



Ministerio
de Ganadería,
Agricultura y Pesca



Ministerio
de Ambiente



Organización de las Naciones
Unidas para la Alimentación
y la Agricultura



gef GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY
INVESTING IN OUR PLANET

PRODUCCIÓN GANADERA CLIMÁTICAMENTE INTELIGENTE
Y RESTAURACIÓN DEL SUELO EN PASTIZALES URUGUAYOS

Informe de análisis costo-beneficio y potencial de mitigación de medidas de mitigación priorizadas

Producto 5

Agosto 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 de las Acciones de Mitigación en Ganadería

Producto 5. Informe de análisis costo-beneficio y potencial de mitigación de medidas de mitigación priorizadas

Elaboración:

Carolina Balian (Consultora Nacional para la elaboración de las Acciones de Mitigación en Ganadería) y Andrés Castagna (Consultor Nacional para desarrollo del sistema MRV) 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, agosto de 2023

Contenido

SIGLAS Y ACRÓNIMOS	4
MARCO DEL PROYECTO GANADERÍA Y CLIMA	6
INTRODUCCIÓN	9
1. ADOPCIÓN DE PRÁCTICAS DE MANEJO EN GANADERÍA DE BASE PASTORIL	11
1.1. Introducción	11
1.2. Análisis Costo-Beneficio	12
1.3. Potencial de mitigación	28
1.4. Co-beneficios	35
2. INSTALACIÓN DE MONTES DE ABRIGO Y SOMBRA	37
2.1. Introducción	37
2.2. Análisis Costo-Beneficio	39
2.3. Potencial de mitigación	5
2.4. Co-beneficios	7
3. REDUCCIÓN EN LA CONVERSIÓN DEL CAMPO NATURAL	9
3.1. Introducción	9
3.2. Análisis costo-beneficio	12
3.3. Potencial de mitigación	17
3.4. Co-beneficios	20
4. AUMENTO DE LA FASE DE PASTURAS EN ROTACIONES CON CULTIVOS	22
4.1. Introducción	22
4.2. Análisis costo-beneficio	24
4.3. Potencial de mitigación	29
4.4. Co-beneficios	31
6. CONSIDERACIONES FINALES	32
REFERENCIAS	34
ANEXOS	43

Siglas y acrónimos

ACB	Análisis costo-beneficio
BAU	Business As Usual
BV	Biomasa viva
CN	Campo natural
CNFR	Comisión Nacional de Fomento Rural
COMAP	Comisión de Aplicación de la Ley de Inversiones
COS	Carbono orgánico del suelo
CSC	Costo Social del Carbono
DGDR	Dirección General de Desarrollo Rural – 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 (FMAM)/Global Environment Facility
GEI	Gases de Efecto Invernadero
IMA	Incremento Medio Anual
INAC	Instituto Nacional de Carnes
INFPK	Ingreso neto familiar a precios constantes
INGEI	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
INIA	Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria
IPA	Instituto Plan Agropecuario
IPC	Índice de Precios al Consumo
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático /Intergovernmental Panel on Climate Change
IRAE	Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas
ITH	Índice de Temperatura y Humedad
MA	Ministerio de Ambiente
MGAP	Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca
MOM	Materia orgánica muerta

MRV	Monitoreo, Reporte y Verificación
NAMA	Acción Nacional Apropriada de Mitigación/Nationally Appropriate Mitigation Action
NDC	Contribución Determinada a Nivel Nacional al Acuerdo de París
OPYPA	Oficina de Programación y Política Agropecuaria – MGAP
PUMS	Planes de Uso y Manejo del Suelo
PV	Peso vivo
RCP	Rotaciones cultivo-pasturas
SIG	Sistema de Información Geográfico
SNIP	Sistema Nacional de Inversión Pública
SNRCC	Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático y Variabilidad
UDELAR	Universidad de la República
UG	Unidades ganaderas
VPN	Valor Presente Neto
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 revisión 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 Acciones 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.

Informe de análisis costo-beneficio y potencial de mitigación de medidas de mitigación priorizadas

Introducción

Este informe tiene como objetivo presentar los resultados del análisis de medidas de mitigación priorizadas en el proceso de elaboración de las Acciones de Mitigación en Ganadería. Las medidas fueron evaluadas desde dos perspectivas: el análisis costo-beneficio y la estimación del potencial de mitigación. También se identificaron los co-beneficios o efectos positivos en el bienestar social que generan algunas medidas, más allá de la mitigación del cambio climático.

Las medidas que fueron priorizadas y evaluadas en este informe fueron las siguientes: (1) adopción de prácticas de manejo en ganadería de base pastoril; (2) instalación de montes de abrigo y sombra; (3) reducción en la conversión del campo natural; y (4) aumento de la fase de pasturas en rotaciones con cultivos.

El análisis costo-beneficio (ACB) es una herramienta que permite evaluar la conveniencia de realizar un proyecto o política a partir de la cuantificación de los costos y beneficios asociados a su implementación a lo largo de un período de tiempo, y la comparación de éstos frente a un escenario de línea de base. Este análisis se puede realizar desde dos perspectivas: la evaluación privada y la evaluación social o económica.

Por un lado, la evaluación privada se realiza desde el punto de vista del inversor o ejecutor del proyecto o política, por lo que considera los flujos de costos y beneficios financieros asociados a la implementación del proyecto (FAO & PNUD, 2019). En este caso, se evalúa la implementación de medidas de mitigación por parte de los productores agropecuarios. Se considera que la inversión es rentable cuando el Valor Presente Neto (VPN) es mayor a cero. El VPN refleja el valor monetario de los beneficios y costos totales descontados mediante una tasa de descuento determinada, que permite expresar los valores futuros en valores presentes. Los valores se presentan en términos incrementales, por lo que surgen de la diferencia entre los resultados de implementar la medida y de la línea de base.

Por otro lado, en el caso de la evaluación social o económica, también interesa saber qué impactos tendrá el proyecto (la medida de mitigación) en la economía en su conjunto y en la sociedad, por lo que se evalúan los cambios en el bienestar social como consecuencia de la intervención (FAO & PNUD, 2019). En este caso, cuando el VPN es positivo, se entiende que está generando un aumento en el bienestar social. La evaluación social debería capturar todos los efectos cuantificables del proyecto (efectos directos, indirectos y externalidades). Sin embargo, no fue posible incluir todos estos efectos en el análisis de las medidas por falta de información. Si bien se identificaron varios co-beneficios en cada una de las medidas, solo se incluyó el costo social del carbono como un beneficio (una menor externalidad ambiental) asociado al potencial de mitigación de cada medida.

El período de tiempo considerado para el análisis de las medidas es de 10 años en el caso de las medidas sobre adopción de prácticas de manejo y conversión de campo natural. Para la medida sobre rotaciones cultivo-pasturas se considera un período de 12 años (duración de dos rotaciones de 6 años), mientras que para la medida de montes de abrigo y sombra se consideran 30 años por los períodos de cosecha forestal. Siguiendo recomendaciones de SNIP (2014) al igual que en Troncoso (2019), se considera una tasa de descuento real de 7,5% y los flujos se contabilizan a precios constantes para dejar fuera el efecto de la inflación, tanto en el análisis privado como social. La tasa de descuento busca capturar el costo de oportunidad del uso de los fondos.

La estimación del potencial de mitigación incluyó el análisis de los principales GEI sobre los que tiene impacto cada medida. Para el cálculo se utilizaron factores de las directrices del IPCC (IPCC, 2006) que son considerados para el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) y factores generados a partir de investigación nacional. Los valores son presentados en términos de captura o emisión anual de dióxido de carbono equivalente (métrica GWP 100 AR4) por unidad de superficie. También se presenta el cálculo del potencial de mitigación considerando los mismos períodos de tiempo utilizados en el análisis costo-beneficio de cada medida.

1. Adopción de prácticas de manejo en ganadería de base pastoril

1.1. Introducción

El escalamiento de la adopción de buenas prácticas de manejo en sistemas ganaderos de base pastoril se puede lograr a través del desarrollo de un programa de extensión y asistencia técnica por parte del MGAP dirigido a mejorar la gestión económica y productiva y reducir la intensidad de emisiones del predio.

Según la Encuesta de Buenas Prácticas Ganaderas realizada por MGAP en 2020, solo el 6,5% de los predios que ocupan el 13% de la superficie de campo natural (1.228.576 ha) aplican las 8 prácticas de manejo básicas definidas en el sistema de monitoreo, reporte y verificación de las NDC a la vez (Jones et al., 2020).¹

En la Segunda NDC (República Oriental del Uruguay, 2022) se establecen tres medidas relativas a la adopción de buenas prácticas de manejo en predios ganaderos:

- A 2030 se han incorporado buenas prácticas de manejo del campo natural y del rodeo de cría en establecimientos de producción ganadera en 1.500.000 ha, para prevenir la pérdida y potenciar el secuestro de carbono orgánico del suelo. (Mitigación-Incondicional)
- A 2030 se han incorporado buenas prácticas de manejo del campo natural y del rodeo de cría en establecimientos de producción ganadera en 2.500.000 ha (adicionales a la medida incondicional), para prevenir la pérdida y potenciar el secuestro de carbono orgánico del suelo. (Mitigación-Condiciona)
- Al 2030 se han incorporado buenas prácticas de manejo del campo natural y del rodeo de cría en establecimientos de producción ganadera en un área entre 1.500.000 y 4.000.000 ha, que conducen a reducir la vulnerabilidad a la variabilidad climática en sistemas de

¹ Estas prácticas son: (1) entore de vaquillonas con menos de 28 meses, (2) entore estacional, (3) ventas programadas, (4) loteo de vacas para el pastoreo, (5) diagnóstico de gestación de las vacas entoradas o inseminadas, (6) destete definitivo de los terneros en marzo, (7) entore o inseminación concentrado entre noviembre y febrero, y (8) estimación de la disponibilidad de forraje con métodos cuanti o cualitativos.

producción ganadera basados en campo natural. (Adaptación)

En la tabla 1 se muestra la superficie incremental implicada en las metas de la Segunda NDC: 1,5 millones de hectáreas (Meta 1) y 4 millones de hectáreas (Meta 2). La primera supone una superficie incremental de 271.424 ha y la segunda de 2.771.424 ha.

Tabla 1. Superficie de campo natural bajo la adopción de buenas prácticas ganaderas, línea de base y metas de la Segunda NDC

Superficie de adopción de buenas prácticas	Línea de base 2020	Meta 1 al 2030	Meta 2 al 2030
Superficie (ha)	1.228.576	1.500.000	4.000.000
Superficie (% de campo natural)	13%	16%	42%
Superficie incremental (ha)		271.424	2.771.424

Fuente: Elaboración propia con base en Encuesta de Buenas Prácticas Ganaderas 2020 y Segunda NDC

1.2. Análisis Costo-Beneficio

1.2.1. Supuestos

Para promover la adopción de buenas prácticas en los predios ganaderos, se supone que el MGAP desarrolla un programa de extensión y asistencia técnica enfocado en mejorar la gestión económica y productiva y reducir la intensidad de emisiones de los predios. El análisis de los costos y beneficios de este programa toma como base la experiencia del proyecto Ganadería y Clima, que es implementado por el MGAP en colaboración con el Ministerio de Ambiente, con apoyo técnico de FAO y financiamiento del GEF desde marzo del 2019.

Estudios previos han utilizado modelos de simulación para estimar el efecto de cambios en las prácticas de manejo del campo natural sobre los resultados económicos de predios ganaderos. Por ejemplo, Rosas et al. (2013) utilizaron el Modelo de Explotación Ganadera Extensiva (MEGANE) desarrollado por el Instituto Plan Agropecuario (IPA). Los resultados de ese análisis para la Cuesta Basáltica indican que el cambio en la estrategia de manejo (de reactiva a proactiva, utilizando la carga ganadera como variable de referencia) genera mayores ingresos netos prediales (Rosas et al., 2013). Si bien en el presente

estudio se evaluó la posibilidad de aplicar un modelo de simulación similar, no se pudo concretar esta opción por falta de tiempo, y se tomaron los resultados económicos de los predios beneficiarios del proyecto Ganadería y Clima como referencia.

En dicho proyecto se promueve la adopción de buenas prácticas ganaderas en 61 predios comerciales que cubren 35.000 ha distribuidos en cuatro regiones ganaderas. La asistencia técnica sigue un enfoque de coinnovación en el que los técnicos extensionistas trabajan en conjunto con los productores para mejorar los indicadores prediales con base en un diagnóstico y rediseño de cada sistema productivo.

Se realiza una jornada mensual de asistencia técnica para cada productor y algunas jornadas adicionales de intercambio y capacitación de productores, así como jornadas de seguimiento y supervisión de técnicos extensionistas. Los dos primeros años de implementación del proyecto reportan un incremento significativo del producto bruto y una caída leve en los costos totales, resultante en un incremento de los ingresos netos. El tamaño promedio de los predios beneficiarios es de 583 ha.

Este modelo es similar al aplicado en el proyecto Ganadería Familiar Resiliente en Uruguay ejecutado entre 2020 y 2022 por la Comisión Nacional de Fomento Rural (CNFR) que brindó asistencia técnica a 51 predios beneficiarios que cubren cerca de 17.000 hectáreas. Los resultados prediales de este proyecto no fueron considerados en el presente análisis porque no se accedió a esta información.

Si bien el proyecto sigue una modalidad de asistencia técnica individual, se identifica que existen otras modalidades posibles que implican distintos costos y resultados prediales potenciales. Por ejemplo, se podría implementar una asistencia técnica grupal que implique la realización de una jornada mensual por grupo de diez productores, como ocurre en los grupos CREA². Esta modalidad implica una menor intensidad en la asistencia al productor, que conlleva menores costos, pero podría tener menor efectividad

² Los grupos CREA están formados por alrededor de diez productores de una misma zona y de rubros similares. De forma mensual, todos los miembros del grupo visitan uno de los establecimientos para conocer, observar y analizar cómo trabajan en todos los aspectos. Cada grupo contrata a un técnico que asesora al grupo y a los productores participantes. Fuente: <http://fucreea.org/como-ser-crea>

en cuanto a los resultados prediales.

Asimismo, es importante resaltar que la extensión en estrategias de intensificación ecológica con el enfoque de coinnovación requiere que los extensionistas posean capacidades personales y técnicas específicas, por lo que podría haber restricciones a nivel nacional para el escalamiento de la asistencia técnica. Para implementar un programa nacional de estas características sería necesario incluir un componente de capacitación de técnicos.

Costo de asistencia técnica

Los costos directos de asistencia técnica se presentan en la tabla 2. El costo por productor asciende a 4.092 US\$/año, incluyendo US\$ 3.300 por la asistencia técnica mensual individual y US\$ 792 por la asignación individual de las jornadas de supervisión de los técnicos extensionistas, considerando los viáticos. Con respecto a esto último, en el proyecto se estimó un costo total anual de US\$ 48.300 por 23 jornadas mensuales de supervisión de los 11 técnicos contratados. Considerando una superficie predial promedio de 583 ha, se estima que el costo directo de la asistencia técnica individual por hectárea es de 7 US\$/ha/año.

