimenticios pueden incluir concentrados de minerales, proteínas o energía, raciones balanceadas o forraje preservado. La suplementación se puede utilizar de forma estratégica para evitar la pérdida de peso durante el invierno, mantener la oferta de forraje y la carga animal a pesar de una baja producción de pasto, recuperar vacas primíparas o adultas con un bajo nivel de condición corporal, y anticipar la edad de faena de los animales en terminación. No se recomienda la suplementación para aumentar la carga a bajas ofertas de forraje, ya que podría llevar al sobrepastoreo.	**2,3,4,5**

Mejoramiento genético y cruzamientos	Mejorar el genotipo de los animales del establecimiento a través de la selección de reproductores con características genéticas que mejoren el desempeño productivo y la rentabilidad del negocio. Implica evaluar las características genéticas de los animales que se reflejarán en la productividad del establecimiento considerando una combinación de características deseables, que mejor se adapten a su sistema y objetivos de producción. Esto incluye la utilización de evaluaciones genéticas de la progenie (DEPs) y la selección genética con base en emisiones de metano (que se detalla en la sección 2.2.). Realizar cruzamientos genéticos permite mejorar la eficiencia reproductiva, el crecimiento pre y post destete, y el peso y edad de faena. Es una tecnología que implica cruzar razas de distintos grupos (británicas, europeas continentales e índicas) buscando obtener mayores fortalezas productivas en las cruzas.	**2,4,5**

Fuente: Elaboración propia con base en (1) Dogliotti et al. (2021), (2) Fernández et al. (2018), (3) Jaurena et al. (2021), (4) IPA (2011) y (5) SUL (2018)

[(i)] La sanidad animal afecta la intensidad de las emisiones de GEI de la ganadería a través de la reducción de la eficiencia y las "emisiones improductivas" relacionadas con la mortalidad y la morbilidad de los animales (Özkan et al., 2022). La morbilidad disminuye la tasa de crecimiento y el peso vivo de los animales y lleva a una menor eficiencia en la utilización del alimento, así como a un menor desempeño reproductivo y rendimiento de leche (FAO y NZAGRC, 2017 citado en Özkan et al., 2022). Uno de los impactos inmediatos de las enfermedades en los animales es la reducción en la ingesta voluntaria de alimento. Además, la digestión, absorción y utilización de nutrientes pueden verse comprometidas, principalmente en casos de parásitos gastrointestinales (Özkan et al., 2022). Los requerimientos alimenticios de mantenimiento, especialmente los de proteínas, pueden aumentar y la disponibilidad de nutrientes para el mantenimiento puede disminuir, lo cual hace que los animales sean más vulnerables (Mackenzie y Kyriazakis, 2021 citados en Özkan et al., 2022). La buena salud animal es un requisito previo para que otras medidas de mitigación puedan alcanzar su máximo potencial (por ejemplo, la introducción de mejoramientos y el uso de aditivos alimentarios) (Özkan et al., 2022).

Tabla 3. Tecnologías de apoyo a la toma de decisiones recomendadas para la ganadería bovina y ovina

Tecnología	Descripción	Fuente
Observación de la condición corporal	La condición corporal (CC) es una variable que se puede controlar, influyendo a través de la oferta de forraje. Es así que a partir de clasificar las vacas por la CC al destete, invierno, parto y lactancia se toman decisiones sobre asignación de forraje, flushing y control del amamantamiento. En el caso de vacas de cría, la escala propuesta en Uruguay posee ocho categorías de CC donde 1 identifica a una vaca muy flaca y 8 al extremo opuesto. En los rodeos de cría uruguayos las clases que más abundan son la 3, 4 y 5. Dentro del rango 2 al 6 una unidad de estado corresponde, en promedio, a 25-34 kg de peso vivo. En el caso de los ovinos, la escala propuesta tiene categorías del 0 al 5. La condición 0 refiere a un animal extremadamente flaco y la 5 a un animal en muy buenas condiciones corporales.	**1,2,3,4,5**
Estimación de disponibilidad de pasto	La altura de pasto es un indicador de disponibilidad de materia seca por unidad de superficie y es una forma objetiva de conocer la disponibilidad de forraje. Se estima que 1 cm de pasto equivale a 300 kg de MS de forraje disponible por hectárea en campo natural. Por otro lado, existe información que relaciona la altura de pasto con la evolución de la condición corporal. Por tanto, conociendo la altura del pasto, se puede estimar la cantidad de forraje disponible, la capacidad de crecimiento del mismo y se puede proyectar si los animales van a perder, mantener o ganar condición corporal, siempre relacionándolo a la dotación y el estado fisiológico de los animales, es decir la demanda de energía. La regla es una herramienta sencilla que permite medir de forma precisa la altura del pasto. De todas maneras dicha estimación puede hacerse con métodos cuantitativos (regla) o cualitativos (observación).	**1,2**
Diagnóstico de actividad ovárica a mitad de entore	El diagnóstico de actividad ovárica, recomendado para implementar a mitad del período de entore, permite determinar el estado fisiológico a nivel del ovario de las vacas. Permite identificar vacas preñadas, vacas ciclando normalmente, vacas en anestro superficial y vacas en anestro profundo. Esta información específica por vaca, es relevante para definir el manejo particular a realizar en cada vaca o lote de vacas con el fin de preñar la mayor cantidad de animales en determinado período de tiempo.	**1,4**

Diagnóstico de preñez luego del período de entore o encarnerada	El diagnóstico de gestación de las vacas y ovejas permite conocer la cantidad de animales preñados y vacíos, y definir manejos diferenciales. Esto implica priorizar la asignación de alimento a los animales preñados y, por ejemplo, la venta de animales vacíos. En el caso de la producción vacuna, se realiza con ecógrafo o por tacto rectal entre uno y dos meses posteriores a retirar el toro del rodeo. En el caso de la producción ovina, se realiza con ecógrafo y sirve para identificar las ovejas preñadas de dos o más corderos, que tienen mayores requerimientos nutricionales.	**1,2,4,5**
Análisis y diagnósticos sanitarios disponibles	Controlar y dar seguimiento a la presencia de enfermedades con análisis y revisaciones para definir manejo o tratamiento adecuado. Esto incluye análisis de enfermedades, parásitos y sangre de los animales, y revisación física, comportamental y fisiológica de reproductores. Estas medidas buscan evitar o disminuir las pérdidas por muertes, las pérdidas en la reproducción y las afectaciones en la producción animal.	**2,4,5**

Fuente: Elaboración propia con base en (1) Dogliotti et al. (2021), (2) Fernández et al. (2018), (3) Jaurena et al. (2021), (4) IPA (2011) y (5) SUL (2018)

1.2. Tecnologías para sistemas de cría en bovinos

Las tecnologías específicas que aplican a sistemas de cría en bovinos se presentan en las tablas 4 y 5 a continuación. En la tabla 4 se muestran las de carácter estratégico y en la tabla 5 las de carácter táctico. No se incluyen las que ya fueran identificadas como tecnologías transversales en las tablas 2 y 3.

Tabla 4. Tecnologías de carácter estratégico recomendadas para sistemas de cría bovina

Tecnología	Descripción	Fuente
Entore concentrado en primavera y verano	Entore durante primavera y verano por un período no mayor a 90 días. En zonas de suelo superficial y en veranos con pronóstico de déficit hídrico se debe preñar la mayor cantidad de vacas posible antes de fin de diciembre. Esto permite sincronizar los mayores requerimientos de energía por lactancia, recuperación de peso y reproducción en la época de mayor producción de forraje. Esto también colabora para lograr un alto porcentaje de preñez en el primer y segundo entore, reducir al mínimo las pérdidas de vacas y terneros al parto y destetar terneros de buen peso.	**1,2,4**
Destete definitivo en otoño temprano	El destete definitivo se debe realizar en otoño temprano, idealmente en marzo. Esto permite disminuir los requerimientos de energía de las vacas en otoño. Esta medida, combinada con el pastoreo en	**1,4**

	potreros reservados con al menos 8 cm de campo natural, permite incrementar la condición corporal de las vacas 1 a 1,5 puntos, para entrar al invierno con condición corporal de 5 a 5,5 (el mayor valor es imprescindible en el caso de las vacas primíparas).	
Manejo de la recría y edad al entore de las vaquillonas	Las terneras no deben perder peso durante el primer invierno de vida luego del destete definitivo, y en lo posible tener ganancias de peso moderadas durante sus dos primeros inviernos de vida (de 20 kg como mínimo) para alcanzar un comportamiento reproductivo adecuado como máximo a los dos años. Es necesaria una adecuada oferta de forraje de campo natural y/o mejoramientos y/o suplementación energética. Luego del primer invierno, con una adecuada oferta de forraje de campo natural, normalmente las vaquillonas llegan en peso y condición corporal adecuada para el entore, en noviembre del segundo año de vida.	**1,2**
Mejora de la alimentación de las primíparas al parto y segundo entore	Las vacas primíparas que al momento del parto tienen una condición corporal de 4,5 puntos (deben entrar al invierno con al menos 5,5 puntos), y que recuperan esa condición corporal luego del parto, tienen mayores probabilidades de preñarse en el segundo entore. La mejora de la condición corporal en primíparas puede darse con adecuada oferta de forraje de campo natural o pastoreo de campo natural mejorado para mejorar el balance de energía de las vacas primíparas durante el período parto – inicio del entore.	**1,2**

Fuente: Elaboración propia con base en (1) Dogliotti et al. (2021), (2) Fernández et al. (2018) y (4) IPA (2011)

Tabla 5. Tecnologías de carácter táctico recomendadas para sistemas de cría bovina

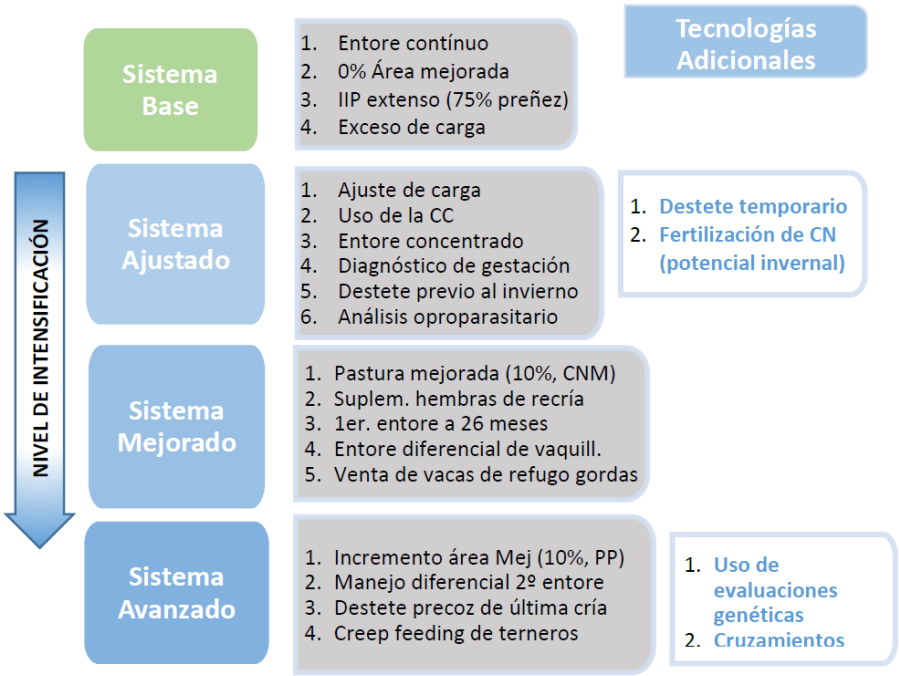
Tecnología	Descripción	Fuente
Destete temporario	El destete temporario consiste en colocar una tablilla nasal al ternero, de más de 45 días de edad y un mínimo de 60 kg de peso vivo, durante 11 a 14 días. El destete temporario reduce la producción de leche y por ende los requerimientos de energía, mejorando el balance de energía de la vaca que a su vez induce una respuesta fisiológica de inicio del ciclo estral. La respuesta de las vacas al destete temporario depende de la condición corporal de la vaca al momento de la intervención. Las vacas con condición corporal de 3,5 a 4 al inicio del entore presentan la mayor respuesta al destete temporario.	**1,2,3,4**
Destete temporario y flushing	Cuando la posibilidad de asignar adecuada oferta de forraje a las vacas durante todo el período de entore es	**1**

	reducida, se pueden suplementar o incrementar su consumo durante 21 a 25 días, en simultáneo con el destete temporario. Esto incrementa el consumo de energía, mejorando aún más el balance de energía e incrementando el nivel de hormonas metabólicas involucradas en las mejoras reproductivas.	
Destete precoz	El destete precoz consiste en destetar definitivamente los terneros cuando estos tienen entre 60 y 90 días de edad. Es una técnica adecuada para mejorar el estado nutricional de las vacas durante el entore y consecuentemente su eficiencia reproductiva, ya que elimina los requerimientos de nutrientes para producción de leche. Implica mayores costos para la crianza del ternero destetado. El efecto del destete precoz es mayor en vacas que presentan al parto o inicio del entore menor a 3.5.	**1,2,3,4**

Fuente: Elaboración propia con base en (1) Dogliotti et al. (2021), (2) Fernández et al. (2018), (3) Jaurena et al. (2021) y (4) IPA (2011)

Los paquetes tecnológicos propuestos por Fernández et al. (2018) para la cría bovina se muestran en la figura 1. Se asume una situación de partida (sistema base) de escaso nivel tecnológico y se plantean escalonamientos hacia un mayor nivel de intensificación. El primer escalón (sistema ajustado) incluye aquellas tecnologías que deberían ser aplicadas en primer lugar y que en general son más fáciles de implementar. El tercer escalón agrupa las tecnologías que pueden ser aplicadas en escalas más desarrolladas e implican seguramente mayor complejidad.

Figura 1. Paquetes tecnológicos incrementales para la cría bovina



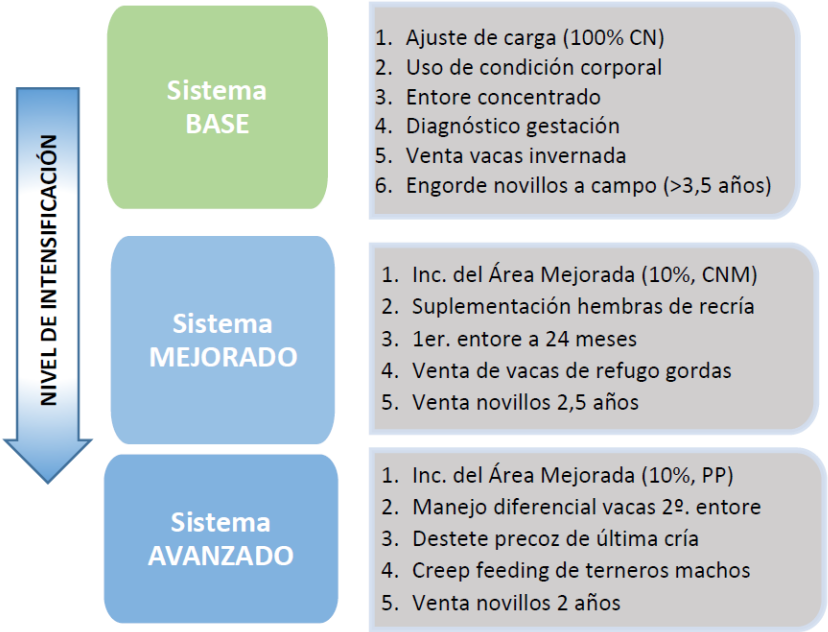
Notas
IIP: Intervalo Inter-Parto
CC: condición corporal
CN: campo natural
CNM: campo natural mejorado
PP: pasturas plurianuales

Fuente: Fernández et al. (2018)

1.3. Tecnologías para sistemas de ciclo completo en bovinos

Los paquetes tecnológicos incrementales propuestos por Fernández et al. (2018) para los sistemas de ciclo completo en bovinos se muestran en la figura 2. De forma similar al caso de cría bovina, se parte de una situación de partida (sistema base) de escaso nivel tecnológico y se plantean escalonamientos hacia un mayor nivel de intensificación. Para los sistemas de ciclo completo, se plantean dos escalones: el primero implica un sistema mejorado y el segundo implica un sistema avanzado.

Figura 2. Paquetes tecnológicos incrementales para los sistemas de ciclo completo en bovinos



Notas
CC: condición corporal
CN: campo natural
CNM: campo natural mejorado
PP: pasturas plurianuales

Fuente: Fernández et al. (2018)

1.4. Tecnologías para sistemas ovinos

Las tecnologías recomendadas específicamente para sistemas ovinos en Fernández et al. (2018) se presentan en la tabla 6. La descripción se basa en el Manual Práctico de Producción Ovina del Secretariado Uruguayo de la Lana (SUL, 2018). En la tabla 2 y 3 se incluían las tecnologías transversales para sistemas ganaderos que aplican tanto a producción bovina como ovina.

Tabla 6. Tecnologías recomendadas para sistemas ovinos

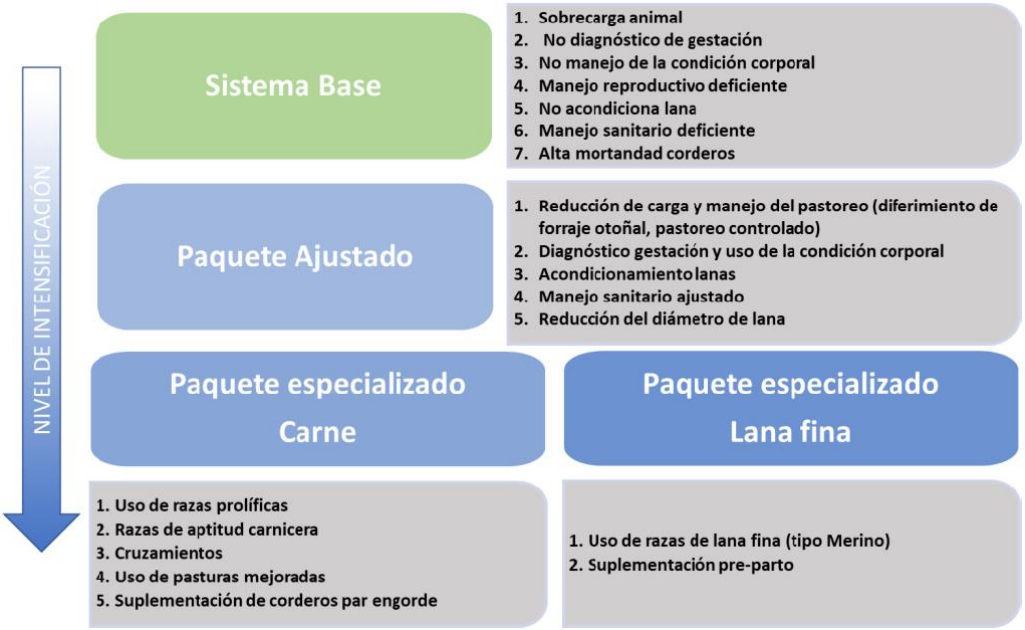
Tecnología	Descripción	Fuente
Creep feeding	Alimentación diferencial del cordero al pie de la madre para aumentar la ganancia de peso de corderos. El cordero se acostumbra al suplemento con la madre y luego se le permite el acceso sólo al cordero. Puede duplicar la ganancia de peso de los corderos.	**2,5**
Esquila preparto	La esquila previa al parto permite mejorar los índices de preñez, en combinación con otras medidas con el mismo objetivo. Debe realizarse entre 30 y 45 días previo al comienzo de los partos. Se debe asegurar buena calidad y cantidad de alimento posterior a la esquila, ya que en esta etapa aumentan los requerimientos nutricionales. Sobre todo en momentos de crisis forrajera, es necesario tomar medidas de protección, por ejemplo, usando peines adecuados y capas de protección post-esquila.	**2,5**
Suplementación preparto	Suministrar suplemento alimenticio a las ovejas en preparto para aumentar su ganancia de peso. Las ovejas de preparto están en la pastura durante el día y se encierran por la tarde en el corral donde reciben concentrado. Es conveniente lotear las ovejas por condición corporal y carga fetal, suplementando con prioridad a las ovejas de condición igual o menor a 2 y las ovejas con mellizos. Se recomienda una suplementación energética (granos enteros, afrechillos, cascarilla de soja) del orden de 0.6 a 1% del peso vivo, aunque en condiciones de emergencia climática pueden requerir una dosis mayor.	**2,5**

Suplementación pre-encarnerada (flushing)	Suministrar suplemento alimenticio a las ovejas previo a la encarnerada para aumentar su ganancia de peso. En la encarnerada, a mayor escala de condición corporal, mayor tasa ovulatoria y menores pérdidas embrionarias, pudiendo esperar mayores tasas de preñez.	**2,5**
Encierro al parto	El objetivo es cuidar el estado de salud, dar abrigo y evitar predadores para las ovejas y los corderos al momento del parto y posparto inmediato. Las ovejas se ubican en las parideras cuando están en trabajo de parto o inmediatamente después de este. Si las condiciones climáticas son buenas, se puede dejar que termine de parir y limpie los corderos en el potrero o en el encierro y luego llevarla a la paridera, pero si el clima es desfavorable se ingresan cuando comienzan con trabajo de parto. Al encierro, se le provee fardo, concentrado, agua, y se vigila el comportamiento de los corderos.	**2,5**

Fuente: Elaboración propia con base en (2) Fernández et al. (2018) y (5) SUL (2018)

De forma similar al caso de la cría y el ciclo completo en bovinos, en Fernández et al. (2018) se proponen paquetes tecnológicos incrementales para los sistemas ovinos, presentados en la figura 3. Se parte de un sistema base y se evoluciona hacia un sistema ajustado, para luego avanzar hacia un sistema especializado en carne o lana fina.

Figura 3. Paquetes tecnológicos incrementales para los sistemas ovinos



Fuente: Fernández et al. (2018)

Resultados de la adopción de las tecnologías

En el marco del proyecto Ganadería y Clima se realizó el monitoreo y la evaluación de los resultados obtenidos en los predios beneficiarios a partir de la implementación de prácticas y tecnologías consistentes con el enfoque de intensificación ecológica. Los resultados de los primeros dos años muestran mejoras en los indicadores económicos y productivos y, al mismo tiempo, una reducción en las emisiones de GEI.

A pesar de las condiciones climáticas adversas marcadas por dos años de déficit hídrico declarados como emergencia agropecuaria y la heterogeneidad social y productiva encontrada en la línea de base, el ingreso neto familiar promedio aumentó en un 59% a precios corrientes y en un 32% a precios constantes en los primeros dos años del proyecto (Dogliotti et al., 2022). Esta mejora se explica por un aumento del ingreso bruto total y costos totales constantes. El incremento del ingreso bruto se debió a un aumento del 9% en la producción de carne vacuna por unidad de superficie a pesar de que se redujo la carga vacuna. La reducción de la carga animal contribuyó a mejorar la producción por hectárea, debido a que un incremento en la oferta de forraje mejoró el consumo de energía y la producción por animal (Dogliotti et al., 2022).