Tabla 2. Estimaciones del costo de asistencia técnica predial

Concepto	Costo directo de asistencia técnica
Costo por productor base (US\$/año)	3.300
Costo jornadas supervisión técnicos (US\$/año)	48.300
Costo jornadas supervisión técnicos por productor (US\$/año)	792
Costo por productor (US\$/año)	4.092
Costo por hectárea (US\$/ha/año)	7,01

Fuente: Elaboración propia con base en información brindada por el proyecto Ganadería y Clima

Se espera que la intensidad de la asistencia técnica comienza a reducirse a partir del tercer año de implementación debido al proceso de aprendizaje de

productores y extensionistas. Por lo tanto, se asume que el costo de la asistencia técnica se reduce en 20% a partir del tercer año.

Resultados productivos prediales

En la tabla 3 se presentan los resultados económicos promedio obtenidos por los predios beneficiarios del proyecto Ganadería y Clima, en la línea de base (promedio de ejercicios 2017-2020) y en los dos primeros años de implementación (ejercicios 2020-2021 y 2021-2022).

Tabla 3. Resultados económicos promedio de predios beneficiarios del proyecto Ganadería y Clima al 2022

	Costos totales (US\$/ha)	Producto bruto (US\$/ha)	Ingreso neto a precios constantes (US\$/ha)
Línea de base (2017-2020)	103	150	47
Ejercicio 2020-2021	100	161	61
Variación (US\$/ha)	-3,1	11,2	14,3
Ejercicio 2021-2022	102	164	62
Variación (US\$/ha)	-1,0	14,0	15,0

Fuente: Informe de evaluación anual 2021-2022 del Proyecto Ganadería y Clima (Dogliotti et al., 2022b)

En promedio, los predios incrementaron su ingreso neto (a precios constantes) en un 30% en el primer ejercicio y en un 32% en el segundo ejercicio, con respecto a la línea de base, alcanzando 62 US\$/ha en 2021-2022. Esta variación se explicó principalmente por el aumento en el producto bruto que ascendió a 164 US\$/ha (9% de incremento) en el último ejercicio. El rubro vacuno fue el principal componente del producto bruto. La producción de carne equivalente aumentó un 7% en promedio entre la línea de base y los dos ejercicios del proyecto, pasando de 96 a 103 kg carne equivalente/ha. Los costos registraron una pequeña caída en ambos ejercicios, manteniéndose similares a la línea de base (Dogliotti et al., 2022b).

Cabe mencionar que en el ejercicio 2021-2022 se evidenció un incremento histórico en los precios de la ganadería. Para dejar afuera del análisis este

efecto del alza de precios, se considera el ingreso neto familiar a precios constantes (INFPK) reportado en el informe de resultados del proyecto. Mientras que el INFPK aumentó en un 32% en este ejercicio, el incremento del ingreso neto a precios corrientes fue del doble (Dogliotti et al., 2022b).

Asimismo, se observa una alta variabilidad de los resultados económicos entre los productores, ya que en el primer ejercicio solo aumenta su ingreso neto el 56% de los productores, mientras que el 39% disminuye y el 6% no cambia (Dogliotti et al., 2022a).

Para estudiar la variabilidad de los resultados entre los productores beneficiarios, utilizando la base de datos del proyecto, se crearon clasificaciones que separan a los productores con base en tres criterios: región, tamaño (superficie del predio), y porcentaje de área mejorada (campo natural y pasturas permanentes). La primera clasificación incluye 4 grupos: Norte, Centro, Este, Noreste. La clasificación por tamaño separa a productores chicos (menos de 500 ha) y medianos (más de 500 ha). Por último, se separaron tres grupos con base en el porcentaje de área mejorada: entre 0 y 10%, entre 10 y 20% y más de 20%.

Tabla 4. Resultados económicos de predios beneficiarios del proyecto Ganadería y Clima al 2022 clasificados por región

Grupo	Período	Costos totales (US\$/ha)	Producto bruto (US\$/ha)	Ingreso neto a precios constantes (US\$/ha)
Centro	Línea de base	129	182	53
	Ejercicio 2020-2021	121	193	71
	Ejercicio 2021-2022	135	196	61
Este	Línea de base	102	155	53
	Ejercicio 2020-2021	94	152	58
	Ejercicio 2021-2022	103	165	61
Noreste	Línea de base	119	154	35
	Ejercicio 2020-2021	111	171	60
	Ejercicio 2021-2022	100	167	67

Norte	Línea de base	68	127	58
	Ejercicio 2020-2021	68	136	69
	Ejercicio 2021-2022	73	136	63

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Resultados económicos de predios beneficiarios del proyecto Ganadería y Clima al 2022 clasificados por porcentaje de área mejorada

Grupo	Período	Costos totales (US\$/ha)	Producto bruto (US\$/ha)	Ingreso neto a precios constantes (US\$/ha)
< 10%	Línea de base	84	131	48
	Ejercicio 2020-2021	83	149	66
	Ejercicio 2021-2022	85	148	63
10 a 20%	Línea de base	131	173	42
	Ejercicio 2020-2021	111	160	49
	Ejercicio 2021-2022	122	179	58
> 20%	Línea de base	118	175	57
	Ejercicio 2020-2021	113	183	70
	Ejercicio 2021-2022	118	183	65

Fuente: elaboración propia

Tabla 6. Resultados económicos de predios beneficiarios del proyecto Ganadería y Clima al 2022, clasificados por tamaño

Grupo	Período	Costos totales (US\$/ha)	Producto bruto (US\$/ha)	Ingreso neto a precios constantes (US\$/ha)
Chico	Línea de base	110	164	54
	Ejercicio 2020-2021	101	170	69
	Ejercicio 2021-2022	105	173	67
Mediano	Línea de base	94	136	42

	Ejercicio 2020-2021	95	153	57
	Ejercicio 2021-2022	99	155	55

Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar que algunas observaciones pueden ser consideradas “outliers” por presentar una alta desviación (mayor a tres desviaciones estándar) con respecto al resto de las observaciones dentro de los grupos. Por ejemplo, dentro del grupo de los predios chicos, un predio tenía una producción de carne equivalente por hectárea de 200 kg en el promedio de la línea de base. Sin embargo, se decidió no eliminar datos de la base con este criterio.

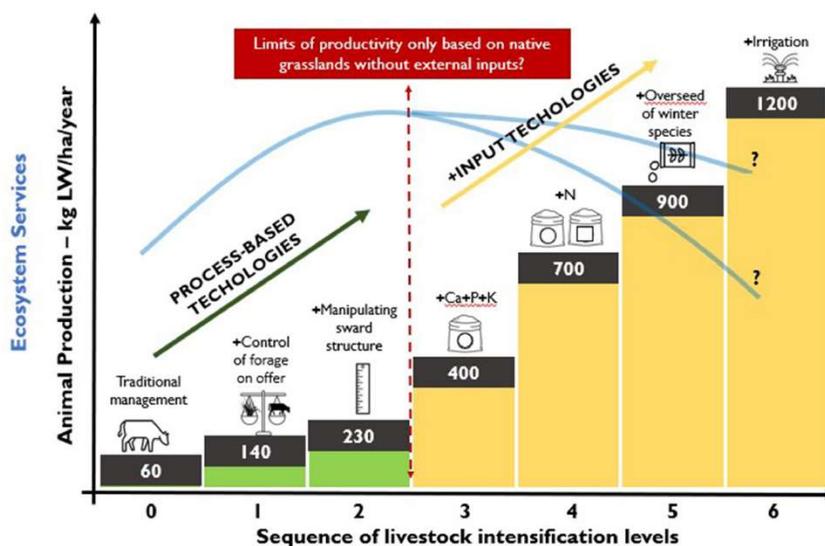
Por otra parte, es importante destacar que estos resultados económicos reflejan los impactos iniciales de la implementación de la estrategia de intensificación ecológica promovida por el proyecto. Una serie temporal más extensa podría permitir observar otros efectos no capturados en los primeros años de ejecución. A su vez, el período 2020-2022 estuvo marcado por condiciones climáticas muy adversas: una sequía afectó drásticamente la producción ganadera en todo el territorio nacional y el Estado declaró el estado de Emergencia Agropecuaria en ambos ejercicios. Por estos motivos, los resultados productivos tomados como referencia pueden ser considerados conservadores. La producción ganadera es una variable clave en el análisis dada su alta influencia en la determinación de los resultados económicos.

Para evaluar los resultados productivos potenciales de la adopción de estas prácticas bajo condiciones climáticas “normales”, se pueden considerar los resultados obtenidos en el proyecto “Coinnovando para el desarrollo sostenible de sistemas de producción familiar de Uruguay” (Coinnovando Rocha). Este proyecto, financiado por INIA, apoyó la asistencia técnica de 7 predios ganaderos entre el ejercicio 2012-2013 y el 2014-2015, período en el que no ocurrieron eventos climáticos extremos. Este proyecto siguió un modelo similar al de Ganadería y Clima de asistencia técnica con el enfoque de intensificación ecológica a través de la coinnovación. Los predios beneficiarios lograron aumentar en 22% la producción de carne, pasando de 100 a 122 kg carne equivalente/ha cuando se compara el promedio de los tres años previos al proyecto con el promedio de los tres años de implementación

del proyecto (Ruggia et al., 2021). Ese incremento es notablemente superior al 7% obtenido por los beneficiarios de Ganadería y Clima durante los ejercicios afectados por la sequía.

Por otra parte, para proyectar los resultados productivos de 2023 a 2030, se toma como base el trabajo de Jaurena et al. (2021) que indica que con la implementación de una estrategia de intensificación ecológica basada en el control de la oferta de forraje, la producción potencial es de 140 kg carne equivalente/ha (figura 1). Se asume que este potencial productivo se alcanza en 2030 y que la producción evoluciona de forma lineal hasta entonces.

Figura 1. Evolución esperada de la producción de carne bajo estrategias de intensificación basadas en procesos y en insumos



Fuente: Jaurena et al. (2021) adaptado de Carvalho et al. (2011) y Nabinger & Jacques (2019)

La producción promedio de los productores de Ganadería y Clima en la línea de base fue de 96 kg carne equivalente/ha. Por lo tanto, esta producción potencial de 140 kg/ha implica un incremento de 46% en la producción de carne equivalente.

En la tabla 7 se presenta la producción de carne en la línea de base y el aumento logrado en los dos primeros ejercicios de Ganadería y Clima (7%). Además, se presenta la producción de carne potencial para ese período si se hubiera alcanzado el incremento de 22% logrado en el proyecto Coinnovando

Rocha, que no enfrentó las condiciones climáticas adversas mencionadas, partiendo de la misma línea de base. Por último, muestra la producción de carne potencial hacia 2030 con base en Jaurena et al. (2021).

Tabla 7. Producción de carne bajo distintas situaciones evaluadas

	Línea de base	Proyecto (observado 2020-2022)	Potencial 2020-2022	Potencial hacia 2030
Producción de carne (kg carne-eq./ha)	96	103	117	140
Variación (kg carne-eq./ha)		7	21	44
Variación (%)		7%	22%	46%

Fuente: elaboración propia con base en Dogliotti et al. (2022b), Ruggia et al. (2021) y Jaurena et al. (2021)

Este incremento en la producción de carne vacuna resulta en un aumento del producto bruto de igual proporción (de 150 a 219 US\$/ha). Se supone que los costos totales del predio (excluyendo el costo de asistencia técnica, que se consideró en el punto anterior) no varían con respecto a la línea de base. Si bien se observó una reducción marginal de los costos prediales en el proyecto Ganadería y Clima, este supuesto busca ser conservador. Esto resulta en un incremento del ingreso neto desde 47 US\$/ha en la línea de base hasta 116 US\$/ha hacia 2030, cuando se alcanza el potencial productivo. En la tabla 8 se resumen estos supuestos relativos a la evolución esperada de resultados económicos prediales.

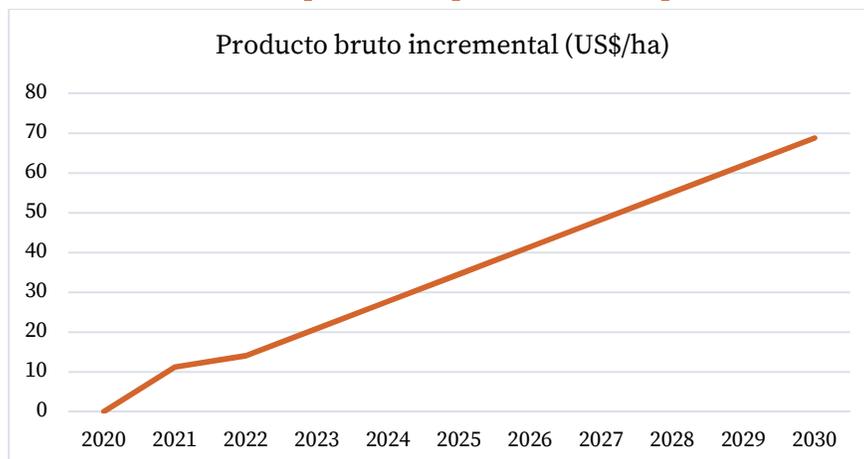
Tabla 8. Evolución esperada de resultados económicos prediales

	Costos totales (US\$/ha)	Producto bruto (US\$/ha)	Ingreso neto (US\$/ha)
Línea de base (2017-2020)	103	150	47
Potencial al 2030	103	219	116
Variación (US\$/ha)	0	69	69

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica de la figura 2 se muestra la evolución esperada del producto bruto incremental con base en los resultados promedio de Ganadería Clima y el potencial estimado para una producción de 140 kg carne-eq/ha.

Figura 2. Evolución esperada del producto bruto predial incremental



Fuente: Elaboración propia

1.2.2. Resultados del análisis costo-beneficio

Costos y beneficios incrementales por hectárea

En la tabla 9 se presentan los resultados de costos, beneficios e ingreso neto (sin descontar) y el valor presente neto (VPN) por hectárea. Los valores son incrementales, por lo que surgen de la diferencia entre los resultados de implementar la medida y los resultados de la línea de base. La tasa de descuento utilizada es de 7,5%.

Tabla 9. Flujo de fondos y VPN por hectárea promedio (incremental)

	2020	2021	2022	2023	(...)	2030
Costos (US\$/ha)	0	3,9	6,0	5,6		5,6
Costos AT	0	7,0	7,0	5,6		5,6
Costos prediales	0	-3,1	-1,0	0		0
Beneficios (US\$/ha)	0	11,2	14,0	20,8		68,8
Ingreso neto (US\$/ha)	0	7,3	8,0	15,2		63,1
VPN (US\$/ha)	199					

El VPN calculado como la suma del ingreso neto incremental descontado es de 199 US\$/ha. El valor positivo indica que la implementación del programa de

extensión genera beneficios económicos a nivel privado, incluso cuando los productores asumen el costo de asistencia técnica. Si excluimos este costo del flujo de fondos, asumiendo que es incurrido por el sector público en el marco de un programa de extensión, el VPN privado asciende a 240 US\$/ha.

Como se comentó anteriormente, se pueden observar diferencias entre los resultados económicos de los distintos grupos de productores que se reflejan en el VPN del análisis por grupo. En la tabla 10 se muestra el VPN para los distintos grupos clasificados por región, porcentaje de área mejorada (pasturas y campo natural), y tamaño del predio. Estos resultados asumen que el costo de asistencia técnica es incurrido por los predios, por lo que los valores serían mayores bajo un programa de extensión que subsidia este gasto. Los resultados del VPN incremental por región ganadera varían entre 128 US\$/ha (Centro) y 245 US\$/ha (Norte). Un factor determinante es que la región Norte presente mayor VPN es que tiene una menor producción en la línea de base, por lo que la producción incremental es mayor, ya que se asume la misma producción potencial al 2030 para todos los grupos. Sin embargo, las regiones tienen distinto potencial productivo, lo cual se explica principalmente por los distintos tipos de suelo, por lo que este supuesto debería ser modificado en análisis posteriores. Igualmente, los resultados finales del análisis de esta medida utilizan los datos promedio, sin discriminar por región.

Si vemos los resultados por porcentaje de área mejorada, estos varían entre 115 US\$/ha (10 a 20%) y 275 US\$/ha (< 10%). A priori, no parecería haber una clara relación entre el área mejorada y el VPN. Sin embargo, el proyecto Ganadería y Clima observó una correlación positiva entre el área mejorada y la productividad ganadera luego del rediseño del manejo del pasto y del rodeo en los predios, mientras que esta correlación no se observó en los ejercicios previos al rediseño. Por último, los predios chicos alcanzaron en promedio un VPN de 160, mientras que los predios medianos superaron este valor con un VPN de 255 US\$/ha.

Tabla 10. VPN por hectárea para los distintos grupos de productores

Clasificación	Grupo	VPN (US\$/ha)
Región	Centro	128
	Este	169
	Noreste	222
	Norte	245

Área mejorada	< 10%	275
	10 a 20%	115
	> 20%	121
Tamaño (área)	Chico	160
	Mediano	255

Fuente: elaboración propia

Análisis de sensibilidad

Como se mencionó anteriormente, la producción ganadera tiene una alta incidencia en los resultados económicos. Si consideramos una producción potencial de 130 kg carne-eq/ha al 2030 (inferior a los 140 kg carne-eq/ha considerados anteriormente), el VPN promedio desciende de 199 a 158 US\$/ha, aunque sigue siendo positivo.

Asimismo, se analizó el VPN bajo el escenario “sin sequía”, para el cual se consideró el incremento del 22% en la producción de carne equivalente logrado en el proyecto “Coinnovando Rocha” que se comentó anteriormente. Con base en los valores presentados en la tabla 7, si aumenta la producción ganadera incremental de los dos primeros ejercicios de 7 a 21 kg carne-eq/ha (22% de incremento respecto a la línea de base), el producto bruto asciende de 12,6 US\$/ha en promedio a 33 US\$/ha. Esto resulta en un VPN superior de 283 US\$/ha.

Análisis social

A diferencia del análisis costo-beneficio desde una perspectiva privada, en la evaluación social se incluyen las externalidades ambientales que genera el proyecto. Cuando es posible, esas externalidades son valorizadas e incluidas en el flujo de fondos, mientras que cuando no se dispone de información suficiente para aplicar alguna de las técnicas de valoración, estos efectos son solamente identificados (Balian et al., 2018). Por tratarse de una medida de mitigación, uno de sus principales efectos ambientales es la reducción de emisiones de GEI. En la sección 1.3 a continuación se detalla la estimación del potencial de mitigación de la medida, mientras que en la presente sección se explica el método de valoración de esas emisiones abatidas.

Al tratarse de una reducción en una externalidad ambiental (emisiones de GEI) derivada de la medida, este valor monetario se incluye en del flujo de fondos como un costo de signo negativo.

Para la valoración de las emisiones abatidas se utiliza el concepto de Costo Social del Carbono (CSC) de Nordhaus (2014), siguiendo el criterio de estudios previos

de análisis costo-beneficio de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático en Uruguay (Rosas, 2018; Balian et al., 2018). El CSC es definido como el costo monetario a nivel global generado por el impacto de una tonelada de CO₂-equivalente adicional emitida a la atmósfera para la sociedad en determinado período, por lo cual refleja más adecuadamente el costo social de las emisiones de GEI que el precio de mercado de los créditos de carbono (Balian et al., 2018).

Se considera la trayectoria de CSC que corresponde al escenario de aumento de temperatura global menor a 2 °C estimada por Nordhaus (2014). Para obtener una serie del CSC para el período de análisis de este estudio (2020-2030), se utilizaron los valores puntuales del CSC para 2020 (30,6 US\$/ton CO₂-eq), 2025 (37,1) y 2030 (44,7), y se hizo una interpolación lineal de los valores entre años. Luego, dado que estos valores están expresados en precios constantes de 2005, se multiplican por un factor de ajuste que refleja la variación de precios entre 2005 y 2020, que es el año de base del presente análisis. Este factor de ajuste se calcula como el cociente entre el IPC de los Estados Unidos de 2020 sobre el IPC de los Estados Unidos de 2005 (1,33). El CSC resultante va desde 40,6 US\$/ton CO₂-eq en 2020 hasta 59,2 US\$/ton CO₂-eq en 2030.

Para contrastar los valores de CSC de Nordhaus (2014), se utilizó el rango de precio sombra del carbono publicado en las guías de Banco Mundial (2017) que se basa en Carbon Pricing Leadership Coalition (2017). Aquí se sugiere un rango de precios de 40 a 80 US\$/ton CO₂-eq en 2020, que aumenta a un rango de 50 a 100 US\$/ton CO₂-eq al 2030. Siguiendo el mismo método descrito en el párrafo anterior, se hizo la interpolación de los valores entre 2020 y 2030 y se ajustaron los valores con base en la variación de precios entre 2017 (año base original) y 2020. En este caso, el CSC resultante considerando el rango de precios mínimo va desde 42,2 US\$/ton CO₂-eq en 2020 hasta 52,8 US\$/ton CO₂-eq en 2030. Cuando consideramos el rango de precios máximo, este valor oscila entre 84,5 y 105,6 US\$/ton CO₂-eq en el mismo período. Dado que el rango de precios mínimo de Banco Mundial (2017) actualizado es similar a la serie calculada a partir de Nordhaus (2014), se decide utilizar la primera fuente para incorporar el CSC en el flujo de fondos.

Tabla 11. Costo Social del Carbono en US\$/ton CO2 eq

	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Nordhaus (2014)											
Año base 2005	30,6	31,9	33,2	34,5	35,8	37,1	38,62	40,14	41,66	43,18	44,7
Año base 2020	40,6	42,3	44,0	45,7	47,4	49,2	51,2	53,2	55,2	57,2	59,2
Banco Mundial (2017)											
Año base 2017	40	40,9	41,8	42,8	43,7	44,7	45,7	46,8	47,8	48,9	50
	80	82,0	84,0	86,0	88,0	90,0	92,0	94,0	96,0	98,0	100
Año base 2020	42,2	43,2	44,2	45,2	46,2	47,2	48,3	49,4	50,5	51,6	52,8
	84,5	86,6	88,7	90,8	92,9	95,0	97,1	99,3	101,4	103,5	105,6

En la tabla 12 se presentan los valores de CSC en US\$/ha, calculados a partir del CSC en US\$/ton CO2-eq de la tabla 11 anterior para el Banco Mundial (2017), y el VPN social por hectárea resultante. Se parte del flujo de fondos del análisis privado y se agrega el CSC con signo negativo dentro de los costos sociales. Las emisiones abatidas son de 0,315 ton CO2-eq/ha por año, como se muestra en la sección 1.3 sobre el potencial de mitigación de la medida. **El VPN social oscila entre 301 y 404 US\$/ha**, lo cual indica que es conveniente desde el punto de vista social implementar un programa de extensión que promueva la adopción de buenas prácticas ganaderas. Este resultado supera al obtenido en la evaluación privada debido al beneficio (costo negativo) generado por la valorización de las emisiones abatidas por la adopción de buenas prácticas ganaderas. Estos valores pueden ser mayores si se valorizan los co-beneficios de esta medida que se identifican en la sección 1.4.

Tabla 12. CSC y VPN social por hectárea promedio (incremental)

	2020	2021	2022	2023	(...)	2030
Emisiones abatidas (ton CO2-eq/ha)	0	0,315	0,315	0,315		0,315
Costo social del carbono y VPN social resultante						
CSC Min (US\$/ha)	0	-13,6	-13,9	-14,2		-16,6
CSC Min (US\$/ton CO2-eq)	0	43,2	44,2	45,2		52,8
VPN (US\$/ha)	301					
CSC Max (US\$/ha)	0	-27,3	-27,9	-28,6		-33,3
CSC Max (US\$/ton CO2-eq)	0	86,6	88,7	90,8		105,6
VPN (US\$/ha)	404					

Cabe destacar que las estimaciones anteriores del costo de asistencia técnica solamente consideran el pago de salarios para los extensionistas y supervisores, así como los viáticos correspondientes, pero no consideran otros costos públicos que pueden incurrirse al implementar un programa de extensión de buenas prácticas ganaderas.

En primer lugar, habrían costos asociados a la capacitación de los técnicos extensionistas en coinnovación para la intensificación sostenible de los sistemas ganaderos, incluyendo el pago de salarios a docentes por el desarrollo del programa de capacitación y el dictado de las clases, los gastos de alumnos en materiales y viáticos para asistir a jornadas de campo, y el pago de salarios para tareas administrativas (inscripciones, evaluaciones, certificación, etc.). Este programa puede basarse en el curso “Bases tecnológicas y metodológicas para la intensificación ecológica de sistemas ganaderos sobre campo natural” dictado en Fagro-Udelar con el apoyo del proyecto Ganadería y Clima, que además de la capacitación en aspectos agronómicos, incluye el desarrollo de habilidades blandas funcionales al enfoque de coinnovación (FAO, 2020).

En segundo lugar, la implementación de un programa de extensión requiere un coordinador/a, un encargado/a de monitoreo y evaluación del programa, y al menos un supervisor/a general del componente predial. Además, el monitoreo de las variables ambientales puede requerir un presupuesto adicional (muestreo y análisis de suelos, muestreo de vegetación, estimación de emisiones de GEI, monitoreo satelital, etc).

Asimismo, los costos por pago de salarios y viáticos a extensionistas podrían ser menores a los estimados a partir del proyecto Ganadería y Clima: un extensionista podría cubrir 8 predios, lo cual equivale a 4.600 ha, considerando un tamaño promedio de predio de 580 ha (F. García, com. pers., 2023), lo cual implica una cobertura mayor a la del proyecto.

El programa de extensión podría ejecutarse en dos rondas con una duración de 3 años cada una. Primero se podría lanzar una convocatoria en 2024 a 180 predios, y luego una segunda convocatoria en 2027 a 450 predios. Considerando una superficie promedio de 480 ha por predio, estas dos convocatorias alcanzarían a 365.400 ha (630 predios) al 2030. Esto superaría la meta incondicional de la Segunda NDC de alcanzar 1,5 millones de hectáreas

(271.424 ha adicionales a la línea de base de 2020, según la tabla 1). Considerando que cada extensionista puede cubrir a 8 predios, se requeriría contratar y capacitar a cerca de 80 técnicos.

La estimación de los costos anuales asociados a un programa público de extensión, con base en la información previa, se detalla a continuación:

- **Desarrollo e implementación de programa de capacitación de extensionistas (US\$ 15.500 por dos cursos, cada uno para 40 alumnos):**
 - Pago de salarios a docentes por el desarrollo del programa de capacitación (US\$ 1.500, corresponde a un costo de US\$ 4.500 repartido en tres años)
 - Pago de salarios a docentes por el dictado de clases (US\$ 4.500)
 - Gastos de alumnos en materiales y viáticos para asistir a jornadas de campo (US\$ 8.000, corresponde a US\$ 100 por alumno)
 - Pago de salarios para tareas administrativas (inscripciones, evaluaciones, certificación, etc.) (US\$ 1.500)
- **Gestión del programa de extensión (US\$ 156.000, dos convocatorias):**
 - Pago de salario a coordinador/a del programa (US\$ 36.000)
 - Pago de salario a encargado/a de monitoreo y evaluación del programa (US\$ 24.000)
 - Pago de salario a dos supervisores generales del componente predial (US\$ 36.000)
 - Gastos por monitoreo de las variables ambientales (muestreo y análisis de suelos, muestreo de vegetación, estimación de emisiones de GEI, monitoreo satelital, etc) (US\$ 60.000)
- **Contratación de extensionistas y supervisores (US\$ 2.425.000)**
 - Pago de salarios extensionistas incluyendo viáticos (US\$ 2.079.000)
 - Pago de salarios supervisores incluyendo viáticos (US\$ 346.000)

Costos y beneficios incrementales agregados

Para calcular los resultados a nivel país, se considera las metas incondicional y condicional de la Segunda NDC para el área bajo buenas prácticas ganaderas presentadas en la tabla 1. Se asume un incremento lineal de la superficie bajo buenas prácticas hasta alcanzar las metas 1 (incondicional) y 2 (condicional) en 2030. Dado que los resultados económicos del análisis se expresan en dólares

por hectárea, los resultados agregados surgen de multiplicar esos valores por la superficie incremental proyectada para cada año. En la tabla 13 se presentan el ingreso neto descontado, la superficie de adopción y el VPN agregado resultante, primero para la meta 1 y a continuación para la meta 2.

Se observa que se obtendría un beneficio económico cercano a US\$ 34 millones con una superficie de adopción de 1,5 millones de hectáreas (271.424 ha incrementales), mientras que este beneficio sería de US\$ 370 millones si se alcanza una superficie de 4 millones (2.771.424 ha incrementales) al 2030.

Tabla 13. Resultados de costos y beneficios promedio agregados

	2020	2021	2022	2023	(...)	2030
Meta 1: 1.500.000 ha						
Ingreso neto descontado (miles US\$)	0	184	356	932		8.315
Superficie de adopción (ha)	0	27.142	51.571	75.999		271.424
VPN (miles US\$)	33.912					
Meta 2: 4.000.000 ha						
Ingreso neto descontado (miles US\$)	0	1.878	3.830	10.194		84.901
Superficie de adopción (ha)	0	277.142	554.285	831.427		2.771.424
VPN (miles US\$)	370.112					

Cuando se consideran los beneficios obtenidos por las emisiones abatidas a partir del CSC mínimo y máximo, el VPN agregado resultante oscila entre US\$ 47 y US\$ 60 millones para la meta 1, mientras que toma valores de entre US\$ 514 y US\$ 659 millones para la meta 2.

1.3. Potencial de mitigación

1.3.1. Supuestos

La adopción de buenas prácticas de manejo en la ganadería permite reducir el nivel y la intensidad de las emisiones de GEI asociadas a los animales y el uso de

fertilizantes y, al mismo tiempo, podría aumentar la tasa de secuestro de carbono de los pastizales naturales utilizados como recurso forrajero en el sector.

Para estimar el potencial de mitigación de esta medida, por una parte, se utilizó la información registrada en los productores del proyecto Ganadería y Clima para estimar las emisiones vinculadas a los animales y uso de fertilizantes. Por otra parte, para el estimar la mitigación por captura de carbono en los suelos de pastizales naturales se emplearon los resultados de una consultoría realizada por la empresa Carbon Group (2021).