Cabe destacar que los resultados productivos podrían haber registrado mayores cambios bajo condiciones climáticas normales: por ejemplo, el proyecto "Coinnovando para el desarrollo sostenible de sistemas de producción familiar

de Uruguay" (Coinnovando Rocha) que apoyó la asistencia técnica de 7 predios ganaderos entre el ejercicio 2012-2013 y el 2014-2015 con un enfoque similar a Ganadería y Clima, logró aumentar en 22% la producción de carne (Ruggia et al., 2021).

En promedio, en el ejercicio 2021-2022 se logró una reducción de emisiones de GEI por hectárea de 10,5%, principalmente por una reducción de la carga ganadera, y una reducción de emisiones por kilogramo de carne producido de 23,5%, explicada mayormente debido a la mejora en la productividad de carne por animal (Dogliotti et al., 2022). En la tabla 7 se resumen los principales resultados productivos, económicos y de emisiones de GEI al cerrar el segundo año de implementación del proyecto.

Tabla 7. Resultados prediales al segundo año de implementación del proyecto Ganadería y Clima

	Línea de base	Proyecto (2 años)
Preñez (%)	74%	82%
Carga total (UG/ha)	0,84 ±0,02 a	0,75 ±0,02 b
Producción de carne vacuna (kg/ha)	79 ±3 a	85 ±3 b
Producción de carne vacuna (kg/UG)	114 ±3 a	132 ±3 b
Producción de carne ovina (kg/ha)	10 ±1 a	12 ±1 b
Producción de carne ovina (kg/UG)	90 ±7 a	143 ±7 b
Ingreso Bruto (US$/ha)	152 ±6 a	179 ±6 b
Costos totales (US$/ha)	103 ±4 a	100 ±4 a
Ingreso Neto (US$/ha)	48 ±6 a	79 ±6 b
Ingreso Neto a precios constantes (US$/ha)	47 ±6 a	62 ±6 b
Emisiones GEI totales (kg CO2eq/ha)	1.847	1.692
Intensidad de emisiones GEI (kg CO2 eq/kg carne PV)	21,3	17,1

Nota: A continuación de los valores de las variables productivas y económicas se incluye el desvío estándar y las letras a/b indican si existen diferencias significativas al 5% entre la línea de base y los ejercicios del proyecto (cuando las letras no coinciden).

Fuente: Dogliotti et al. (2022)

Además de estos resultados, se observó una mejora en la resiliencia de los sistemas ganaderos ante eventos climáticos extremos. Mientras que la

producción de forraje se redujo un 6% en los predios beneficiarios del proyecto en el contexto de sequía, la caída fue de 8% en los predios vecinos. Esto se puede explicar porque, en comparación con los pastizales sobrepastoreados, un pastizal con mayor asignación de forraje favorece plantas con más área foliar y sistemas de raíces más profundos y densos, lo que aumenta la resiliencia de los pastizales ante eventos extremos (Orcasberro et al., 2022). Adicionalmente, en el proyecto se observó un efecto amortiguador de las buenas prácticas de manejo sobre el impacto de la sequía en la producción: durante el ejercicio más afectado por la sequía (2022-2023), mientras que el porcentaje de preñez de los predios beneficiarios se mantuvo por encima de la línea de base, la tasa de preñez de referencia (taller de evaluación de los diagnósticos de gestación vacuna de INIA Treinta y Tres) cayó a niveles inferiores a la línea de base.

Asimismo, la adopción de prácticas de manejo basadas en la gestión espacio-temporal del pastoreo permite evitar el sobrepastoreo, previene la pérdida y promueve el secuestro de carbono orgánico del suelo (como se desarrolla en la sección 3.1). Algunos estudios nacionales también muestran evidencia de que los pastizales bajo un buen manejo tienen menor tasa de erosión del suelo que los pastizales sobrepastoreados, y la diferencia se vuelve mayor con respecto a la agricultura continua (Modernel et al., 2016). Un mejor manejo también puede traer mejoras en la biodiversidad de los sistemas ganaderos (Azpiroz et al., 2009; Blumetto, 2022; Modernel et al., 2016; Picasso et al., 2014). El pastoreo moderado genera potreros con una estructura vegetal heterogénea, la cual proporciona refugio y contribuye a conservar ciertas especies, particularmente de aves (Modernel et al., 2016; Ruggia et al., 2021). En contraste, la baja asignación de forraje o la alta carga ganadera es identificada como uno de los principales impulsores de la reducción en la diversidad de especies de plantas de pastizales en la región del Río de la Plata (Chaneton y Facelli, 1991; Altesor et al., 1998; Ghersa y Leon, 1999; Altesor et al., 2005; Overbeck et al., 2007; Loydi, 2012 citados en Modernel et al., 2016).

Por otra parte, en Fernández et al. (2018) se estiman, a partir de un modelo, los resultados productivos y económicos de la aplicación de algunas de las tecnologías propuestos para los sistemas de cría, ciclo completo y engorde en vacunos. A modo ilustrativo, aquí se presentan los resultados para el sistema ajustado en sistemas de cría y la incorporación de dos tecnologías adicionales (destete temporario y fertilización del campo natural). Los resultados muestran que estas tecnologías permiten lograr una mejora importante en los indicadores productivos y económicos de los predios.

En la tabla 8 se muestran los indicadores productivos y económicos del sistema base y ajustado. Este corresponde a un predio modelado de 500 ha de campo natural con una producción de forraje de 3.600 kg MS/ha/año, que representa un establecimiento sobre suelos de Basalto con una proporción similar de suelos superficiales, medios y profundos. El sistema estabiliza su stock, ventas e ingreso en el año 6 luego de la intervención (Fernández et al., 2018).

Tabla 8. Resultados productivos y económicos por la adopción del sistema ajustado

INDICADORES	**SISTEMA BASE (año 0)**	**SISTEMA AJUSTADO (Año 6)**
Producción forraje CN (kgMS/ha/año)	3640	4000
Vacas de cría (entoradas)	275	280
Dotación (UG/ha)	0,83	0,73
Edad de primer entore (meses)	38	26
Preñez por categoría (%)		
Vaquillonas	85	90
Vacas 2do entore	60	75
Vacas adultas	65	78
Porcentaje de marcación (%)	61	72
Eficiencia (kg ternero dest/vaca ent)	**82**	**111**
Ventas por categoría (cabezas-kg PV)		
Terneros	84-130	102-160
Terneras	30-120	15-150
Vacas de invernada	42-340	73-380
Producción de Peso Vivo (kg/ha/año)	**58**	**93**
Producto Bruto (USD/ha/año)	89	145
Costos directos (USD/ha/año)	61	65
Costo Asesoramiento (USD/ha)	-	5
Margen Bruto (USD/ha/año)	**28**	**75**
Costos fijos (USD/ha/año)	20	22
Margen Neto (USD/ha/año)	**8**	**53**

Fuente: Fernández et al. (2018)

Este análisis muestra que con la adopción del sistema ajustado se espera un incremento significativo en la producción de carne del 60% (de 58 a 93 kg/ha/año) al cabo de 6 años. Se espera que el margen bruto aumente en 168% (de 28 a 75 US$/ha/año), mientras que se proyecta que el margen neto se multiplique por 6,6 (de 8 a 53 US$/ha/año). A su vez, los análisis de sensibilidad sobre el margen neto realizados muestran que en el sistema base existe una probabilidad del 27% de enfrentar un ingreso igual a cero o negativo, mientras que esta probabilidad se reduce al 2% en el sistema ajustado (Fernández et al., 2018). Sin embargo, cabe mencionar que el margen neto de US$ 8/ha/año estimado para el sistema base no le pone valor a la mano de obra, por lo que la brecha con el sistema ajustado podría ser menor a la estimada.

Asimismo, se estima que al implementar el sistema ajustado la intensidad de emisiones de metano entérico se reduciría un 40% (de 18,6 a 11,1) estimada en

kg CO2 equivalente por kg de peso vivo, mientras que si se mide por hectárea, la reducción sería de 2%. Cabe destacar que estas estimaciones no consideran las emisiones de óxido nitroso provenientes de la orina y heces y del uso de fertilizantes y los resultados del sistema ajustado se encuentran por debajo de los mínimos observados a nivel nacional por el estudio de Huella Ambiental de la Ganadería (MGAP-MA-INAC-INALE-INIA, 2022).

Además de evaluar los resultados productivos y económicos esperados por la adopción del sistema ajustado, en Fernández et al. (2018) se evalúa la incorporación de dos tecnologías adicionales: el destete temporario y la fertilización nitrogenada del campo natural. Cabe destacar que el retorno económico de la práctica de fertilización es muy dependiente del costo del fertilizante nitrogenado (Fernández et al., 2018). Asimismo, como se señala en la tabla 2, si bien la aplicación de fertilizantes permitiría aumentar la productividad y calidad nutritiva del campo natural, también genera un aumento en las emisiones directas y puede reducir la diversidad de especies y favorecer la invasión de especies exóticas (Jaurena et al., 2021). En la tabla 9 se muestran los resultados económicos y productivos de esta transición. Se trabaja con un predio de 500 hectáreas y se asume la aplicación de urea anualmente a un 10% del área del predio.

Tabla 9. Resultados productivos y económicos con la adopción del sistema ajustado y medidas adicionales: destete temporario (DT) y fertilización de campo natural (Fert CN) en un predio de 500 hectáreas

INDICADORES	**SISTEMA AJUSTADO**	**SISTEMA AJUSTADO + DT**	**SISTEMA AJUSTADO + Fert CN**
Producción forraje CN (kgMS/ha/año)	4000	4000	4185
Vacas de cría (entoradas)	280	278	304
Dotación (UG/ha)	0,73	0,73	0,76
Edad de primer entore (meses)	26	26	26
Preñez por categoría (%)			
Vaquillonas	90	90	90
Vacas 2do entore	75	80	75
Vacas adultas	78	83	78
Porcentaje de marcación (%)	72	76	72
Eficiencia (kg ternero dest/vaca ent)	**111**	**116**	**111**
Ventas por categoría (cabezas-kg PV)			
Terneros	102-160	108-160	109-160
Terneras	15-150	27-150	17-150
Vacas de invernada	73-380	67-380	77-380
Producción de Peso Vivo (kg/ha/año)	**93**	**93**	**98**
Producto Bruto (USD/ha/año)	145	148	152
Costos directos (USD/ha/año)	65	65	72
Costo Asesoramiento (USD/ha)	5	5	5
Margen Bruto (USD/ha/año)	**75**	**77**	**75**
Costos fijos (USD/ha/año)	20	20	20
Margen Neto (USD/ha/año)	**55**	**57**	**55**

Fuente: Fernández et al. (2018)

Con la incorporación del destete temporario en el sistema ajustado, si bien no hay una variación significativa de la producción de carne, el margen bruto aumenta en 3% y el margen neto en 8%. Por su parte, con la fertilización del 10% del área de campo natural se logra aumentar la producción de carne en un 5%, mientras que el margen bruto se mantiene constante y el margen neto se incrementa en 4%.