Finalmente, con el objetivo de presentar una discusión sobre las emisiones de GEI generadas por el ganado vacuno en sistemas de producción de carne con dietas e intensidad de uso de insumos diferentes (CN, pasturas sembradas y grano en corrales), se presenta un análisis comparativo para la etapa de engorde.

1.3.2. Reducción de emisiones asociadas a los animales y uso de insumos

En los predios participantes del proyecto Ganadería y Clima, se logra una caída en las emisiones totales de 6,3% en el primer año y de 10,4% en el segundo año en promedio. Esto equivale a un valor de emisiones incrementales de -0,117 y -0,193 ton CO₂-eq/ha, respectivamente. Este cambio se debió principalmente a menores emisiones de metano y de óxido nitroso por los animales, debido a una menor carga ganadera (Dogliotti et al., 2022b).

Tabla 14. Reducción promedio de emisiones de GEI por la adopción de buenas prácticas ganaderas en predios beneficiarios del proyecto Ganadería y Clima

	Línea de base	Promedio 2020-2021	Promedio 2021-2022
Emisiones GEI totales (ton CO ₂ -eq/ha)*	1,847	1,730	1,654
Reducción (ton CO₂-eq/ha)*	0	-0,117	-0,193
Reducción (%)*	0	-6,3%	-10,4%
Intensidad de emisiones de CH ₄ (kg CH ₄ /kg carne eq.)* ¹	0,51	0,46	0,42

Intensidad de emisiones de N ₂ O (kg N ₂ O/kg carne eq.)* ¹	0,0022	0,0020	0,0018
--	--------	--------	--------

Fuente: *Informe de evaluación anual 2021-2022 del Proyecto Ganadería y Clima (Dogliotti et al., 2022b). *¹Elaboración propia.

Por otra parte, también se estimaron los cambios en las emisiones para los mismos grupos de productores considerados en el análisis económico. Se calculó la reducción de emisiones de GEI promedio para el período 2021-2022. Para proyectar las emisiones hacia adelante, se asume que la reducción de emisiones lograda en 2021-2022 se mantiene hasta el 2030. En la tabla 15 se presentan los valores para cada grupo.

Tabla 15. Reducción de emisiones de GEI para el ejercicio 2021-2022 con respecto a la línea de base y acumulado de emisiones evitadas para el período 2022-2030 según grupo de productores

Clasificación	Grupo	Reducción 2021-2022 (ton CO ₂ -eq/ha)	Reducción 2021-2022 (%)	Reducción acumulada 2022-2030 (ton CO ₂ -eq/ha)
Región	Centro	-0,194	-10%	-1,548
	Este	-0,150	-8%	-1,197
	Noreste	-0,322	-16%	-2,577
	Norte	-0,154	-10%	-1,229
Área mejorada	< 10%	-0,147	-9%	-1,174
	10 a 20%	-0,286	-14%	-2,287
	> 20%	-0,195	-10%	-1,560
Tamaño (área)	Chico	-0,236	-12%	-1,892
	Medianos	-0,091	-5%	-0,730

Fuente: elaboración propia

1.3.3. Secuestro de carbono en el suelo del pastizal natural

Por otra parte, con base en investigaciones nacionales, se considera que el campo natural podría estar secuestrando carbono y las buenas prácticas ganaderas permitirían incrementar la tasa de secuestro.

Investigaciones de Facultad de Agronomía muestran que los pastizales naturales acumularon carbono orgánico en suelo a una tasa promedio de 0,187 ton C/ha/año (n=36, p<0,05) (Piñeiro, 2022). Este trabajo es parte de la tesis doctoral en curso de Bruno Bazzoni y Fernando Fontes y se basa en datos de largo plazo

(40 años) para todo el país, por lo que incluye pastizales ubicados en diferentes ecorregiones y también diversas prácticas de manejo ganaderas.

Además, 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 estimar el potencial de secuestro de carbono, para pastizales de las Sierras del Este en Uruguay, utilizando el modelo de simulación RothC para proyectar la dinámica del carbono en el suelo. Las tasas de secuestro de carbono promedio para la estrategia de manejo mejorado del pastoreo estuvieron entre 0,13 y 0,32 ton C/ha/año, con un promedio de 0,22 ton C/ha/año, dependiendo del tipo de suelo (Carbon Group, 2021).

Para el potencial de mitigación se decidió utilizar la tasa de secuestro potencial promedio estimada por Carbon Group para pastizales naturales bajo buenas prácticas de manejo (0,22 ton C/ha/año); y calcular el secuestro de carbono incremental como la diferencia entre esta tasa y la estimada por FAGRO (0,187), para realizar una estimación conservadora suponiendo que esta última representa una tasa de secuestro independiente del tipo de manejo. Finalmente, el valor obtenido es igual a -0,033 ton C/ha/año que equivalen a -0,121 ton CO₂-eq/ha/año (multiplicando el resultado por 44/12, ratio de pesos moleculares).

Se asume que se alcanza esta tasa de secuestro estimada (-0,121 ton CO₂-eq/ha/año) al primer año de implementación y la misma se mantiene hasta el final del período de análisis (2030). En este período se podría lograr un secuestro total de 0,968 ton CO₂-eq/ha.

1.3.4. Potencial de mitigación total (animales, insumos y suelo)

Suponiendo que el valor de secuestro de COS (-0,121 ton CO₂-eq/ha/año) es el mismo para todas las situaciones de región, tamaño y proporción de área mejorada, y sumando las emisiones del ganado evitadas promedio para los productores del proyecto (-0,194 ton CO₂-eq/ha/año), se obtiene un potencial de mitigación total de **-0,315 ton CO₂-eq/ha/año**.

Si consideramos el cumplimiento de las metas de la NDC sobre adopción de buenas prácticas ganaderas, el total abatido únicamente en el año 2030 sería de

85,5 Gg CO₂-eq en el caso de la meta incondicional (271.424 ha adicionales) y de 872,5 Gg CO₂-eq en el caso de la meta condicional (2.771.424 ha adicionales).

El potencial de mitigación acumulado para el período 2020 – 2030, asumiendo un incremento anual lineal de la superficie de adopción, alcanzaría 439 Gg CO₂-eq y 4.801 Gg CO₂-eq para la meta incondicional y condicional, respectivamente.

1.3.5. Análisis del impacto en la intensidad de emisiones.

Respecto a la intensidad de emisiones por unidad de producción de carne equivalente el proyecto Ganadería y Clima logró, al segundo año, una caída del 17,8% y 18,0% para el gas metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), respectivamente. (Tabla 14).

Si consideramos una superficie de pastoreo nacional (SPG) igual a 12 millones de hectáreas, y el escalamiento de los resultados del proyecto Ganadería y Clima (asumiendo la misma efectividad de la asistencia técnica) a 250.000 ha SPG; se lograría reducir la intensidad nacional de emisiones en un 0,37% y 0,38% para CH₄ y N₂O respectivamente. En este caso se asume que se alcanza una productividad de carne equivalente al promedio de 100 kg carne eq./ha obtenido en el segundo año del proyecto Ganadería y Clima.

Si consideramos una situación donde se alcanza una productividad promedio de 130 kg carne eq./ha, y suponiendo que las emisiones se mantienen constantes, la reducción en la intensidad de emisiones alcanzaría un 36,6% para CH₄ y 36,9% para N₂O. Asumiendo la misma SPG del primer caso, un escalamiento a 250.000 ha lograría reducir la intensidad de emisiones de CH₄ y N₂O en 0,74% y 0,76%, a nivel nacional.

Si el objetivo fuera disminuir en un 1% la intensidad de emisiones de CH₄ y N₂O de la ganadería a nivel nacional, se necesitaría aplicar las medidas en 680.000 ha de SPG (bajo los supuestos del primer caso) o 340.000 ha de SPG con las condiciones del segundo escenario.

Por otra parte, si además de la reducción en las emisiones de CH₄ y N₂O, consideramos que podría existir secuestro de CO₂ a través del aumento del carbono orgánicos del suelo (COS), la intensidad de emisiones (en términos de CO₂ equivalente) sería aún menor. Considerando los datos presentados en la sección 1.3.3, la intensidad de emisiones de CO₂ se reduciría en 0,14%. Esta reducción sería igual para los dos escenarios planteados anteriormente.

1.3.6. Análisis complementario del potencial de mitigación por el engorde de novillos en tres alternativas de engorde

Como contracara de la producción de carne vacuna sobre campo natural, los caminos de intensificación de la ganadería en base a insumos como pasturas implantadas y suplementos en base a grano, requieren de la conversión de ese ecosistema pero poseen potencial de mitigación en las emisiones del ganado. Para evaluar este potencial se realizó un análisis comparativo con alternativas de engorde de novillos que podrían provocar cambios en el uso del suelo del campo natural.

Por otro lado, se había detectado que los consumos estimados a partir del método de la ecuación 10.21 de las Guías del IPCC resultaban en valores contraintuitivos, donde los animales en corrales y con dieta en base a grano consumían menos que aquellos que se alimentan en pasturas implantadas y campo natural. Para revisar estos valores de consumo y actualizar las emisiones que resultan de estas tres dietas diferenciales se realizó una comparación del método utilizado habitualmente en el INGEI (por la Ecuación 10.21 de las guías IPCC) con el método Tier 2 simplificado (Ecuación 10.21a) que proponen las guías del IPCC más actuales, donde se puede estimar el consumo (Ecuación 10.17, 1018a o 10.18b) o utilizar valores de consumo medidos en condiciones reales conocidas.

Para este ejercicio se supuso un engorde de novillos con el mismo peso inicial y final (320 a 480 kg) en tres sistemas distintos, con dietas y duraciones correspondientes a los tres sistemas que se describen a continuación:

- Novillo corral: engorde en feedlot asumiendo una ganancia promedio de peso vivo (PV) de 1,33 kg/día en 120 días de duración del ciclo de engorde.
- Novillo pastura: engorde en pasturas sembradas, asumiendo una ganancia media de PV de 0,8 kg/día y 200 días de engorde.
- Novillo CN: engorde a campo natural, asumiendo una ganancia media de PV igual a 0,533 kg/día, en 300 días de engorde.

Tabla 16. Emisiones de metano y óxido nítrico de novillos en tres sistemas de engorde; valores expresados por ciclo de engorde (120, 200 y 300 días para Corral, Pastura y CN, respectivamente)

Bovinos	Total CH4 (kg CH4/ ciclo)	Total CH4 (kg CH4/ ciclo)	Total N2O (kg N2O/ ciclo)	Total CO2- eq	Total CO2- eq
	Ec. 10.21	Ec. 10.21a		GWP100 AR4 (kg CO2-eq/ ciclo)	GWP100 AR4 (kg CO2-eq/ ciclo)
Novillo Corral	15,90	17,63	0,66	595	638
Novillo Pastura	43,55	50,33	1,04	1.399	1.568
Novillo CN	76,63	64,31	0,88	2.178	1.870

Los consumos observados en estudios encontrados en la bibliografía (Do Carmo, 2021; Dini, 2018; Orcasberro, 2018) corroboran la discordancia con los consumos estimados a través de ambas metodologías del IPCC. Los consumos estimados por las dos metodologías de IPCC fueron menores para un sistema de feedlot que para los sistemas pastoriles, mientras que los consumos conocidos de la realidad son mayores en los corrales.

Esta verificación abre una línea de trabajo para la mejora de la estimación de los consumos a nivel nacional que refleje las diferencias de los consumos reales entre las diversas dietas.

Cuando se observan los resultados de las emisiones, los sistemas más intensivos producen menos emisiones para el mismo ciclo y la misma producción de carne con un amplio margen de diferencia. Si bien la corrección de los consumos acerca más los resultados de los distintos sistemas que con los métodos anteriores (Ec. 10.21), no llega a cambiar el orden relativo de los sistemas en base a sus emisiones (tabla 16). Mientras que las emisiones totales de un sistema de feedlot ascienden a 638 kg CO2-eq/ciclo, en un sistema de engorde en pasturas son de 1.568 CO2-eq/ciclo y en un sistema de engorde en campo natural son de 1.870 CO2-eq/ciclo, y los 3 sistemas están generando la misma producción de carne, en distintos plazos.

1.4. Co-beneficios

Se identifican de forma preliminar los siguientes co-beneficios asociados a la mejora en la provisión de servicios ecosistémicos del campo natural por la adopción de buenas prácticas en ganadería, más allá de los beneficios de mitigación:

- Mayor resiliencia ante eventos climáticos extremos (Bartaburu et al., 2013; Rosas et al., 2013; Modernel et al., 2019; Jaurena et al., 2021; Orcasberro et al., 2022). Los resultados de Ganadería y Clima muestran que, 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. Estos resultados son consistentes con las simulaciones realizadas en Rosas et al. (2013), que muestran un mayor impacto de una sequía en las variables productivas y económicas (menor porcentaje de preñez, menor peso al momento de venta de terneros y vacas de refugio, y mayor costo de suplementación) bajo una estrategia de manejo reactiva en comparación con una proactiva (Rosas et al., 2013). 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), además de presentar un stock de pasto mayor que permite diferir y racionar su asignación durante la crisis climática. En el mismo sentido, 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.
- Mejora en la biodiversidad de los sistemas ganaderos (Blumetto, 2022; Modernel et al., 2016; Picasso et al., 2014; Azpiroz et al., 2009). 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; Ghera y Leon, 1999; Altesor et al., 2005; Overbeck et al., 2007; Loydi, 2012 citados en Modernel et al., 2016).

- Menor erosión del suelo (Modernel et al., 2016). Algunos estudios nacionales 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).

2. Instalación de montes de abrigo y sombra

2.1. Introducción

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. Además, la madera puede ser aprovechada para la producción de leña o la producción de columnas, postes, piques y tablas para carpintería y construcción.

En la Segunda NDC se establece como medida incondicional al 2030 mantener el 100% de la superficie de plantaciones con destino sombra y abrigo del año 2018, incluyendo sistemas silvopastoriles (88.348 ha). También se define como medida condicional a medios de implementación al 2030 aumentar esta superficie en 10% (8.835 ha adicionales).

En este trabajo se evalúa la implantación de montes de abrigo y sombra convencionales de Eucalipto colorado, considerando las especies *E. camaldulensis* y *E. tereticornis*, en predios ganaderos. Si bien se realizaron consultas a informantes calificados sobre la implantación de montes de abrigo y sombra con especies nativas, se encontraron brechas de conocimiento que dificultaron el análisis de los costos netos (precio de venta de la madera cosechada) y el potencial de mitigación (tasa de secuestro de carbono) de forestación con especies nativas.³ Igualmente, al final de la sección de análisis costo-beneficio, se muestran los resultados de un análisis de sensibilidad parcial con distintas tasas de crecimiento asociadas a especies nativas para tener una idea de la viabilidad de esta opción. La implantación de montes de abrigo y sombra con especies nativas y la regeneración de áreas de bosque nativo que pueda ser utilizado para abrigo y sombra del ganado puede traer co-beneficios asociados a las funciones ecosistémicas del bosque nativo, como se menciona en la sección 2.4.

³ 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 de calidad con distintos fines (aserrío, tablas, postes y piques, etc.) (Berrutti, A. com. pers., 2022; Bennadji et al., 2007).

Con respecto al uso productivo de la madera, se consideran dos manejos alternativos de los montes de abrigo y sombra. Los manejos seleccionados (con y sin cosecha), que conllevan distintos costos productivos e implican distinto potencial de mitigación de la medida, son los siguientes:

- **Manejo 0** – El monte no se tala en todo el período de análisis
- **Manejo 1** – Se cosecha para leña 50% del monte cada 5 años a partir del año 10 y se maneja el rebrote

Para el análisis de esta medida se considera un período de 30 años, en línea con los períodos de crecimiento y cosecha de los árboles.

Los instrumentos de política que podrían ser utilizados para promover la implantación de montes de abrigo y sombra en predios ganaderos son los beneficios fiscales y la asistencia técnica subsidiada. En un estudio de CNFR-FAGRO-DGDR-INIA-BID (Boscana et al., 2019) se señala que el factor económico-financiero es la principal limitante para integrar montes de abrigo y sombra en predios familiares.

En el presente estudio se evalúa una exoneración al pago del Impuesto a las Rentas de las Actividades Económicas (IRAE) a través de la Comisión de Aplicación de la Ley de Inversiones (COMAP). El IRAE grava con una tasa de 25% la renta (ingresos menos gastos) de las empresas agropecuarias con una superficie mayor a 1.250 ha CONEAT 100 o ventas netas superiores a 2 millones de Unidades Indexadas. Bajo este esquema, las empresas contribuyentes de IRAE pueden presentar un proyecto de inversión que es evaluado por el MGAP con base en una matriz de indicadores que otorga un puntaje, el cual determina el porcentaje de exoneración del impuesto. Actualmente, la reglamentación vigente de la Ley de Inversiones es el Decreto N° 268/020.

La mayoría de los proyectos presentados a la COMAP por empresas ganaderas son para inversiones en agua (tanques, caños, bebederos, tajamares) y alambrados. Este tipo de proyectos puntúan por producción más limpia y adaptación al cambio climático, dos de los indicadores generales que se utilizan para evaluar los proyectos. El rubro ganadero representa aproximadamente el 50% de las inversiones aprobadas por COMAP para el sector agropecuario. Los proyectos de inversión pueden incluir asistencia técnica por parte de profesionales ingenieros, arquitectos y contadores; no así de técnicos agropecuarios. Por su parte, los bienes o insumos biológicos son excluidos del

monto de inversión elegible, por lo que la compra de plantines para la instalación de montes de abrigo y sombra no están comprendidos en este monto, aunque sí se otorgan puntos en el indicador de adaptación al cambio climático por la inclusión de un monte de abrigo y sombra en el proyecto. La normativa comprende la instalación de nuevos montes de abrigo y sombra que cubran “hasta el 2% de la superficie del predio y con una superficie por parche individual no mayor a 2 ha y una separación entre parches no menor a 500 m”. En este contexto, se propone un ajuste en el inciso C del decreto reglamentario (N° 268/020) para considerar como inversión elegible los plantines y los costos de implantación de árboles maderables para fines de abrigo y sombra en predios ganaderos. A su vez, se podría revisar la reglamentación que aplica a los productores que tributan el Impuesto a la Enajenación de Bienes Agropecuarios (IMEBA) para que también puedan percibir un beneficio fiscal.

Por otra parte, la Ley Forestal n° 15.939 define beneficios tributarios para áreas con forestación y bosque nativo (Artículo 39). 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. La ley n° 18.245 instaura nuevamente el pago de contribución inmobiliaria rural por el área forestal exceptuando los bosques incluidos en los proyectos de madera de calidad definidos por el MGAP y los bosques naturales declarados protectores (bosque nativo).

2.2. Análisis Costo-Beneficio

2.2.1. Supuestos

Según Balmelli et al. (2019), entre 2 y 3 hectáreas de monte pueden proveer el servicio de abrigo y sombra a 100 hectáreas de superficie ganadera. Con base en esta estimación, en el presente análisis se considera la relación de una hectárea de monte de abrigo y sombra por cada 50 hectáreas de superficie ganadera. Tomando una carga ganadera de 0,9 unidades ganaderas por hectárea (promedio nacional según Aguirre, 2019 con base en microdatos del Censo General Agropecuario 2011 y del Sistema Nacional de Información Ganadera), una hectárea de monte provee abrigo y sombra a 45 unidades ganaderas (UG).

Se supone que la provisión de abrigo y sombra tiene un efecto positivo en la producción de carne a través de una ganancia de peso mejorada en los animales por reducirles el estrés calórico. Según investigaciones nacionales, la ganancia de peso incremental por el uso de sombra natural puede ascender a 140 g/animal/día (cerca de 20% considerando una ganancia de peso sin sombra de 680 g/animal/día) en un experimento con terneros Hereford en un sistema de producción intensiva (Bartaburu et al., 1999). Por otro lado, Rovira et al. (2023) estiman que la ganancia de peso incremental por contar con sombra puede ser del 10%.

Considerando un promedio de ganancia de peso sin sombra de 500 g/animal/día según el estudio de huella de carbono de la carne vacuna faenada (Román et al., 2022) y una ganancia de peso con sombra de 550 g/animal/día (aplicando el incremento del 10% mencionado anteriormente), la ganancia incremental sería de 50 g/animal/día. A partir de Rovira et al. (2023) se estima que la cantidad de días con estrés calórico para los animales en un año es de 58 días, considerando el promedio de días en los cuales el Índice de Temperatura y Humedad (ITH) entra en el umbral de riesgo "peligro" -calculados por el método de Mader et al. (2006) para ganado de carne- en la serie histórica de 4 estaciones meteorológicas de INIA. Aplicando la ganancia de peso incremental diaria a esta cantidad de días de estrés calórico, se estima que la ganancia de peso incremental anual asciende a 2,9 kg/animal/año. La ganancia total anual, considerando que provee abrigo y sombra a 45 UG, asciende a 131 kg/año por hectárea de monte y 3 kg/año por hectárea ganadera. Considerando un precio del ganado promedio de 2,7 US\$/kg en pie, se estima que el ingreso incremental anual por hectárea de monte es de US\$ 352, que equivalen a US\$ 7 por hectárea ganadera.

Tabla 17. Estimación de ganancia de peso e ingresos incrementales por sombra

Concepto	Valor	Unidad de medida	Fuente/Fórmula
Tasa de ganancia de peso incremental con sombra (A)	10	%	Rovira et al. (2023)
Ganancia de peso sin sombra (B)	0,50	kg/animal/día	Estimado con base en Román et al. (2022)
Ganancia de peso con sombra (C)	0,55	kg/animal/día	$C=B*(1+A)$
Ganancia de peso incremental con sombra por día (D)	0,05	kg/animal/día	$D=C-B$
Días de estrés calórico en un año (E)	58	días	Estimado con base en Rovira et al. (2023)
Ganancia de peso incremental con sombra por animal por año (F)	2,9	kg/animal/año	$F=D*E$

Carga ganadera (G)	0,9	UG/ha	Aguirre (2019)
Superficie ganadera por ha monte A&S (H)	50	ha	Estimado con base en Balmelli et al. (2019)
Animales por ha de monte A&S (I)	45	UG	$I=G*H$
Ganancia de peso incremental con sombra por ha de monte de A&S por año (J)	131	kg/año/ha	$J=F*I$
Ganancia de peso incremental con sombra por ha ganadera por año (K)	3	kg/año/ha	$K=J/H$
Precio del ganado (L)	2,7	US\$/kg en pie	INAC (2022)
Ingresos incrementales por ha de monte de A&S (M)	352	US\$/ha/año	$M=J*L$
Ingresos incrementales por ha ganadera (N)	7	US\$/ha/año	$N=M/H$

Fuente: Elaboración propia

Este ingreso incremental se considera como un beneficio productivo a partir del año 4, cuando se permite acceder al ganado al área forestada. En el caso del manejo 1, este beneficio se ve reducido a partir del año 10 debido a la cosecha del 50% del monte cada 5 años que disminuye la provisión de sombra y abrigo a los animales. En lugar de asignar el beneficio total (352 US\$/ha/año), se supone que se reduce la capacidad de provisión de sombra y abrigo en un 30% cuando se cosecha el 50% del monte, por lo que se asigna un beneficio de US\$ 247 durante los tres años posteriores a la cosecha. Al cuarto año luego de la cosecha, se vuelve a asignar la ganancia de 352 US\$/ha ya que se recupera la sombra. Por lo tanto, se supone una relación no lineal entre el área de monte y la ganancia de peso de los animales. Este supuesto puede ser conservador, ya que en un estudio de INIA se estima que cada animal precisa entre 3 y 5 m³ de espacio de sombra, por lo que 0,5 ha serían suficientes para 45 animales, aunque una mayor sombra efectiva mejora los resultados (Rovira et al., 2023).

A su vez, la implantación de montes de abrigo y sombra tiene efectos de signo negativo sobre la producción ganadera, debido la reducción del área de pastoreo para los animales. Para asegurar la supervivencia y el crecimiento de los árboles luego de su plantación, se recomienda la exclusión del ganado del área plantada en los primeros 4 años (Balmelli et al., 2019), lo cual genera costos de oportunidad por pérdida de superficie de pastoreo.

Asimismo, se considera que la sombra de los árboles afecta la producción de forraje del área plantada, por lo que también se asume un costo de oportunidad por disminución del alimento disponible para los animales, una vez que se habilita el pastoreo. Entre el año 0 y 3 se asigna un costo de oportunidad

equivalente a la renta ganadera promedio (71 US\$/ha según MGAP-Estadísticas Agropecuarias, 2021) debido a la exclusión mencionada anteriormente, y a partir del cuarto año se asigna un costo menor a la renta promedio ya que hay pastoreo aunque este se vea reducido. En el año 4 el costo de oportunidad disminuye en 50% (36 US\$/ha) y luego aumenta de forma lineal hasta llegar a una disminución de 15% (60 US\$/ha) en el año 10, a partir de cuando se mantiene el mismo costo. Esto representa una baja disponibilidad de forraje debido al cierre de copa de los árboles. Como supuesto simplificador, se asume que este costo es equivalente en los dos manejos.

Además de proveer sombra y abrigo, el monte provee madera, que en este caso se asume que se utiliza para leña, que puede ser comercializada o utilizada para autoconsumo. En la tabla 18 se incluyen los supuestos considerados para estimar los ingresos por venta de leña en el manejo 1 que es el que implica la cosecha del monte.

Tabla 18. Supuestos considerados para estimar ingresos por venta de leña

Concepto	Valor	Unidad de medida	Fuente
Precio de leña en pie	500	UY\$/ton leña	Informante calificado, com. pers. (2022)
Densidad de madera verde	0,83	ton madera verde/m ³	Tarigo (2008)
Densidad de árboles	900	Árboles por ha	Andrés Berrutti, com. pers. (2022)
Producción anual de madera promedio (IMA)	15	m ³ /ha	Gustavo Balmelli, com. pers. (2023)

Fuente: elaboración propia

Para calcular la inversión inicial para la implantación de montes de abrigo y sombra y los costos por manejo, se utilizó información de Boscana et al. (2019), a excepción del costo de manejo del rebrote que se estimó en base a MGAP (2019). En la tabla 19 se muestran los supuestos considerados. Se estima que la inversión inicial asciende a US\$ 1.525 y los costos de manejo US\$ 230 por hectárea de monte de abrigo y sombra. El monto de inversión podría ser menor si se excluyen ítems que pueden ser considerados opcionales (como el subsolado, la rastra o rotovador y la taipera) o si el productor reproduce los plantines de semilla en lugar de comprarlos.

Tabla 19. Inversión inicial y costos de manejo para implantación de monte de abrigo y sombra

Concepto	Valor	Unidad de medida	Fuente
Inversión inicial			
Herbicida preemergente en la línea	10	US\$/Ha	Boscana et al. (2019)
Aplicación de herbicida en línea	8	US\$/Ha	Idem
Subsolado	140	US\$/Ha	Idem
Excéntrica	72	US\$/Ha	Idem
Rastra o rotovador (opcional a la excéntrica solo en la línea)	37,5	US\$/Ha	Idem
Disquera (opcional)	45	US\$/Ha	Idem
Taipera (opcional para mejorar drenaje)	57	US\$/Ha	Idem
Fertilizante (localizado en la planta)	50	US\$/Ha	Idem
Distribución de plantas (semi-mecanizada o manual)	150	US\$/Ha	Idem
Mano de obra plantación	292	US\$/Ha	Idem
Replantación (10% plantas)	15	US\$/Ha	Idem
Control malezas posplantación (químico en línea con protección)	30	US\$/Ha	Idem
Perímetro de alambrado 1 Ha	300	metros/Ha	Idem
Alambrado permanente 5 hilos	1,5	US\$/metro	Idem
Plantines de Eucalyptus con control de hormigas	206	US\$/Ha	Idem. Con base en precio de plantín de US\$ 0,16 y costo de control de hormiga por hectárea de US\$ 62 para 900 plantas.
Total	1.525	US\$/Ha	
Costos de manejo			
Hormiguicida	12	US\$/Ha	Boscana et al. (2019)
Aplicación y control sistemático de hormigas	50	US\$/Ha	Boscana et al. (2019)
Manejo del rebrote	168	US\$/Ha	MGAP (2019)
Total	230	US\$/Ha	

Fuente: elaboración propia

2.2.2. Resultados del análisis costo-beneficio

Costos y beneficios incrementales

Los costos y beneficios incrementales por hectárea para los distintos manejos se presentan en las tablas 20 y 21. Los costos de implantación del monte y los costos de oportunidad por exclusión del ganado y por disminución del forraje coinciden en los dos tratamientos. Los costos de manejo del rebrote y el ingreso por venta de leña solo se aplican en el manejo 1, ya que en el manejo 0 no hay cosecha. El beneficio por el aumento de productividad ganadera es mayor en el caso del manejo 0, ya que en el manejo 1 se asume que este beneficio disminuye en cada momento de cosecha. El resultado con una tasa de descuento de 7,5% es un valor presente neto de 689 US\$/ha para el manejo 0 y de 1.297 US\$/ha para el manejo 1. En ambos casos, el resultado fue positivo indicando un beneficio económico, siendo mayor en el caso del manejo 1.

Cabe aclarar que estos resultados están expresados en términos de una hectárea de monte de abrigo y sombra. Cuando calculamos los resultados por hectárea ganadera, sabiendo que una hectárea de monte es suficiente para 50 hectáreas en pastoreo, obtenemos un VPN de 14 US\$/ha para el manejo 0 y de 26 US\$/ha para el manejo 1.