2. Tecnologías que apuntan a reducir las emisiones absolutas de GEI

2.1. Aditivos inhibidores de metanogénesis en bovinos

El uso de aditivos inhibidores de la metanogénesis permite reducir las emisiones de metano generadas por la fermentación entérica derivada del proceso de digestión anaeróbica en bovinos, sin afectar negativamente el desempeño productivo (OPYPA, 2022). Los aditivos pueden ser utilizados como manipuladores de la fermentación ruminal con la finalidad de mejorar la eficiencia de conversión de alimentos a producto en vacunos y ovinos en la etapa de crecimiento y engorde (Santini et al., 1983 citado en Crespi et al., 2003).

La mayoría de las opciones de aditivos para alimentación animal se adaptan a los sistemas de engorde a corral, donde se suministran mezclados en la ración que recibe el animal diariamente. No existe evidencia suficiente sobre el nivel de mitigación que se puede lograr cuando el aditivo se proporciona en un suplemento que el animal consume con menor frecuencia, como es el caso de los sistemas basados en pastoreo (Hegarty et al., 2021). Asimismo, para el uso comercial de los aditivos en los establecimientos ganaderos, se identifica la necesidad de realizar estudios altamente replicados de las respuestas de la producción animal a la inclusión de los aditivos, así como difundir información sobre los distintos compuestos (Hegarty et al., 2021).

Un estudio sobre los principales 10 compuestos que están siendo utilizados o estudiados a nivel global por su eficacia en la reducción de emisiones de metano entérico en rumiantes (Hegarty et al., 2021) mostró que solo dos de los compuestos estudiados (**3-nitrooxipropanol** y ***Asparagopsis*** o alga roja) han resultado en una reducción estable de más del 20% de estas emisiones. El **nitrato dietético** es el tercer aditivo más eficaz y puede resultar en una mitigación de al menos 10% de las emisiones de metano entérico, mientras que el resto de los compuestos estudiados tienen un potencial menor.

Con respecto al uso de aditivos inhibidores de metanogénesis en Uruguay, el producto **Rumensin** (compuesto monensina) es un producto que se utiliza ampliamente en raciones balanceadas desde hace varios años, principalmente por sus beneficios en ganancia de peso y en la prevención y control de enfermedades en los animales como el meteorismo espumoso y la cetosis metabólica en bovinos.

- Potencial de mitigación: permite una reducción de 7% de las emisiones de metano entérico en bovinos (Odongo et al., 2007).

- Administración: la administración puede ser en raciones (2 g/día/animal) o como bolo intraruminal (1,35 g/día/animal durante 100 días).
- Costo: el costo anual por el uso de este producto es de 8 US$/animal si se administra en raciones y de 21 US$/animal si se administra como bolo intraruminal.
- Efectos sobre producción animal: mejora la eficiencia alimenticia en vacas de carne mediante un mejoramiento en la correlación de alimento con peso de la vaca y permite aumentar la producción de leche reduciendo síndromes de cetosis, acidosis y timpanismos en vacas lactantes.

En la Unión Europea, el uso de la monensina como promotor de crecimiento está prohibido (solo se autoriza para el control de ciertas enfermedades en aves de corral), mientras que en Brasil los ionósforos son uno de los aditivos alimentarios más utilizados en rumiantes (Ferraz y Carvalho, 2022). En Australia, la monensina está registrada para su uso en ganado vacuno (Dutta et al. 2019). Según Hegarty et al. (2021) es posible que se limite o prohíba el uso de monensina en otros países en el futuro. Además, es poco probable que la monensina se expanda en el mercado como aditivo inhibidor de metanogénesis dado su escaso potencial de mitigación y que ya tiene amplia disponibilidad en varios países (Hegarty et al., 2021).

Por otra parte, **Bovaer** (compuesto 3-nitrooxipropanol) es un producto que tiene mayor potencial de mitigación, pero que aún no se utiliza en Uruguay. Es comercializado por la empresa DSM en Brasil y Argentina. En la Unión Europea, se obtuvo autorización para el uso de este aditivo en sistemas lecheros en abril del 2022 y el registro para ganadería de carne está en proceso (se espera obtener la aprobación hacia finales del 2024). En el caso de Uruguay, solo fue autorizado el registro para lechería, argumentando que es necesario el registro en la Unión Europea para su aprobación en ganado de carne. Según información provista por la empresa DSM:

- Potencial de mitigación: se espera una reducción del 30% de las emisiones de metano entérico para ganado de leche y del 45% para ganado de carne.
- Administración: para ganado de carne, la dosis del producto sería de 75-150 mg 3NOP/kg MS o 0,75-1,50 g Bovaer/kg MS. Para suplementación, asumiendo una dosis reducida y un consumo de MS de 10 kg/animal/día, la administración del producto sería de 0,75 g * 14 MS * US$ 24 = US$ 0,25/animal/día.

- Costo: el precio de referencia para Bovaer® 10 (producto comercial) es de US$ 20,30/kg de producto puesto en Uruguay. A este precio habría que sumarle los costos de mezclado y distribución para hacerlo llegar al animal, con lo cual el precio final estaría en un rango de US$ 24-26/kg.
- Por el momento, Bovaer® solo está recomendado para animales en confinamiento que reciban una alimentación continua, tanto para leche como para ganado de carne. Sin embargo, se están realizando pruebas del producto con animales en pastoreo que reciben una suplementación regular (por ejemplo, lecherías que suplementan 3-5 kg de concentrado dos veces al día, o animales de carne que reciben un suplemento proteico-energético). Esperan poder dar recomendaciones de dosis y conocer el potencial de mitigación del producto en sistemas pastoriles en el futuro próximo. Además, DSM está desarrollando una formulación de liberación lenta que permita el uso del producto en sistemas más extensivos, y esperan tenerla en el mercado a comienzos de 2025.
- Efectos sobre la producción: En algunos casos se ha observado una mejora de 2-3% en la eficiencia alimenticia en animales de carne, aunque estas observaciones no son consistentes en los diferentes trabajos. El modo de acción del Bovaer® es sumamente específico (bloquea una enzima que solo está presente en las arqueas metanógenas), por lo que no interfiere en otros procesos biológicos. DSM ha encontrado evidencia en más de 60 trabajos experimentales de que el producto no afecta los parámetros productivos del ganado, ni la calidad y composición de la leche, carne y sus derivados, ni tampoco la composición del estiércol ni sus cualidades para la producción de biogás o abono orgánico.

Por último, es importante resaltar que, para la adopción de esta tecnología a nivel nacional, se deben generar investigaciones nacionales sobre la efectividad de estos productos en términos de reducción de emisiones de metano y su efecto en la producción ganadera, su viabilidad en animales en pastoreo, así como realizar desarrollos metodológicos que permitan contabilizar esta reducción de emisiones en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) (OPYPA, 2022).

2.2. Selección genética con base en emisiones de metano

En Uruguay hay experiencias en selección genética de biotipos con mayor tasa de conversión de pasto a carne y bajos en emisiones en vacunos y ovinos.

El mejoramiento genético animal contribuye a la mitigación de las emisiones de GEI asociadas a rumiantes a través de: (i) el aumento de la productividad y la eficiencia; (ii) la reducción de las pérdidas (infertilidad, sanidad y mortalidad); y (iii) la respuesta directa a la selección por GEI, en la medida que se cuente con registros fenotípicos. Las evaluaciones genéticas actuales pueden ser muy efectivas en la reducción de los GEI, y esta contribución puede ser aún mayor en combinación con nuevas herramientas como la selección genómica (Navajas et al., 2010).

Según Navajas et al. (2022), existe evidencia nacional e internacional de que la inclusión de características como la eficiencia de conversión del alimento y las emisiones de metano en ovinos y vacunos permite mejorar por selección la intensidad de emisiones de GEI. La mayor eficiencia de conversión del alimento implica un consumo menor de alimento sin afectar los niveles productivos. Dada la correlación positiva entre consumo de alimento y emisiones, una mayor eficiencia de conversión a carne y lana tiene sinergias favorables con menores emisiones de metano, e impacta también en las emisiones de óxido nitroso y dióxido de carbono. Es factible lograr progreso genético en términos de emisiones por la selección directa de esta característica, ya que es heredable y medible. De esta forma, la selección directa por emisiones de metano permitiría maximizar la reducción de las emisiones de este GEI.

2.3. Incorporación de forrajes altos en taninos

La mejora de las pasturas mediante la siembra en cobertura del campo natural con leguminosas con fertilización de fósforo, o el cultivo de praderas perennes mixtas de gramíneas y leguminosas, son estrategias comunes y eficaces para enfrentar la estacionalidad de la producción de forraje y la productividad del ganado (Jaurena et al. 2021).

Existen indicios de que las leguminosas que contienen taninos condensados (TC) pueden afectar tanto la generación de metano como la excreción de óxido nitroso. Por ejemplo, el género *Lotus* de uso común en Uruguay está siendo investigado por el INIA por estas cualidades. Se encontró que el cultivar INIA E-Tanin (de la especie *Lotus uliginosus*) es uno de los que tiene mayor contenido de taninos condensados. La literatura internacional sugiere una relación entre el contenido de taninos de la dieta y el rendimiento de metanoMY por kilogramo de materia seca de alimento consumido (Jayanegara, Leiber y Kreuzer, 2012), y se han propuesto una serie de factores que afectan esta relación (Hristov et al., 2013). Los taninos vegetales también pueden relocalizar la excreción de N desde la orina hacia las heces (Hristov et al. 2013).

Algunas investigaciones en Uruguay han sugerido que, en comparación con el campo natural, el campo natural sembrado con *Lotus* puede disminuir las emisiones de óxido nitroso (N2O) de los parches de orina, y algunos tratamientos muestran efectos significativos a corto plazo (Alecrim et al. 2022). Sin embargo, es posible que se necesiten más mediciones para obtener un resultado sólido específico para el país.

El contenido en taninos condensados de la dieta es la variable clave que afecta las emisiones de N2O por excreción urinaria, pero actualmente no está incluida en el INGEI. La superficie sembrada con *Lotus sp.* podría utilizarse como variable sustitutiva. Además, el modelo de inventario del IPCC no distingue explícitamente entre excreción fecal y urinaria de nitrógeno. Algunos países (por ejemplo, Nueva Zelanda) han perfeccionado su inventario para dividir la excreción de nitrógeno entre fecal y urinaria y generaron factores de emisión desagregados entre N2O fecal y urinario. La división entre el nitrógeno excretado en la orina y en el estiércol puede tener efectos significativos en las estimaciones totales de emisiones de N2O.

Asimismo, dentro del trabajo del proyecto Ganadería y Clima se están realizando análisis sobre el potencial para reducir emisiones que tienen algunas especies nativas del campo natural (Piñeiro et al., 2022).

3. Tecnologías que apuntan al secuestro de carbono

3.1. Secuestro de carbono en suelos

Adopción de prácticas que permiten mejorar la gestión del pastoreo

La alta carga en los sistemas ganaderos ha llevado al sobrepastoreo con impactos negativos en la producción primaria de pasto, los niveles y la estabilidad de la productividad ganadera, la biodiversidad, el carbono orgánico del suelo y la erosión (Bartaburu et al., 2013; Modernel et al., 2016).

Investigaciones internacionales y nacionales han mostrado que la adopción de prácticas de manejo basadas en la gestión del pastoreo (desarrolladas en la sección 1.1.) pueden prevenir la pérdida y promover el secuestro de carbono orgánico del suelo (Conant et al., 2017; Aguerre et al., 2018; Carbon Group , 2021).