Tabla 20. Resultados de costos y beneficios incrementales por hectárea, Manejo 0

Período	0	1	...	4	...	9	10	11	12	13	...	30
Inversión inicial	1.525											
Costo de oportunidad por exclusión	0	71		0		0	0	0	0	0		0
Costo por disminución de forraje	0	0		36		56	60	60	60	60		60
Costos de manejo de rebrote + control de hormigas	0	0		0		0	0	0	0	0		0
Costos totales (US\$/ha monte A&S)	1.525	71		36		56	60	60	60	60		60
Venta de leña	0	0		0		0	0	0	0	0		0
Aumento de productividad ganadera	0	0		352		352	352	352	352	352		352
Beneficios totales (US\$/ha monte A&S)	0	0		352		352	352	352	352	352		352
Beneficios netos (sin descontar) (US\$/ha monte A&S)	-1.525	-71		317		296	292	292	292	292		292
Beneficios netos descontados (US\$/ha monte A&S)	-1.525	-66		237		154	142	132	123	114		33
VPN (US\$/ha monte A&S)	689											
VPN (US\$/ha ganadera)	14											

Tabla 21. Resultados de costos y beneficios incrementales por hectárea, Manejo 1

Período	0	1	...	4	...	9	10	11	12	13	...	30
Inversión inicial	1.525											
Costo de oportunidad por exclusión	0	71		0		0	0	0	0	0		0
Costo por disminución de forraje	0	0		36		56	60	60	60	60		60
Costos de manejo de rebrote + control de hormigas	0	0		0		0	0	0	0	115		0
Costos totales (US\$/ha monte A&S)	1.525	71		36		56	60	60	60	175		60
Venta de leña	0	0		0		0	778	0	0	0		778
Aumento de productividad ganadera	0	0		352		352	352	247	247	247		352
Beneficios totales (US\$/ha monte A&S)	0	0		352		352	1.130	247	247	247		1.130



Beneficios netos (sin descontar) (US\$/ha monte A&S)	-1.525	-71	317	296	1.070	186	186	71	1.070
Beneficios netos descontados (US\$/ha monte A&S)	-1.525	-66	237	154	977	84	78	28	122
VPN (US\$/ha monte A&S)	1.297								
VPN (US\$/ha ganadera)	26								



Análisis de sensibilidad

Dada la alta incidencia de los beneficios por aumento de productividad ganadera asociada a la provisión de sombra y abrigo sobre los resultados económicos, se realizó un análisis de sensibilidad parcial considerando tres escenarios de incremento porcentual de la producción ganadera: (A) incremento de 10% (escenario original, implica ingresos incrementales de 352 US\$/ha), (B) incremento de 7,5% (264 US\$/ha), y (C) incremento de 5% (176 US\$/ha). En la tabla 22 se muestran los resultados de este análisis. Se observa que, si el incremento en la producción ganadera es menor a 7,5%, el manejo 0 deja de ser viable por tener un VPN negativo en US\$/ha ganadera. Esto es porque los beneficios por aumento de productividad ganadera son la única fuente de ingresos para este manejo. En el caso del manejo 1 que tiene ingresos por venta de leña, este sigue siendo rentable bajo el escenario B. Sin embargo, el manejo 1 deja de ser rentable cuando el incremento de la producción ganadera por sombra es menor a 5%.

Tabla 22. Análisis de sensibilidad de VPN según distintos escenarios de ingresos incrementales por sombra

Escenario	Ingresos incrementales por sombra (US\$/ha)	VPN Manejo 0		VPN Manejo 1	
		(US\$/ha monte A&S)	(US\$/ha ganadera)	(US\$/ha monte A&S)	(US\$/ha ganadera)
(A) Incremento de producción ganadera de 10% (<i>original</i>)	352	689	13,78	1297	25,94
(B) Incremento de producción ganadera de 7,5%	264	-17	-0,34	659	13,18
(C) Incremento de producción ganadera de 5%	176	-723	-14,46	20	0,41

Fuente: elaboración propia

También se realizó un análisis de sensibilidad considerando el caso de la implantación de montes de abrigo y sombra con especies de árboles de crecimiento más lento que las especies de *Eucalyptus*, como son algunas especies nativas, bajo el manejo 0 (sin cosecha). En el escenario D, la variación con respecto al análisis original fue considerar un Incremento Medio Anual (IMA) de 7,5 m³/ha (en lugar de 15 m³/ha) y que el beneficio de sombra se verifica a partir de año 8 (en lugar del año 4). En la tabla 23 se observa que la

implantación de montes de abrigo y sombra con especies de más lento crecimiento y con efecto diferido de la sombra sobre los ingresos ganaderos no es económicamente rentable.

Tabla 23. Análisis de sensibilidad de VPN para distintos escenarios de tasa de crecimiento de los árboles

Crecimiento de árboles	VPN Manejo 0	
	(US\$/ha monte A&S)	(US\$/ha ganadera)
(A) <i>Eucalyptus</i> con IMA= 15 m ³ /ha y beneficio de sombra a partir de año 4 (<i>original</i>)	689	13,78
(D) Especies (ej. nativas) con IMA= 7,5 m ³ /ha y beneficio de sombra a partir de año 8	-261	-5,21

Fuente: elaboración propia

En el caso de especies nativas leñosas de lento crecimiento, una estrategia alternativa a la plantación de árboles en el formato convencional para obtener abrigo y sombra para el ganado puede ser la regeneración pasiva de parches de bosque nativo, por ejemplo, a través de la exclusión del ganado de áreas con potencial de regeneración. Esta estrategia permitiría reducir los costos, haciendo rentable la opción de incorporar montes con especies nativas. Si bien esta estrategia puede no ser viable en todas las zonas del país, existe al menos una experiencia exitosa de restauración documentada, que no requiere inversión, en bosque parque en Paysandú (Brazeiro et al., 2018). Soares de Lima y Pereira (2022) expresan la relevancia de integrar la restauración de bosque nativo en la planificación ganadera, para fomentar su aprovechamiento como sombra y abrigo del ganado, principalmente en zonas de Uruguay donde están ocurriendo procesos de expansión de esos bosques (Soares de Lima y Pereira, 2022).

Análisis social

En el análisis social se incorpora el Costo Social del Carbono (CSC), al igual que en el caso de la medida anterior, y los beneficios fiscales presentados en la sección introductoria.

Para el cálculo del CSC que se incorpora como un costo negativo en los costos sociales, se utiliza el mismo método descrito en la sección 1.2.2. En este caso, el período considerado es del 2020 al 2050, para el cual el rango de CSC es de 42,2-82,4 US\$/ton CO₂-eq considerando el valor mínimo y de 84,5-164,7 US\$/ton

CO2-eq considerando el valor máximo de las estimaciones del Banco Mundial ajustadas. En la sección 2.3 se presenta la estimación del potencial de mitigación de la instalación de montes de abrigo y sombra.

En el caso del **manejo 0** sin cosecha forestal, el promedio de emisiones abatidas es de 27,1 ton CO2/ha/año para las plantaciones de *Eucalyptus*. Como resultado de multiplicar las emisiones abatidas por el CSC correspondiente para cada año, se obtiene un rango de CSC para el período indicado de 1.340-2.129 US\$/ha considerando el valor mínimo que es más conservador. El **VPN social** resultante de incorporar estos beneficios (costos negativos) en el flujo de fondos es de **US\$ 16.116 por hectárea de monte de abrigo y sombra y US\$ 322 por hectárea ganadera**.

En el caso del **manejo 1** con cosecha forestal, el promedio de emisiones abatidas es de 2,5 ton CO2/ha/año. El rango de CSC en el período indicado es de 108-206 US\$/ha considerando el valor mínimo. El **VPN social** resultante es de **US\$ 16.724 por hectárea de monte de abrigo y sombra y US\$ 334 por hectárea ganadera**. Esto indica que al considerar los beneficios asociados a la captura de carbono en el análisis costo-beneficio social, los resultados de los distintos manejos pasan a ser similares, mientras que en el análisis costo-beneficio privado el manejo 1 tiene mayores beneficios dados por la venta de leña.

En segundo lugar, se analizó un escenario donde se asume un beneficio fiscal del IRAE como instrumento para promover la implantación de montes de abrigo y sombra con especies nativas. Se observa que esta inversión pasa a ser rentable (VPN se vuelve positivo) con un beneficio fiscal igual o mayor al 22% de la inversión inicial. En línea con las estimaciones presentadas en la sección 2.3., en un período de 6 años (por ejemplo, 2024-2030), las especies nativas secuestrarían 110 tCO2/ha. La exoneración del impuesto generaría un VPN social positivo si el CSC es igual o mayor a $US\$ 336/110 = \$3,05$. Este valor se encuentra muy por debajo del CSC estimado con base en Banco Mundial (2017) que oscila entre \$46,2 y \$52,8 en el período 2024-2030 considerando el valor mínimo.

De manera similar, considerando la implantación de montes con la especie *Eucalyptus*, si los beneficios incrementales por sombra en ganancia de peso del ganado son menores que el valor considerado en los Escenarios B o C, una exoneración de impuestos equivalente al 100% de la inversión inicial haría que

el Manejo 0 fuera rentable incluso con ganancias de peso incrementales de 3,2% para el manejo 0 y de 0,8% para el manejo 1.

Se estima que la exoneración fiscal, bajo los cambios normativos mencionados en la introducción, podría cubrir el 40% de la inversión inicial, del cual 30% corresponde al mínimo y 10% al beneficio adicional por pequeñas y medianas empresas (PyMEs) - aquellas que tienen menos de 19 empleados y facturan anualmente menos de 10 millones de unidades indexadas-, durante un período de 5 años. Para una inversión inicial por la implantación del monte de US\$ 1.525 por hectárea, una exoneración de 40% equivale a 610 US\$/ha.

Además de la exoneración fiscal, se podría considerar el subsidio de la asistencia técnica para el asesoramiento de los productores en el diseño e implantación del nuevo monte de abrigo y sombra.

Resultados agregados

Para estimar los resultados a nivel país de esta medida, en primer lugar, se considera la meta condicional de la Segunda NDC de incrementar el área de montes de abrigo y sombra incluyendo sistemas silvopastoriles en 8.835 ha. El VPN agregado resultante es de US\$ 6 millones para el manejo 0 y de US\$ 11,5 millones para el manejo 1.

Tabla 24. Resultados agregados de VPN para la medida condicional de la Segunda NDC para dos manejos de montes de abrigo y sombra

	Manejo 0	Manejo 1
Superficie incremental montes A&S	8.835	8.835
VPN (US\$/ha monte A&S)	689	1.297
VPN (US\$)	6.089.874	11.461.847

Luego, para tener una idea del potencial de escalamiento de la medida, se realizó una estimación del área de CN que no tendría ninguna fuente de abrigo y sombra, ni natural ni artificial. Para esto se utilizó la información generada por el último relevamiento de usos de suelo con *Collect Earth* (Castagna y García, 2020) y la cartografía forestal de la Dirección General Forestal (DGF) para el año 2021 (DGF, 2021). Se asumió el supuesto ya mencionado en la sección 2.1, donde la presencia de 2 ha de monte cada 100 ha de pastoreo sería suficiente para brindar abrigo y sombra. Los pasos que se siguieron son:

1. Se seleccionaron las parcelas de *Collect Earth* que fueron identificadas con CN en el año 2021.
2. Se eliminaron aquellas parcelas de CN en las cuáles los intérpretes de *Collect Earth* identificaron la presencia de árboles en la matriz de pastizal.
3. Mediante el software Qgis, se realizó un polígono alrededor de las parcelas resultantes del paso 2, para obtener un área circular de 100 ha asociado a cada parcela.
4. Las áreas circulares obtenidas en el paso 3 se interseccionaron con la capa de la cartografía forestal, con el objetivo de conocer si en el área de 100 ha de cada parcela existía alguna cobertura forestal.
5. Finalmente se seleccionaron las parcelas cuya área circular de 100 ha no contenía cobertura forestal. Para ser conservadores, se supuso que cualquier tipo de cobertura forestal podía brindar sombra y abrigo.

Cada parcela de muestreo posee un factor de expansión del área que representa. La suma de esas áreas alcanzó un valor de 3.447.000 ha de CN sin ningún tipo de cobertura forestal. Asumiendo la relación de 2 ha de montes por cada 100 ha de pastoreo, habría un potencial de plantación de abrigo y sombra de 68.940 ha adicionales a las existentes en el año 2021.

2.3. Potencial de mitigación

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 (COS). Para esta medida se supone que se forestan áreas de pastizales naturales, por lo que todo el flujo de carbono que genera el crecimiento de la biomasa forestal genera una captación (ya que el nivel 1 del IPCC supone que la BV de pastizales se encuentra en equilibrio, y por lo tanto no existe un flujo neto positivo o negativo).

El flujo de secuestro de carbono en BV se estimó siguiendo las directrices del IPCC (ecuación 2.10). En la tabla 25 se muestran los valores y fuentes de los parámetros utilizados.

Es importante mencionar que en este análisis se supone que la posible madera cosechada de los montes de abrigo y sombra se utiliza como leña, por lo que una vez cosechada el carbono secuestrado se emite inmediatamente (por el proceso de combustión). Sin embargo, podría tener usos en carpintería rural (postes,

piques, porteras, etc.) que generarían un aplazamiento de la emisión en el tiempo a partir de la degradación de la madera.

Tabla 25. Parámetros utilizados para estimar el secuestro de carbono en biomasa viva

Parámetro	Valor (unidades)	Fuente
Incremento medio anual (IMA)	15 m ³ /ha/año	G. Balmelli, com. pers. (2023)
Factor de expansión de la biomasa (BEF)	1,20	Penman et al. (2003) (Cuadro 3A.1.10, valor para especies de hoja ancha en clima templado)
Densidad básica de la madera (D)	0,68 ton MS/m ³	Tarigo (2008)
Relación parte aérea/raíz (R)	0,44 ó 0,28 ó 0,20 según biomasa aérea.	IPCC (2006) (Tabla 4.4, valor para <i>Eucalyptus</i> en clima templado)
Fracción de carbono (CF)	0,48	IPCC (2006) (Cuadro 4.3; valor promedio para especies de hoja ancha, en clima templado)

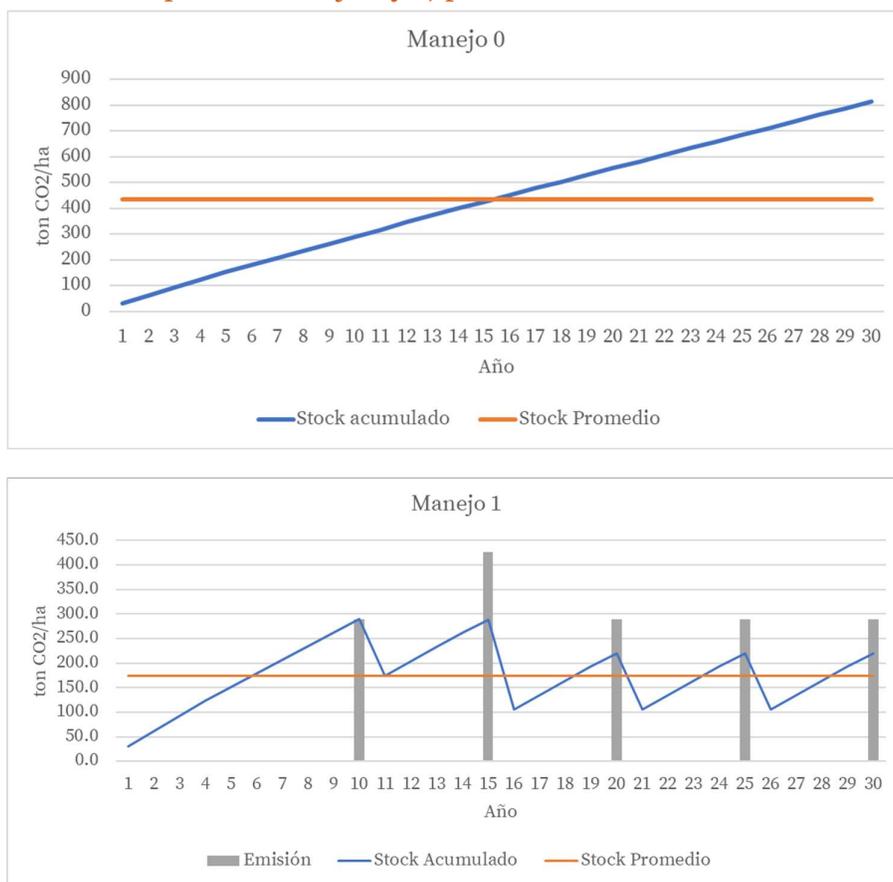
Fuente: elaboración propia

Para el período de análisis de 30 años, el **manejo 0** generaría un stock promedio de 432,7 ton CO₂/ha/año, con un flujo promedio de **-27,1 ton CO₂/ha/año**; mientras que el **manejo 1** mantendría un stock promedio de 174,8 ton CO₂/ha/año con un **flujo promedio de -2,5 ton CO₂/ha/año**. Este flujo que representa secuestro de carbono (signo negativo) es menor con el manejo 1 debido a la emisión que se genera con la cosecha del monte.

En la figura 3 se presentan el stock de carbono y el secuestro de carbono promedio en BV por hectárea para los distintos manejos considerados (0, 1).

Debido a su menor magnitud, en este análisis no se incluye los cambios en MOM y COS que pueden existir por el cambio de pastizal a forestación. En base a datos globales del INGEI, el MOM representaría un 2,8% de las ganancias en carbono por cambio del pastizal a tierra forestal. Respecto al COS, a pesar de que en el INGEI se utilizan factores de cambio que representarían una pequeña ganancia de carbono a favor de la forestación con eucalipto, existen resultados de investigación nacional que no son concluyentes sobre este efecto. Algunos estudios han encontrado una disminución del COS en los primeros centímetros del suelo luego de la forestación (Céspedes et al. 2016; Delgado, 2006; Carrasco-Letelier et al. 2004); mientras que otros autores no han encontrado cambios significativos (Hernández et al. 2016).

Figura 3. Stock de carbono promedio y stock de carbono acumulado en biomasa viva por hectárea para el manejo 0 y 1, período de 30 años



Fuente: elaboración propia

Por último, se realizó una estimación del potencial de mitigación en caso de que se utilizaran especies nativas para los bosques de abrigo y sombra, como se mencionó en el análisis de sensibilidad. Como no existen datos nacionales sobre el IMA de especies nativas, se supuso un valor promedio IMA de 7,5 m²/ha/año y una densidad básica de la madera promedio igual a 0,81 ton MS/m³, el resto de los parámetros se mantuvieron igual a *Eucalyptus* además, se consideró que no se extrae leña para cosecha. Para el período de 30 años, esta plantación generaría un stock promedio de 268,3 ton CO₂/ha/año y un flujo promedio de 16,8 ton CO₂/ha/año.

2.4. Co-beneficios

Los montes de abrigo y sombra tienen como principal función reducir el impacto de situaciones de estrés calórico en el ganado bovino y ovino y proteger

a los animales del viento y el frío, como se mencionó anteriormente. Por lo tanto, además de aportar a la mitigación, tienen como principal co-beneficio la adaptación al cambio climático de los sistemas ganaderos.

La incorporación de plantaciones forestales de especies exóticas (por ejemplo, *Eucalyptus*) en predios ganaderos, si bien tiene un alto potencial de mitigación, podría afectar el paisaje, la biodiversidad y el régimen hidrológico. Esta afirmación se basa en estudios nacionales que encuentran estos efectos en plantaciones con destino industrial que ocupan amplias extensiones (ver sección 3.4 donde se refiere a los co-beneficios de reducir la conversión de campo natural). Sin embargo, esta medida comprende la instalación de montes de abrigo y sombra en una relación de 1/50 con respecto al área ganadera, por lo que estos efectos podrían no ser muy significativos, aunque se identifica la necesidad de generar información científica al respecto.

En el caso de la implantación de montes de abrigo y sombra con especies nativas y la regeneración de áreas de bosque nativo que pueda proveer sombra y abrigo al ganado, podrían haber co-beneficios asociados a las funciones ecosistémicas del bosque nativo. Estas funciones se relacionan con los servicios ecosistémicos: productividad primaria, hábitat, control de erosión del suelo y calidad de agua, y provisión de frutas y -indirectamente- miel (Brazeiro, 2018 citado en Rovira et al., 2023).

3. Reducción en la conversión del campo natural

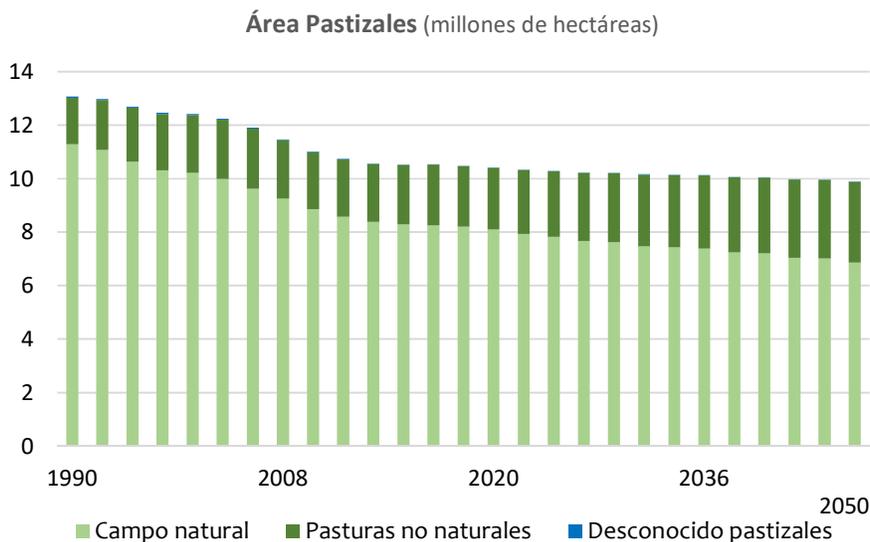
3.1. Introducción

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 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 principal causa de la disminución de su superficie ha sido la conversión hacia tierras de cultivo y plantaciones forestales (*Eucalyptus* y *Pinus*). Según estimaciones realizadas en base al relevamiento con *Collect Earth*, se perdieron cerca de 2 millones de hectáreas de campo natural entre los años 2000 y 2017 (Castagna y García, 2020).

En la figura 4 se muestra la evolución del área de pastizales, incluyendo los usos y cambios en el uso del suelo registrados en el período 1990-2017 según el relevamiento de *Collect Earth* y proyecciones para el período 2018-2050 bajo el escenario de línea de base (tendencial) realizadas en el marco de la elaboración de la Estrategia Climática de Largo Plazo de Uruguay (SNRCC, 2021).

Figura 4. Evolución del área de pastizales, tendencia (1990-2017) y proyecciones bajo el escenario tendencial analizado para la ECLP (2018-2050)



Fuente: Producto 2 Relevamiento de estudios y análisis de senderos, Estrategia Climática de Largo Plazo (SNRCC Uruguay, 2021)

En este contexto, cabe mencionar que la conversión de pastizales es un problema que debe ser abordado a nivel nacional, más allá de la superficie ganadera, a partir del ordenamiento de los distintos usos del suelo y la planificación territorial. Igualmente, también tienen influencia las decisiones de transformación del paisaje natural dentro de los predios ganaderos hacia otros usos que pueden integrarse en los sistemas ganaderos que incorporan pasturas sembradas y en los sistemas agrícola-ganaderos y silvopastoriles.

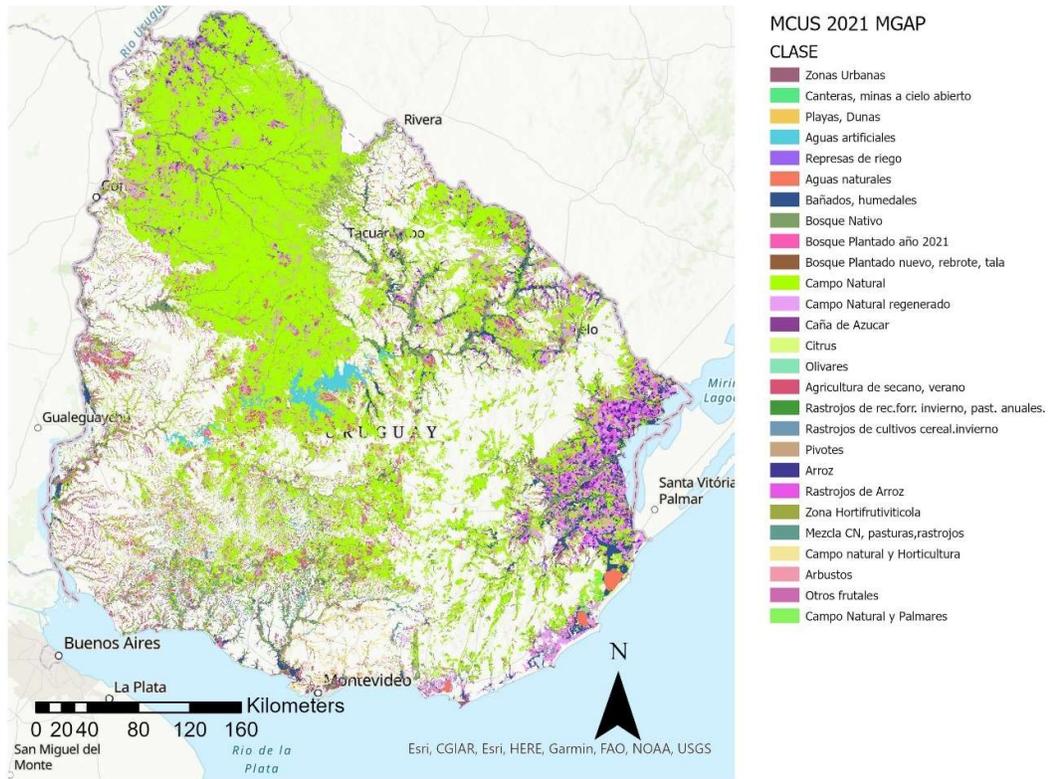
En la Segunda NDC se establece una medida de mitigación condicional a medios de implementación relativa a reducir la conversión de pastizales naturales: *“La tasa anual promedio de pérdida de pastizales naturales para el período 2026-2030 se ubica en un 50% (0,685% tasa promedio anual período 2026-2030) respecto a la del período 2000-2015 a nivel nacional (1,37%)”* (República Oriental del Uruguay, 2022).

Para analizar esta medida, en primer lugar, se buscó establecer una cota inferior de área de campo natural que por las condiciones del suelo y los límites institucionales no serían factibles de ser transformadas a otros usos (forestal y agrícola). Para esto, se tomó como base el Mapa de Uso y Cobertura del Suelo 2021 (MGAP, 2021), la capa de Prioridad Forestal 2010 (MGAP, 2020) y la capa de Zonificación de Cultivos de Verano y Aptitud Agrícola (MGAP, 2016).

A continuación, utilizando el software ArcGIS se sustrajeron las áreas de prioridad forestal y las áreas clasificadas como moderadamente aptas, aptas y muy aptas para la agricultura. Finalmente, dentro del área restante del Mapa de Uso y Cobertura del Suelo se estimó el área con cobertura de campo natural. Los resultados de este análisis se ilustran en la figura 5.

De este análisis surge que, al sustraer las áreas que son factibles de ser transformadas a forestación y agricultura, la superficie de campo natural pasaría de 8.926.543 ha a 5.830.041 ha, lo que representaría una caída del 35%.

Figura 5. Mapa de uso y cobertura del suelo luego de sustraer áreas de prioridad forestal y áreas moderadamente aptas, aptas y muy aptas para la agricultura

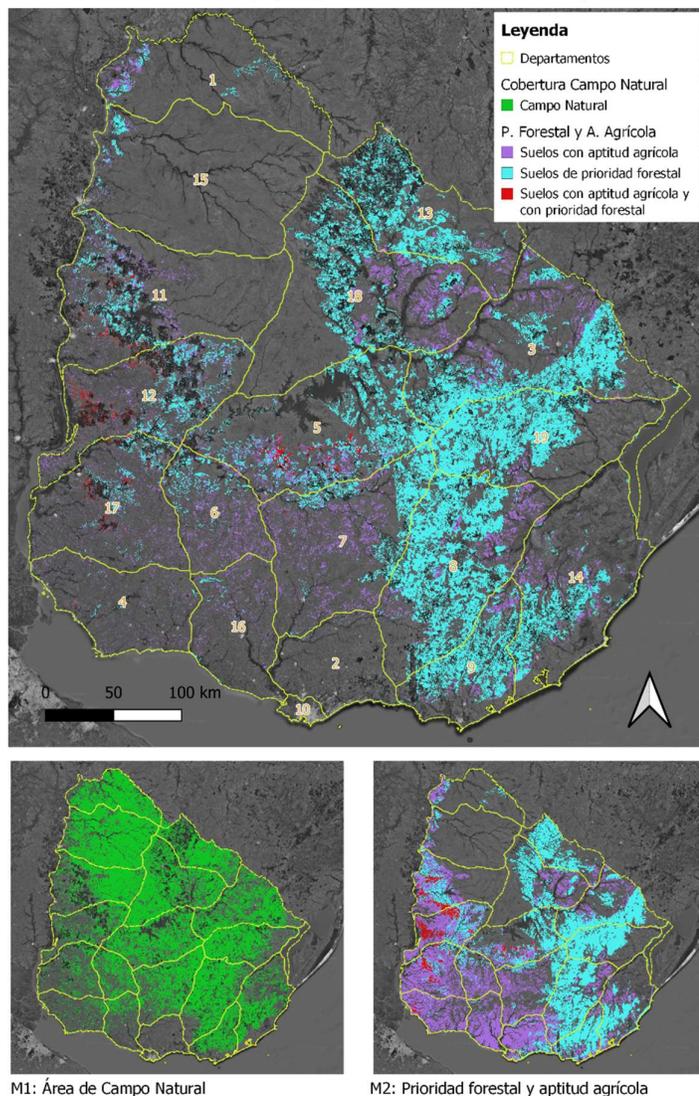


Fuente: Elaboración de G. Sena con base en Mapa de Uso y Cobertura del Suelo 2021 de MGAP (2021) y procesamiento de datos en ArcGIS

A partir del análisis inverso de las mismas capas, se pueden observar las áreas de campo natural que se ubican dentro de las áreas de prioridad forestal y de aptitud agrícola (figura 6). Se entiende que éstas son las áreas de campo natural más factibles o con mayor potencial de ser transformadas hacia forestación y agricultura. Dado que se conoce la renta de la tierra por departamento, se asignó una renta para cada rubro en función de la participación de cada departamento en el área de prioridad forestal y área con aptitud agrícola. El área total de CN con aptitud agrícola es de 639.620 ha, mientras que el área total de CN con prioridad forestal es de 2.380.547 ha. Las zonas donde coinciden la aptitud agrícola y la prioridad forestal suman un área de 47.491 ha.