Sin embargo, evidencias recientes indican que en los últimos 40 años los pastizales naturales en Uruguay acumularon carbono orgánico en suelo a una tasa promedio de 187 kg de C/ha/año ($n=36$, $p<0,05$) (Piñeiro, 2022), a pesar del sobrepastoreo y la baja adopción de prácticas de manejo del rodeo y del pasto en predios ganaderos. Esta evidencia es parte de la tesis doctoral de Bruno Bazzoni y Fernando Fontes y se basa en muestras de suelo de archivo del MGAP de la década del 60 al 80 y muestreos de suelo actuales (Piñeiro, 2022). Asimismo, si bien generalmente se asumía que los pastizales en Uruguay ya habían llegado a un equilibrio en su balance de carbono, estas investigaciones muestran que al menos en los últimos 40 años, los pastizales en promedio secuestraron carbono.

Por otro lado, un trabajo realizado por la consultora Carbon Group en el marco del proyecto de la Iniciativa 20x20 liderada por el World Resources Institute (WRI) e implementado por MGAP en coordinación con el Ministerio de Ambiente, muestra que es posible aumentar el secuestro de carbono de los pastizales naturales mediante la adopción de determinadas prácticas y tecnologías en la ganadería que resultan en el incremento de la productividad primaria neta. Este trabajo consistió en simular el potencial de secuestro de carbono utilizando el modelo de simulación RothC para proyectar la dinámica del carbono en el suelo. Las tasas de secuestro de carbono para las diferentes estrategias de mejora analizadas estuvieron entre 0,13 y 0,59 ton C/ha/año, dependiendo de la zona y la estrategia considerada (Carbon Group, 2021).

Para analizar el efecto de las prácticas y tecnologías ganaderas sobre el carbono del suelo en los pastizales, realizaron un meta-análisis de investigaciones

llevadas a cabo en Uruguay y en zonas templadas de Argentina. Las prácticas estudiadas se agruparon en: prácticas de fertilización estratégica y balanceada del recurso forrajero; manejo mejorado del pastoreo (turnos de corte y rebrote, altura de corte, carga instantánea); e implantación o intersiembra de especies forrajeras mejoradas, principalmente leguminosas (ej. *Lotus*) y/o nativas.

Conservación de la superficie de pastizales naturales

Los pastizales naturales de la región del Río de la Plata son un bioma de distribución acotada que está siendo amenazado por los cambios en el uso del suelo y la degradación. Durante los últimos 50 años, la superficie de pastizales nativos en esta región ha disminuido de manera sostenida, principalmente por la expansión de cultivos de granos y plantaciones forestales (Baldi y Paruelo, 2008).

En Uruguay, los pastizales naturales son el ecosistema predominante y han sido utilizados históricamente para la producción de carne vacuna y ovina. La conversión de pastizales hacia tierras de cultivos agrícolas y plantaciones forestales (*Eucalyptus* y *Pinus*) se ha acelerado en los últimos 20 años (Brazeiro et al., 2020). En un estudio que analiza los cambios de uso del suelo, se observa que el pastizal natural fue la categoría que sufrió la mayor disminución en superficie; pasó de representar el 61% de la superficie total del país en el año 2000 al 49% en el 2017, lo que implicó una pérdida de más de 2 millones de hectáreas en este período (Castagna y García, 2020).

Por un lado, el cambio en el uso del suelo de campo natural a tierras de cultivo en la región genera pérdidas netas de carbono orgánico del suelo (SOC por su sigla en inglés) de 15 a 32% (Modernel et al., 2016 y referencias allí citadas). En el caso de Uruguay, en el año 2019 se emitieron 793 Gg CO2 por la transformación de pastizales naturales a tierras de cultivo de los últimos 20 años. Esto corresponde a 1.939.050 ha en conversión. En este sentido, evitar la conversión de pastizales hacia tierras de cultivo lleva a prevenir esta pérdida de SOC.

Por otro lado, la conversión de campo natural a forestación genera captaciones de carbono por un aumento en el stock de carbono en la biomasa viva (BV), en el mantillo (materia orgánica muerta - MOM) y, en menor medida, en el stock de carbono orgánico del suelo. Según el INGEI 2019, la conversión de pastizales naturales a tierras forestales generó captaciones de carbono equivalentes a 17.916 Gg CO_2. Esto indica que el cambio en el uso del suelo hacia tierras forestales, si bien puede afectar la biodiversidad, genera emisiones netas negativas. Sin embargo, es importante considerar que la forestación industrial,

principal uso de la tierra forestal, implica la cosecha de los árboles en períodos de entre 10 a 15 años y los usos de la madera generan emisiones de CO2 en distintos momentos según su destino (por ejemplo, energía, pulpa de celulosa, construcción, etc.). Por otro lado, las plantaciones forestales para abrigo y sombra del ganado tienen una permanencia mayor que las forestaciones con destino industrial.

Además de afectar los ciclos de carbono, el reemplazo del campo natural ha tenido como consecuencia la transformación de áreas prioritarias para la conservación de vertebrados y la diversidad de plantas leñosas (Brazeiro et al., 2020). Existen trabajos de investigación que encuentran que la forestación con especies exóticas sobre pastizales naturales puede generar una disminución de la riqueza, cobertura y composición de especies vegetales (Gallego et al., en revisión), una disminución en la riqueza acumulativa y abundancia de mamíferos nativos de tamaño mediano y grande (Cravino & Brazeiro, 2021) y una reducción en la diversidad taxonómica y funcional de aves (Fernández-Santiago, 2023). Asimismo, otros estudios indican que la fragmentación de los pastizales naturales por la implantación de agricultura y pasturas afecta negativamente la riqueza de especies en los remanentes de pastizal (Mello et al., en elaboración).

Inclusión y aumento de la fase de pasturas en rotaciones agrícolas

La inclusión de pasturas en rotaciones de cultivos agrícolas (por ejemplo, soja, maíz, trigo, cebada, sorgo y arroz) es una práctica común en Uruguay y hay investigaciones nacionales que muestran que permiten mantener o aumentar el secuestro de carbono orgánico del suelo, según la duración de la fase de pasturas en la rotación (Rubio et al., 2021; Baethgen et al., 2021; Grahmann et al., 2020; Macedo et al., 2015).

Esta práctica permite aumentar la biomasa de las raíces en el suelo y la actividad de la biota del suelo, y como consecuencia, aumentar el SOC y el nitrógeno total (Picasso et al., 2022). Asimismo, reducir la labranza y aumentar la cobertura de suelo vivo mejora la estructura del suelo, lo cual mejora el suministro de agua y nutrientes a los cultivos, reduce la escorrentía y puede tener un efecto positivo en la calidad del agua superficial (Lal, 2020; Nunes et al., 2018 citados en Picasso et al., 2022). Algunas investigaciones nacionales también han reportado una menor degradación de otras propiedades químicas del suelo por la inclusión y el aumento de la fase de pasturas en las rotaciones agrícolas (Grahmann et al. 2020).

Investigaciones basadas en ensayos de largo plazo ubicadas en la estación experimental de INIA "La Estanzuela" en Colonia mostraron que las rotaciones cultivo-pasturas (RCP) pueden incrementar el contenido de SOC en la capa de 0-15 cm del suelo, mientras que los cultivos agrícolas continuos pierden SOC. Además, encontraron que el contenido de SOC aumenta con una mayor proporción de pasturas en la duración de la rotación (Rubio et al. 2021). También observan que las rotaciones con mayor proporción de pasturas pueden alcanzar mayores rendimientos en la fase de cultivos (Rubio et al. 2021). En los tratamientos con más de 66% de pasturas se logró aumentar en 11% el contenido de SOC, y en los tratamientos con 33% y 50% de pasturas se logró mantener los niveles de SOC, mientras que en los cultivos continuos se perdió SOC a lo largo del ensayo (Grahmann et al. 2020).

En un experimento de largo plazo en el departamento de Treinta y Tres, se observó que la inclusión de pasturas en rotaciones con cultivo de arroz bajo inundación tiene el potencial de secuestrar SOC, mientras que rotaciones con otros cultivos sólo podrían mantener los niveles de SOC (Macedo et al., 2022).

3.2. Secuestro de carbono en biomasa forestal

El secuestro de carbono en biomasa forestal en predios ganaderos se puede dar mediante la incorporación de plantaciones forestales con destino a sombra y abrigo o destino industrial, y mediante la conservación y regeneración del bosque nativo.

La incorporación de plantaciones forestales de especies exóticas (por ejemplo, Eucalyptus) en predios ganaderos, si bien tiene un alto potencial de mitigación, puede afectar el régimen hidrológico, el paisaje y la biodiversidad cuando ocupa amplias extensiones. Por su parte, la conservación y regeneración del bosque nativo dentro de los sistemas ganaderos puede generar co-beneficios asociados a las funciones ecosistémicas del bosque nativo (Bóffano et al., 2022).

Con respecto a los efectos del reemplazo de pastizales por forestaciones sobre la biodiversidad, en la sección 3.1 se mencionaron los potenciales efectos negativos sobre la diversidad de especies vegetales, mamíferos y aves. Asimismo, investigaciones nacionales (Martinez-Lanfranco et al., 2022; Fernández-Santiago, 2023) observaron que a medida que aumenta la superficie forestal a escala de paisaje, disminuye la diversidad taxonómica de aves en los pastizales. También encontraron efectos opuestos sobre la diversidad funcional, debido a que algunos grupos funcionales aumentaron levemente en pastizales con mayor nivel de forestación (Fernández-Santiago, 2023).

Por otra parte, un estudio muestra que el aumento de las áreas de cultivos y plantaciones forestales redujo la riqueza de especies leñosas y aumentó la disimilitud de las comunidades de plantas en los fragmentos de bosques nativos distribuidos en el territorio nacional (Ramírez & Säumel, 2022).

Con respecto al efecto sobre el régimen hidrológico, investigaciones nacionales llevadas a cabo por Facultad de Ingeniería de la Udelar muestran que las plantaciones de *Eucalyptus* generan una disminución de la escorrentía superficial de agua que llega a los ríos y arroyos, particularmente luego del cierre de copa de los árboles (por ejemplo, Silveira y Alonso, 2008; Silveira et al., 2016). Esta disminución estaría explicada principalmente porque las precipitaciones son interceptadas por el dosel (conjunto de copas de los árboles) y luego el agua es evaporada y vuelve a la atmósfera.

Por su parte, la conservación y regeneración del bosque nativo dentro de los sistemas ganaderos puede generar co-beneficios asociados a restaurar sus funciones ecosistémicas.

Montes de abrigo y sombra

Los montes de abrigo y sombra se establecen con el objetivo de reducir el impacto de situaciones de estrés calórico en el ganado bovino y ovino y proteger a los animales del viento y el frío. Por lo tanto, además de aportar a la mitigación, tienen un efecto positivo en la adaptación al cambio climático de los sistemas ganaderos. Asimismo, la madera puede ser aprovechada para la producción de leña o la producción de columnas, postes, piques y tablas para carpintería y construcción. Las plantaciones forestales para abrigo y sombra del ganado tienen una permanencia mayor que las forestaciones con destino industrial.

Un estudio realizado por la CNFR y Facultad de Agronomía de la Universidad de la República observó en predios familiares con montes de abrigo y cortina mejoras en el confort del ganado a través de reducción del estrés térmico, y reducción de la velocidad del viento (con efectos sobre la reducción de la mortandad de corderos; Boscana et al., 2019).

La superficie forestal estimada de montes de abrigo y sombra en Uruguay es de 81.946 hectáreas. Las especies más utilizadas son *Eucalyptus camaldulensis* y *Eucalyptus tereticornis*.

El potencial de mitigación de la implantación de montes de abrigo y sombra está asociado a la captura de carbono generada por un aumento en el stock de carbono en la biomasa viva (BV) y, en menor medida, por un aumento en el

mantillo (materia orgánica muerta - MOM) y el cambio en el stock de carbono orgánico del suelo. Cuando se cosecha parte del monte para la obtención de madera para leña, el carbono secuestrado se emite inmediatamente (por el proceso de combustión). Sin embargo, cuando la madera se destina a usos en carpintería y construcción, se genera un aplazamiento de las emisiones en el tiempo a partir de la degradación de la madera.

Se conocen algunas experiencias de implantación de montes de abrigo y sombra y sistemas silvopastoriles con especies nativas, ya sea con fines comerciales o ecológicos. Algunas especies nativas fustales de rápido crecimiento (por ejemplo, Ñandubay, Caobetí, Guayubira, Angico, Ibirapitá, Lapacho) son plantadas por sus servicios de sombra y abrigo y para extracción de madera con distintos fines (aserrío, tablas, postes y piques, etc.) (Berrutti, A. com.pers., 2022; Bennadji et al., 2007). Sin embargo, existe falta de información nacional sobre las tasas de secuestro de carbono de las especies nativas que permita estimar el potencial de mitigación de su plantación.

Sistemas silvopastoriles

Los sistemas silvopastoriles refieren a "una modalidad productiva que integra en una misma área y escala de tiempo árboles, pasturas y animales" (Boscana et al., 2019 p. 13). Estas áreas pueden tener diferentes usos: maderables (trozas para pulpa, aserrío, tablas, energía, postes y piques); no maderables (hongos, frutos, etc.); provisión de sombra y abrigo a los animales y uso forrajero para el pastoreo del ganado (Boscana et al., 2019).

Si bien la asociación de árboles, ganado y pasturas puede presentar algunas ventajas económicas, ambientales, productivas y sociales, éstas dependen de la cantidad y la calidad de los recursos disponibles en el predio para su instalación y explotación (por ejemplo, estructura y fertilidad del suelo, competencia por insumos y recursos naturales, mano de obra) (Boscana et al., 2019).

La superficie forestal estimada de sistemas silvopastoriles en Uruguay es de 6.392 hectáreas. Existen 39 predios bajo sistemas silvopastoriles, en su mayoría con *Eucalyptus*, distribuidas en el sur-sureste, centro-sur y en menor medida en el norte. Se estima un stock de 694,000 ton CO2-e.

En los últimos años, acompañando la expansión de las plantaciones de *Eucalyptus* para pulpa de celulosa en el país, las principales empresas de este rubro (UPM y Montes del Plata) han desarrollado "programas de fomento" que implican un convenio con productores (principalmente ganaderos) para

introducir plantaciones de esta especie en los predios. Las plantaciones forestales, una vez establecidas, pueden ser aprovechadas para prestar servicio de sombra, y son cosechadas con fines industriales luego de un período de alrededor de 10 años.

Según la Dirección General Forestal (DGF) del MGAP, es necesario avanzar en experiencias y conocimiento sobre el manejo silvopastoril en bosques nativos, para lo cual se deben entender las interacciones entre sus componentes y el impacto del ganado en los distintos tipos de bosques (Bóffano et al., 2022).

Conservación del bosque nativo

La superficie de bosque nativo en Uruguay es de 851.573 hectáreas, lo cual representa el 5% del territorio nacional (DGF, 2018). Si bien se estima que la cobertura de bosque nativo no ha decrecido en las últimas décadas, existen desafíos asociados a su degradación por la presencia de especies exóticas invasoras y a su pérdida y fragmentación por la expansión agropecuaria (Bóffano et al., 2022).

Las áreas de bosque nativo en sistemas ganaderos brindan una serie de servicios ecosistémicos como hábitat de biodiversidad, regulación hídrica, retención de nutrientes, prevención de erosión de suelos, secuestro de carbono, y tienen un valor cultural. Además, los beneficios del bosque nativo para la ganadería incluyen la provisión de sombra y abrigo para el ganado, la disponibilidad de alimento, la diversificación productiva (madera-carne), y la recuperación de suelos degradados (Bóffano et al., 2022).

El marco normativo nacional (Ley Forestal n. 15.939 de 1987 y sus decretos reglamentarios) prohíbe la corta y extracción de productos forestales del monte nativo, con la excepción de que la corta sea para uso doméstico del establecimiento o que se cuente con un plan de manejo aprobado por la DGF del MGAP. Asimismo, los tenedores de bosque nativo que cumplen con la normativa forestal y se encuentran inscriptos en el Registro de Bosques, cuentan con la posibilidad de exonerar una serie de impuestos asociados al mismo, según lo establecido en la Ley nº 5649 de 1967 y reglamentaciones posteriores. Las exoneraciones que se pueden obtener por la superficie de bosque nativo registrada incluyen la Contribución Inmobiliaria Rural, el Impuesto al Patrimonio, el Impuesto a la Renta de la Actividades Económicas y aportes al Banco de Previsión Social (Bóffano et al., 2022).

La mayoría de los planes de manejo aprobados por la DGF refieren a predios donde existe actividad ganadera asociada al bosque nativo (Bóffano et al.,

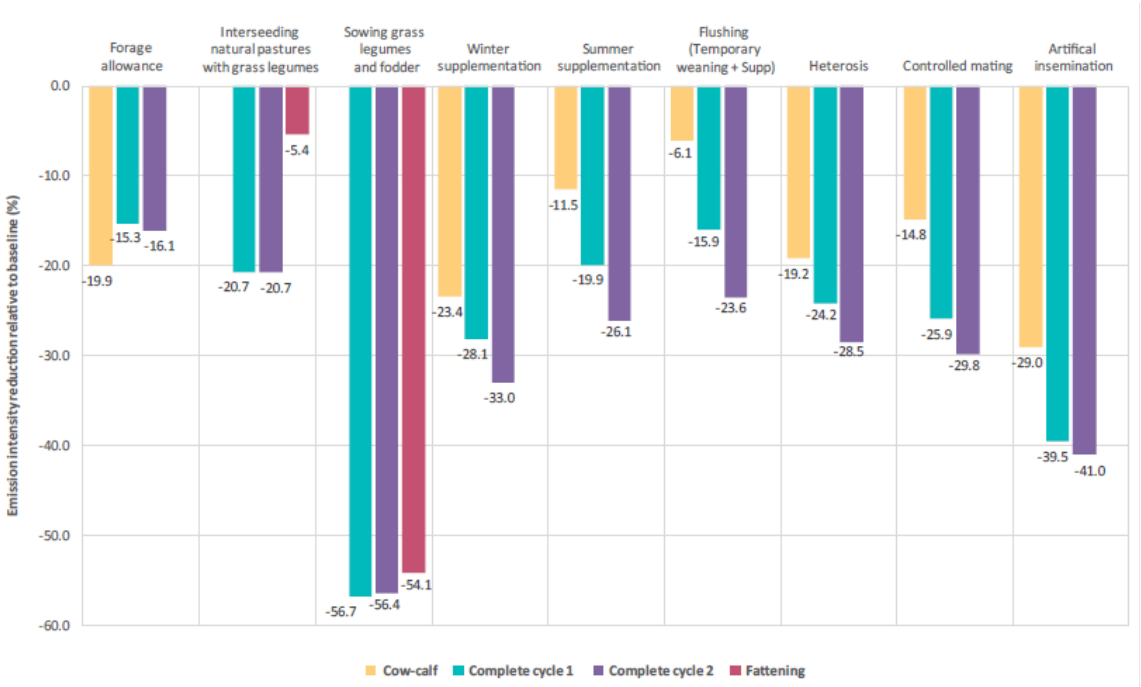
2022). En este marco, los productores ganaderos pueden tomar medidas de manejo para conservar el bosque nativo y prevenir su degradación asociada al pastoreo del ganado y a la expansión de plantas exóticas invasoras (por ejemplo, excluir el acceso del ganado a ciertas áreas de bosque, evitar la tala y manejos inapropiados, extraer especies exóticas). Estas medidas de manejo, que dependen de la situación particular del predio y su paisaje circundante, pueden contribuir a mejorar el estado de conservación del bosque nativo, con potenciales efectos positivos en biodiversidad y secuestro de carbono en biomasa forestal. Sin embargo, algunas medidas de manejo como la extracción de especies exóticas pueden presentar *trade-offs* (compromisos) entre estas dos dimensiones de impacto ambiental.

4. Estudios complementarios

En esta sección se hace referencia a estudios complementarios que buscaron sistematizar medidas de mitigación para la ganadería y que pueden ser útiles para su consideración en el proceso de elaboración del Plan de Mitigación de la Ganadería en Uruguay.

En FAO & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (2017) se evalúa el potencial para mejorar la productividad y reducir la intensidad de las emisiones de metano entérico de la producción de carne bovina en Uruguay. En la figura 4 se incluyen las medidas de mitigación propuestas en este estudio y su potencial de reducción de intensidad de emisiones de GEI con respecto a línea de base, para los distintos sistemas de producción de carne (cría, ciclo completo e invernada). Si bien el informe no se detalla la parametrización de los efectos y por lo tanto no se conoce su adecuación a la realidad y a la información nacional, en el mismo se destaca el potencial de mitigación de la medida de siembra de leguminosas y cultivos forrajeros y de la inseminación artificial.

Figura 4. Potencial de reducción de intensidad de emisiones de GEI con respecto a línea de base para las medidas de mitigación propuestas



Fuente: FAO & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (2017)

En este estudio también se hace una priorización de las medidas propuestas con base en su potencial de mitigación, el impacto en la producción y el beneficio económico, para los distintos sistemas de producción de carne. Los resultados de esta priorización se presentan en la figura 5.

Figura 5. Priorización de medidas de mitigación para los distintos sistemas de producción de carne

Table 6.1: Results from the prioritization of single interventions for beef production systems

Intervention	Herbage allowance	Sowing grass, legumes and fodder	Inter-seeding natural pastures with legumes	Winter supplementation	Summer supplementation	Flushing	Heterosis	Controlled mating	Artificial insemination
COW-CALF									
Methane reduction	Low			Low	Low		Low	Low	Medium
Production increase	Medium			Low	Low		Medium	Low	Medium
Econimic benefit	Medium			Low	Low		Medium	Low	Low
FATTENING ON NATURAL PASTURES									
Methane reduction		Medium							
Production increase		**							
Econimic benefit		$							
COMPLETE CYCLE 1									
Methane reduction	Low	High	Low	Medium	Medium	Low	Low	Low	Medium
Production increase	Medium	**	Low	Low	Low	Low	High	Medium	High
Econimic benefit	Medium	Medium	Medium	Low	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
COMPLETE CYCLE 2									
Methane reduction	Low	High	Low	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium	Medium
Production increase	Medium	**	Low	Medium	Medium	Medium	High	High	High
Econimic benefit	High	Medium	Medium	Medium	High	High	High	High	High

Assessment criteria:

Methane mitigation:	Low: >10 <25	Medium: >25 <50	High: >50
Production increase:	Low: <25	Medium: >25 <50	High: >50
Economic benefit:	Low: <25	Medium: >25 <50	High: >50

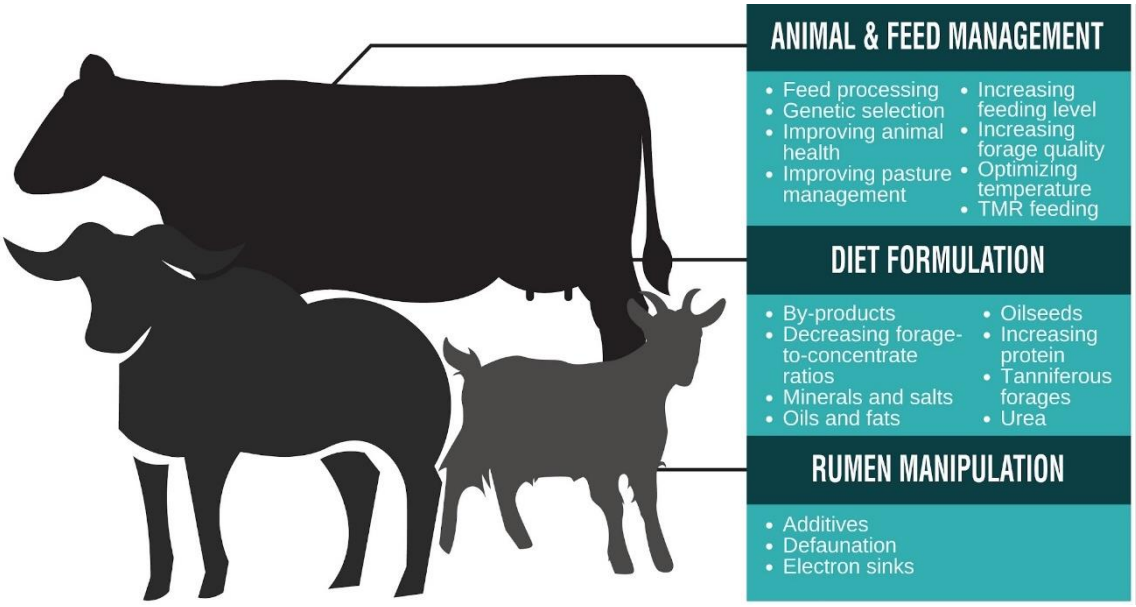
** No change in production was achieved because output was kept constant. Reductions in enteric methane is achieved through shorter growth and fattening periods and better diets;

$ Impossible to quantify the economic impact due to lack of data on farm-level production costs for fattening operations.

Fuente: FAO & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (2017)

Por otra parte, Arndt et al. (2022) realizaron un meta-análisis global identificado estrategias para disminuir la intensidad y el nivel absoluto de las emisiones de metano entérico y mantener o aumentar la productividad animal en la ganadería de carne y leche. Identificaron 98 medidas de mitigación que fueron clasificadas en tres categorías: manejo del ganado y de la alimentación animal, formulación de dietas, y manipulación del rumen. Estas medidas se resumen en la figura 6.

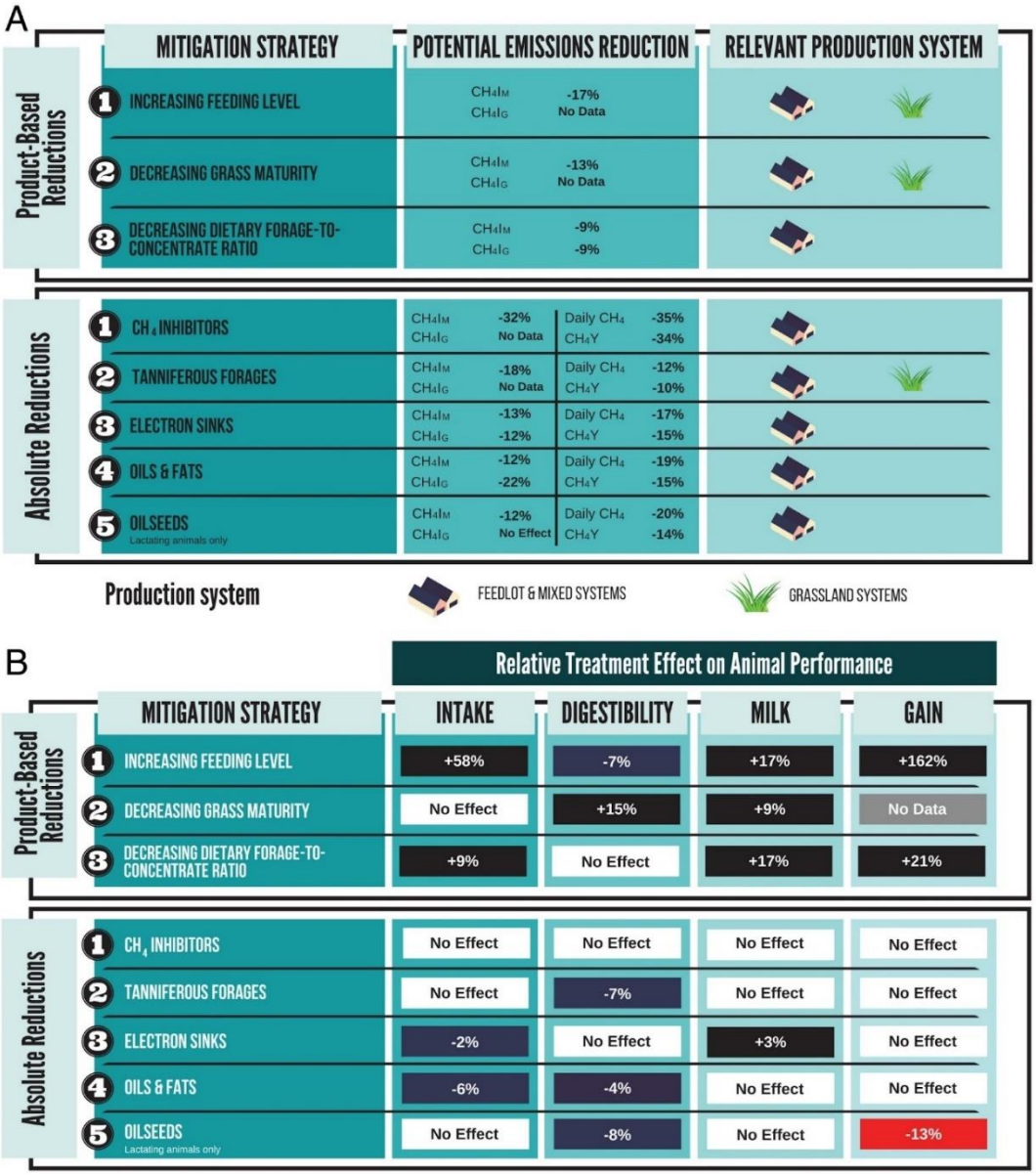
Figura 6. Estrategias de mitigación de las emisiones de metano entérico en ganadería de carne y leche



Fuente: Arndt et al. (2022)

Según este estudio, tres estrategias para la reducción de la intensidad de emisiones de metano (aumentar el nivel de suplementación, disminuir la madurez de las pasturas y disminuir la relación forraje-concentrados) pueden alcanzar una reducción de 12 % de la intensidad y un aumento de productividad animal de 17%. Asimismo, cinco estrategias para la reducción de emisiones absolutas (inhibidores de metanogénesis, forrajes taníferos, sumideros de electrones, aceites y grasas, y semillas oleaginosas) pueden alcanzar una reducción de 21% de las emisiones diarias de metano. Estos resultados se muestran en la figura 7.

Figura 7. Potencial de reducción de emisiones y efectos en la producción animal de las estrategias de mitigación consideradas



Fuente: Arndt et al. (2022)

Referencias

Aguerre, V., Albicette, M. M., Albín, A., Bortagaray, I., Benvenuto, M., Blumetto, O., Cardozo, G., Castagna, A., Clara, P., del Pino, L., Dogliotti, S., García, F., Gilzans, J.C., Leoni, C., Montaldo, S., Quintans, G., Ruggia, A., Scarlato, M., Scarlato, S., Silvera, M. & Tiscornia, G. (2018). Co-innovando para el desarrollo sostenible de sistemas ganaderos familiares de Rocha–Uruguay. INIA Serie Técnica 243. Montevideo: INIA. 132 p.

Alecrim, F., Ciganda, V., Simón, C., Santander, D., Muleta, E., Lattanzi, F., Alves, B. & Nóbrega, G. (2022). Can the Inclusion of High Tannin Forage Legumes in Native Grasslands Modify the N2O Emissions from Cattle Urine?

Arndt, C., Hristov, A. N., Price, W. J., McClelland, S. C., Pelaez, A. M., Cueva, S. F., ... & Yu, Z. (2022). Full adoption of the most effective strategies to mitigate methane emissions by ruminants can help meet the 1.5° C target by 2030 but not 2050. Proceedings of the National Academy of Sciences, 119(20), e2111294119.

Azpiroz, A.B., Blake, J.G. (2009). Avian Assemblages in Altered and Natural Grasslands in the Northern Campos of Uruguay, The Condor, 111(1), 21–35. https://doi.org/10.1525/cond.2009.080111

Baethgen, W. E., Parton, W. J., Rubio, V., Kelly, R. H., & M. Lutz, S. (2021). Ecosystem dynamics of crop–pasture rotations in a fifty-year field experiment in southern South America: Century model and field results. Soil Science Society of America Journal, 85(2), 423-437.

Baldi, G., & Paruelo, J. M. (2008). Land-Use and Land Cover Dynamics in South American Temperate Grasslands. 13(2).

Bartaburu, D., Morales, H., Dieguez, F., Lizarralde, C., Quiñones, A., Pereira, M., ... & Picasso, V. (2013). Sensibilidad y capacidad adaptativa de la ganadería frente al cambio climático. Vol. III of Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay.Bennadji, Z., Fagúndez, C., Puppo, M., Nuñez, P. (2007). Identificación y caracterización de especies arbóreas nativas y exóticas para la implementación de proyectos en el marco del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) en el Uruguay: Algunos resultados preliminares. Revista INIA – N° 12, 30-33.

Boffano, A., Boscana, M., Martínez, G. (2022). Manejo del Bosque Nativo en Uruguay: Una Visión Institucional. En: Paruelo, J., Ciganda, V., Gasparri, I., Panizza, A. (eds). Oportunidades y desafíos del uso de los bosques nativos integrados a la producción ganadera de Uruguay. Montevideo. INIA Serie Técnica N° 261.

Boscana, M., Rachetti, M., Munka, C., González, A., Bussoni, A. (2019). Recomendaciones para la integración de forestaciones en predios ganaderos y lecheros familiares. CNFR-FAGRO-DGDR-INIA-BID.

Blumetto, O. (2022). Los agroecosistemas ganaderos importante hábitat para las aves: análisis cualitativo del efecto del manejo productivo en especies prioritarias para la conservación en Uruguay. Recursos Rurais, 18, 5–15. https://doi.org/10.15304/rr.id8567

Brazeiro, A., Achkar, M., Toranza, C. & Bartesaghi, L. (2020). Agricultural Expansion in Uruguayan Grasslands and Priority Areas for Vertebrate and Woody Plant Conservation. Ecology and Society 25(1). doi: 10.5751/ES-11360-250115

Caram, Soca, Baethgen et al. (2021). Studying beef production evolution to plan for ecological intensification of grazing ecosystems.

Carbon Group (2021). Oportunidades de restauración en pastizales naturales en Uruguay: Prácticas orientadas a incrementar el secuestro de Carbono Orgánico en los suelos. Informe de Avances Consultora Carbon Group Agro-Climatic Solutions. Iniciativa 20x20. World Resources Institute. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.

Castagna, A. y García, F. (2020). Análisis de los cambios en el uso de la tierra en el país entre 2000 y 2017 a partir de una serie temporal de relevamientos remotos. Anuario OPYPA 2020.

Conant, R. T., Cerri, C. E., Osborne, B. B., & Paustian, K. (2017). Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis. Ecological Applications, 27(2), 662-668.

Congio et al. (2021). Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis.

Cravino, A., & Brazeiro, A. (2021). Grassland afforestation in south america: Local scale impacts of eucalyptus plantations on uruguayan mammals. Forest Ecology and Management, 484 doi:10.1016/j.foreco.2021.118937

Crespi, R., Olivera, L. & Vaz Martins, D. (2003). Efecto de la monensina y la suplementación energética sobre el comportamiento de novillos en pasturas mezcla. Avances sobre engorde de novillos en forma intensiva. INIA Serie Técnica N° 135.

Dijkstra, J., Bannink, A., France, J., Kebreab, E., & Van Gastelen, S. (2018). Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. Journal of dairy science, 101(10), 9041-9047.

Dogliotti, S., Piñeiro, G., Soca, P., Paparamborda, I., Scarlato, S. ... & Sánchez, A. (2022b). Informe de evaluación anual 2021-2022. Entregable 31 (Parte 1). Proyecto Ganadería y Clima. MGAP-MA-FAO-GEF. Montevideo. Setiembre 2022.

Dogliotti, S., Soca, P., Paparamborda, I., Scarlato, S., Piñeiro, G., Gestido, V. ... & Torres, L. (2021). Síntesis de las propuestas de rediseño predial. Entregable 11. Proyecto Ganadería y Clima.

FAO & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (2017). Low emissions development of the beef cattle sector in Uruguay – reducing enteric methane for food security and livelihoods. Rome. 34 pp.

Fernández, E., Ferraro, B., Saldías, R., Soares de Lima, J. M. (2018). Consultoría para la Preparación de la Propuesta sobre Fortalecimiento de Capacidades en Generación y Transferencia de Tecnologías, Asistencia Técnica y Extensión Rural, con énfasis en la Evaluación ex ante de la tecnología. Informe final.

Fernández-Santiago, P. G. (2023). Diversidad taxonómica y funcional de aves en pastizales forestados de Uruguay. Udelar-Facultad de Ciencias-PEDECIBA. Tesis de maestría. Área Biología, Subárea Ecología y Evolución. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/37181/1/uy24-19719.pdf

Grahmann, K., Rubio, V., Terra, J. A., Quincke, J. A. (2020). Long-Term Observations in Contrasting Crop-Pasture Rotations over Half a Century: Statistical Analysis of Chemical Soil Properties and Implications for Soil Sampling Frequency. Agriculture, Ecosystems & Environment 287:106710. doi: 10.1016/j.agee.2019.106710.

Hegarty, R. S., Cortez Passetti, R. A., Dittmer, K. M., Wang, Y., Shelton, S., Emmet-Booth, J., Wollenberg, E., McAllister, T., Leahy, S., Beauchemin, K., Gurwick, N. (2021). An evaluation of emerging feed additives to reduce methane emissions from livestock. Edition 1. A report coordinated by Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) and the New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC) initiative of the Global Research Alliance (GRA).

Hristov, A., Joonpyo Oh, Chanhee Lee, Robert Meinen, Felipe Montes, Troy Ott, … , Oosting, S. (2013). Mitigation of Greenhouse Gas Emissions in Livestock Production: A Review of Technical Options for Non-CO2 Emissions. Rome: FAO.

IPA (2011). Manejo del rodeo de cría sobre campo natural. Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca – Programa Ganadero – Instituto Plan Agropecuario. https://www.planagropecuario.org.uy/uploads/libros/21_manual.pdf

Jaurena, M., Durante, M., Devincenzi, T., Savian, J. V., Bendersky, D., Moojen, F. G., … & Lattanzi, F. A. (2021). Native grasslands at the core: A new paradigm of intensification for the Campos of Southern South America to increase economic and environmental sustainability. Frontiers in Sustainable Food Systems, 11. https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.547834

Jayanegara, A., Leiber, F. & Kreuzer, M. (2012). Meta-Analysis of the Relationship between Dietary Tannin Level and Methane Formation in Ruminants from in Vivo and in Vitro Experiments. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition 96(3):365–75. doi: 10.1111/j.1439-0396.2011.01172.x

Jones, C., Costa, N., González, C., Risso, S., Baraldo, J. … Oyhantçabal, W. (2020). Fortalecimiento del sistema de reporte y verificación de la Contribución Determinada Nacional al Acuerdo de París: indicador de ganadería en campo

natural. Oficina de Programación y Política Agropecuaria. Anuario OPYPA 2020, 563-573.

Macedo, I., Cantou, G., & Terra, J. A. (2015). Soil Use Intensity Effects on Soil Organic Carbon in No-till Crop-pasture Rotations Systems. Agrociencia Uruguay, 19(3), 25. https://doi.org/10.31285/AGRO.19.254

Macedo, I., Roel, A., Ayala, W., Pravia, M. V., Terra, J. A., & Pittelkow, C. M. (2022). Irrigated rice rotations affect yield and soil organic carbon sequestration in temperate South America. Agronomy Journal, 114, 961– 975. https://doi.org/10.1002/agj2.20964

Martínez-Lanfranco, J. A., Vilella, F. J., & Miller, D. A. (2022). Avian community response to a novel environment: Commercial forestry in the Campos grasslands of South America. Forest Ecology and Management, 503, 119765.

MGAP-OPYPA (2023). Estimaciones preliminares impacto déficit hídrico 2022-2023. Oficina de Programación y Política Agropecuaria.

MGAP-MA-INAC-INALE-INIA, 2022. Uruguay. Informe sobre la huella ambiental ganadera. 69 pp.

MGCN (2020). Propuesta para la intensificación sostenible de sistemas ganaderos basados en Campo Natural. Mesa de Ganadería sobre Campo Natural. https://bit.ly/3NTVH8u

Modernel, P., Rossing, W. A. H., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V., & Tittonell, P. (2016). Land use change and ecosystem service provision in Pampas and Campos grasslands of southern South America. Environmental Research Letters, 11(11). https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/113002

Navajas et al. (2022). Impacto del mejoramiento genético animal por selección en la mitigación de gases de efecto invernadero. INIA.

Navajas, E. A., Duthie, C. A., Amer, P. R., Roehe, R., Simm1, G. & Roughsedge, T. (2010). Contribución del mejoramiento genético en bovinos de carne a la mitigación del efecto invernadero. https://agrocienciauruguay.uy/index.php/agrociencia/article/view/869

Odongo, N. E., Bagg, R., Vessie, G., Dick, P., Or-Rashid, M. M., Hook, S. E., ... & McBride, B. W. (2007). Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science, 90(4), 1781-1788

OPYPA (2022). Medidas para contribuir al logro de las metas a 2025 de la Contribución nacional Determinada de Uruguay y al indicador global de emisiones del bono Indexado con Indicadores de cambio Climático (BIICC). Sin publicar/Documento interno.

OPYPA-INIA (2022). Análisis de escenarios para la evolución del stock bovino a 2025 y posibles ajustes en metodologías de cálculo de emisiones. Sin publicar/Documento interno. Setiembre de 2022.

Özkan, Ş., Teillard, F., Lindsay, B., Montgomery, H., Rota, A., Gerber P., Dhingra M. and Mottet, A. 2022. The role of animal health in national climate commitments. Rome, FAO. https://www.fao.org/documents/card/en/c/cc0431en

Paparamborda, I. A. (2017). ¿Qué nos dicen las prácticas de gestión del pastoreo en los predios ganaderos familiares sobre su funcionamiento y resultado productivo? Tesis presentada como uno de los requisitos para obtener el título de Magíster en Ciencias Agrarias opción Ciencias Animales. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

Paruelo, J., Ciganda, V., Gasparri, I., Panizza, A. (2022). Oportunidades y desafíos del uso de los bosques nativos integrados a la producción ganadera de Uruguay. INIA Serie Técnica N° 261.

Picasso, V., Berti, M., Cassida, K., Collier, S., Fang, D. ... & Williams, C. (2022). Diverse perennial circular forage systems are needed to foster resilience, ecosystem services, and socioeconomic benefits in agricultural landscapes. Grassland Research. Volume 1, Issue 2, p. 123-130.

Picasso, V., Modernel, P. D., Becoña, G., Salvo, L., Gutiérrez, L., & Astigarraga, L. (2014). Sustainability of meat production beyond carbon footprint: a synthesis of case studies from grazing systems in Uruguay. Meat Science, 98(3), 346–354. https://doi.org/10.1016/J.MEATSCI.2014.07.005

Picasso, V., Schaefer, D. M., Modernel, P., & Astigarraga, L. (2018). Ecological intensification of beef grazing systems. Grassland Science in Europe, 22(Grassland resources for extensive farming systems in marginal lands), 218–220.

Piñeiro, G. (2022). "Programa Innovagro: Sostenibilidad de la Producción Ganadera basada en Campo Natural: una plataforma para el análisis cuantitativo de compromisos entre productividad, estabilidad y resiliencia ante distintas opciones de intensificación". Seminario de ganadería sobre campo natural: Resultados de proyectos de investigación. Ganadería y Clima e Innovagro. ANII-FAGRO-INIA.

Piñeiro, G., Piñeiro, J. M., Abrigo, M., & Tiscornia, F. (2022). Informe complementario de línea de base de indicadores ambientales en los 20 pares de predios de monitoreo, de emisiones de GEI y productividad primaria. Entregable 30. Proyecto Ganadería y Clima. No publicado.

Ramírez, L., & Säumel, I. (2022). Native forest metacommunity structures in Uruguay shaped by novel land-use types in their surroundings. Ecology and Evolution, 12(3). https://doi.org/10.1002/ece3.8700

Rubio, V., Diaz-Rossello, R., Quincke, J. A., & van Es, H. M. (2021). Quantifying soil organic carbon's critical role in cereal productivity losses under annualized crop rotations. Agriculture, Ecosystems & Environment, 321, 107607.

Ruggia, A., Dogliotti, S., Aguerre, V., Albicette, M. M., Albin, A., Blumetto, O., Cardozo, G., Leoni, C., Quintans, G., Scarlato, S., Tittonell, P., & Rossing, W. A. H. (2021). The application of ecologically intensive principles to the systemic redesign of livestock farms on native grasslands: A case of co-innovation in Rocha, Uruguay. Agricultural Systems, 191, 103148. https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2021.103148

Silveira, L. F., & Alonso, J. (2008). Runoff modifications due to the conversion of natural grasslands to forests in a large basin in Uruguay. Hydrological Processes, 23(2), 320–329. https://doi.org/10.1002/hyp.7156

Silveira, L. F., Gamazo, P., Alonso, J., & Martínez, L. C. V. (2016). Effects of afforestation on groundwater recharge and water budgets in the western region of Uruguay. Hydrological Processes, 30(20), 3596–3608. https://doi.org/10.1002/hyp.10952

Soca, P. & Orcasberro, R. (1992). Propuesta de Manejo del Rodeo de Cría en base a Estado Corporal, Altura del Pasto y Aplicación del Destete Temporario In: Evaluación Física y Económica de Alternativas Tecnológicas en Predios Ganaderos. Estación Experimental M. A. Cassinoni. Facultad de Agronomía. Universidad de la República.

SUL (2018). Manual Práctico de Producción Ovina. MGAP-DGDR y BID.

Tittonell, P. (2014). Ecological intensification of agriculture — sustainable by nature. Current Opinion in Environmental Sustainability, 8, 53–61. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006