Figura 6. Áreas de campo natural con potencial de conversión hacia usos agrícolas y forestales

M3: Áreas de Prior. Forestal y Apt. Agrícola dentro de cobertura Campo Natural



Fuente: Elaboración de G. Sena con base en Mapa de Uso y Cobertura del Suelo 2021 de MGAP (2021) y procesamiento de datos en Qgis

3.2. Análisis costo-beneficio

3.2.1. Supuestos

Para el análisis costo-beneficio de la medida, se buscó estimar el costo de oportunidad de evitar la conversión de una hectárea de campo natural a tierras agrícolas, forestales y pasturas implantadas. Para esto, se utilizó la renta de la

tierra como un valor indicativo de la renta generada por estas actividades que pueden sustituir al campo natural.

En primer lugar, se analizaron los cambios en el uso del suelo de campo natural hacia usos agrícolas y forestales utilizando información de *Collect Earth* y proyecciones de cambios en el uso del suelo realizadas en el marco de la Estrategia Climática de Largo Plazo (SNRCC, 2021). En la tabla 26 se presentan los cambios proyectados en la superficie de los principales usos del suelo que sustituyen el campo natural según distintos escenarios para el período 2020-2030 (cultivos anuales, pasturas implantadas, rotación cultivo secano-pastizal, rotación arroz-pastizal, forestación de Eucaliptos y de Pinos). Los escenarios analizados son el tendencial (BAU - *Business As Usual*) y un escenario alternativo (Ftot) que asume un incremento en la superficie de bosque nativo, un aumento de las plantaciones forestales impulsada por la industria de madera para construcción y el desarrollo generalizado de toda la actividad industrial con base forestal (EUROCLIMA+ & FIIAPP, 2021).

Se observa que bajo el escenario tendencial (BAU) se proyecta la conversión de 488.452 ha de campo natural principalmente hacia pasturas implantadas (40,7%) y rotaciones de cultivos de secano con pasturas (23,2%) y, en menor medida, hacia cultivos anuales (16,2%), forestación con Eucaliptos (14,6%) y rotaciones de arroz con pasturas (5,3%) para el período 2020-2030. En el escenario alternativo, se mantiene como principal uso sustituto las pasturas implantadas (35,2%) y este es seguido por la plantación de Eucaliptos (24,1%) que aumenta en importancia relativa, y luego por la rotación cultivo secano-pasturas (20,1%) y los cultivos anuales (14%). Las rotaciones arroz-pasturas y la forestación de Pinos tienen una participación menor, de 4,6% y 2%, respectivamente.

Teniendo en cuenta la superficie de campo natural proyectada para el 2025 por la Estrategia Climática de Largo Plazo (SNRCC, 2021) de 7.824.868 ha, y la tasa de conversión objetivo de la segunda NDC (0,685%), la máxima conversión de CN que se debería alcanzar por año en promedio sería de 53.600 ha. En un período de 10 años esto equivale a una conversión de 536.003 ha. En el caso de los cambios proyectados en el escenario tendencial (BAU), se estaría cumpliendo con esta meta.

Tabla 26. Cambios proyectados en el uso del suelo de campo natural a otros usos agrícolas y forestales, período 2020-2030

Usos del suelo sustitutos	Escenario BAU		Escenario Alternativo	
	Variación de superficie (ha)	Participación (%)	Variación de superficie (ha)	Participación (%)
Pasturas implantadas	198.847	40,7%	198.847	35,2%
Rotación cultivo secano-pasturas	113.337	23,2%	113.337	20,1%
Cultivos anuales	78.929	16,2%	78.929	14,0%
Eucaliptos	71.324	14,6%	135.815	24,1%
Rotación arroz-pasturas	26.015	5,3%	26.015	4,6%
Pinos	0	0,0%	11.333	2,0%
TOTAL	488.452	100%	564.276	100%

Fuente: elaboración propia con base a datos del relevamiento Collect Earth e informe de relevamiento y análisis de senderos (EUROCLIMA+ & FIIAPP, 2021).

3.2.2. Resultados del análisis costo-beneficio

En la tabla 27 se presenta la renta de la tierra asignada a cada uso del suelo y el diferencial de renta respecto al campo natural. En la primera columna se presenta la renta promedio nacional en el período 2014-2020 con base en datos de MGAP-Estadísticas Agropecuarias.

Dado que esta renta promedio nacional refleja el uso del suelo actual, donde la agricultura y la forestación ya ocupan las áreas más aptas para esos usos, se realizó un cálculo alternativo de la renta de la tierra que buscó ajustar estos valores según la renta de los departamentos que tienen remanentes de campo natural factibles de ser transformados en forestación y agricultura, a partir del análisis geográfico presentado en la figura 6.

En esta línea, primero se analizó la renta de la tierra de los distintos usos por departamento para el 2020, donde se observaron amplias diferencias entre la

renta mínima y máxima.⁴ Luego, para cada uso del suelo se calculó el promedio ponderado de la renta por departamento en función de su participación en el área de CN con prioridad forestal (en el caso de Eucaliptos y Pinos) o aptitud agrícola (en el caso de cultivos anuales, rotación cultivo seco-pasturas, y pasturas implantadas). En el anexo 1 se muestran los datos utilizados para estas estimaciones. Luego de este ajuste, las rentas agrícolas son significativamente menores que las rentas promedio nacionales, lo cual refleja que los suelos remanentes son menos aptos para esta actividad que los suelos actualmente utilizados. Mientras que el promedio nacional para cultivos anuales era de 250 US\$/ha, la renta ajustada descendió a 179 US\$/ha. La renta de la tierra en campo natural (70 US\$/ha) fue muy similar al promedio nacional (72 US\$/ha), y coincidió entre la zona de aptitud agrícola y forestal.

Tabla 27. Renta de la tierra asignada a campo natural y usos del suelo sustitutos

Usos del suelo	Renta de la tierra promedio nacional ⁽ⁱ⁾ (US\$/ha)	Diferencial de renta respecto a CN (US\$/ha)	Renta de la tierra ponderada deptos. ⁽ⁱⁱ⁾ (US\$/ha)	Diferencial de renta respecto a CN (US\$/ha)	Rubro del cual se asigna renta
Campo natural	72	0	70	0	Ganadería
Cultivos anuales	250	178	179	109	Cultivos de seco
Rotación cultivo seco-pasturas	199	127	150	80	Cultivos de seco y agrícola-ganadero (promedio)
Pasturas implantadas	148	77	122	51	Agrícola-ganadero
Eucaliptos	153	81	161	92	Forestación
Pinos	153	81	161	92	Forestación
Rotación arroz-pasturas	115	43	115	45	Ganadero-arrocero

(i) Promedio de la renta de la tierra en el período 2014-2020.

(ii) Promedio ponderado de renta de la tierra por departamento del 2020 en función de su participación en el área de prioridad forestal (Eucaliptos y Pinos) o agrícola (cultivos anuales, rotación cultivo seco-pasturas, y pasturas implantadas)

⁴ En el 2020 la renta ganadera oscila entre 61 y 89 US\$/ha (el promedio nacional es de 68 US\$/ha), mientras que la renta de cultivos agrícolas de seco oscila entre 65 y 378 US\$/ha (el promedio nacional es de 225 US\$/ha).

Fuente: elaboración propia con base en Serie “Precio de la Tierra” de MGAP- Estadísticas Agropecuarias

Luego de calcular la renta de la tierra para el campo natural y los usos sustitutos, se construyó el flujo de fondos para el 2020-2030 a partir de la renta diferencial de cada uso sustituto y su participación en el cambio de uso del suelo proyectado en función del promedio presentado en la tabla 26 anterior. En la tabla 28 a continuación se muestran los resultados del VPN para el escenario BAU y alternativo (con mayor participación de la actividad forestal y cobertura de bosque nativo) a una tasa de descuento de 7,5%. Estos resultados muestran una pérdida de valor económico dada por el diferencial de renta entre el campo natural y los usos sustitutos, que asciende a -573 US\$/ha en el escenario BAU y -594 US\$/ha en el escenario alternativo, considerando las rentas ponderadas por departamento. Estos valores representan el costo de oportunidad de evitar la transformación de una hectárea de campo natural acumulado en el período 2020-2030.

Tabla 28. VPN para escenario BAU y alternativo

Renta ponderada usos del suelo sustitutos	Escenario BAU	Escenario alternativo
VPN (US\$/ha) prom. nac.	-815	-792
VPN (US\$/ha) pond. deptos.	-573	-594

Análisis social

Dado que el potencial de mitigación de esta medida es negativo para el período de 10 años, como se explica en la sección 3.3, se generaría un costo social adicional al costo de oportunidad por ese menor secuestro de carbono, que puede ser valorado utilizando el CSC como en las medidas anteriores. Por este motivo, el VPN social sería menor que el VPN privado. Sin embargo, es importante destacar que la medida de reducción de la tasa de conversión de CN tiene objetivos de conservación de biodiversidad, ya que también se incluye en la Convención sobre Diversidad Biológica, por lo que no solo debe ser evaluada en términos de su potencial de mitigación. A su vez, la valoración de estos efectos positivos sobre la conservación de biodiversidad, así como otros servicios ecosistémicos provistos por el campo natural conservado, puede brindar un análisis más completo sobre el valor económico social de esta medida.

3.3. Potencial de mitigación

3.3.1. Análisis de las emisiones netas por conversión del campo natural

La conversión de CN a otros usos puede generar distintas situaciones de emisiones según cual sea el uso sustituto. Según la metodología de las directrices IPCC utilizadas en el INGEI de Uruguay, en la conversión hacia cultivos herbáceos (cultivos de secano, arroz o pasturas sembradas) los cambios principales estarán en el carbono orgánico del suelo (COS) ya que se considera que tanto la biomasa viva (herbácea) como la materia orgánica muerta (MOM) están en equilibrio y por lo tanto no se genera un flujo en esos stocks.

Por otro lado, en el caso de la conversión de pastizales a tierras forestales habrá cambios a nivel de la biomasa viva (BV), dada por el incremento de la biomasa leñosa de los árboles, así como la generación de mantillo y hojarasca que provocan cambios en la MOM. Respecto al COS, aunque en el INGEI se reporta un leve aumento por el cambio a tierras forestales, para este análisis se considera que no hay cambio, ya que como se comentó en la medida anterior, la información nacional no es concluyente sobre el efecto en el suelo.

De acuerdo al relevamiento de usos del suelo a nivel nacional realizado con *Collect Earth*, el total del área de CN modificada entre 1970 y 2017 fue primeramente reemplazada por pasturas sembradas (30%), cultivos anuales y rotaciones con cultivos (29%), forestación con Eucaliptos y Pinos (23%) y rotaciones de arroz con pasturas (11%). Estos representan los principales usos sustitutos.

El potencial de mitigación para esta medida se calculó considerando los principales usos sustitutos del campo natural. Para cada uno de ellos se estimó el flujo de carbono que ocurriría a partir del cambio, utilizando las directrices del IPCC y los factores utilizados en el INGEI.

Para calcular los cambios en el COS, se utilizó un COS de referencia promedio nacional igual a 71,1 ton C/ha. Además, se realizó un cálculo adicional utilizando un factor de cambio de existencias en base al secuestro de COS calculado en la medida del capítulo 1 para el CN. Por lo tanto, tenemos una situación en la que el CN pierde carbono (valor utilizado en el INGEI: FMG = 0,95 para pastizales moderadamente degradados por pastoreo) y otra en la que el CN estaría

secuestrando carbono (se estimó un FMG = 1,034 para pastizales que secuestran 0,121 ton CO₂/ha/año).

Para el cálculo del flujo de BV en forestación se consideró la plantación con la especie *Eucalyptus* y los parámetros presentados en la tabla 29.

Tabla 29. Parámetros utilizados para estimar el secuestro de carbono en biomasa viva de plantaciones

Parámetro	Valor (unidades)	Fuente
Incremento medio anual de <i>Eucalyptus</i> sp. (Iv)	25,5 m ³ /ha/año	Castagna 2022
Factor de expansión de la biomasa (BEF)	1,20	Penman et al., 2003 (Cuadro 3A.1.10, valor para especies de hoja ancha en clima templado).
Densidad básica de la madera (D)	0,47 ton MS/m ³	Castagna 2022
Relación parte aérea/raíz (R)	0,44 ó 0,28 ó 0,20 según biomasa aérea.	IPCC, 2006 (Tabla 4.4, valor para <i>Eucalyptus spp</i> en clima templado).
Fracción de carbono (CF)	0,48	IPCC, 2006 (Cuadro 4.3; valor promedio para especies de hoja ancha, en clima templado).

Fuente: elaboración propia

Con una situación del CN perdiendo carbono del suelo (COS_a), la conversión hacia cultivos anuales o rotaciones cultivo de secano-pastizal generarían una pérdida de carbono del suelo; mientras que la conversión hacia otros usos generaría una captura de COS (tabla 30). En cambio, si el CN estuviera secuestrando COS (situación COS_b), cualquier conversión generaría un flujo positivo (pérdida) de carbono desde el suelo.

Por otra parte, la forestación es el único uso sustituto que generaría en los primeros 10 años un flujo negativo (captura) de carbono en la biomasa viva y materia orgánica muerta. Sin embargo, en Uruguay la mayor proporción de las plantaciones con *Eucalyptus* son cosechadas principalmente para obtener celulosa (turno de corta promedio de 10 años), y en menor medida para madera sólida con turnos de corta mayores (18 años en promedio). Cada cosecha generará posteriores pérdidas de carbono de distinta magnitud según el destino. En el caso del uso para celulosa, se considera que el carbono cosechado es emitido en el mismo año y se genera un flujo de pérdida (positivo) en el mismo

año que reducirá el flujo promedio generado durante el crecimiento de los árboles.

Tabla 30. Variación en el flujo de emisiones por conversión de campo natural a otros usos del suelo según compartimiento (BV: biomasa viva, MOM: materia orgánica muerta y COS: carbono orgánico del suelo). Eq.: en equilibrio. COS_a) situación de CN perdiendo carbono, y COS_b) situación de CN secuestrando carbono

Uso del suelo sustituto	BV (ton CO2/ha/año)	MOM (ton CO2/ha/año)	COS_a (ton CO2/ha/año)	COS_b (ton CO2/ha/año)
Pasturas sembradas	Eq.	Eq.	-0,66	0,45
Cultivos anuales	Eq.	Eq.	2,06	3,16
Rotación cultivo secano - pasturas	Eq.	Eq.	0,13	1,24
Forestación	-32,4*	-2,38	-0,66	0,45
Rotaciones arroz-pastizal	Eq.	Eq.	-0,66	0,45

* En un período de 10 años. Luego el flujo podría disminuir hasta 0, debido a la cosecha para la producción de celulosa.

Fuente: elaboración propia

Si consideramos los dos escenarios de cambios de usos de suelo que se presentaron en el análisis costo-beneficio (tabla 26), podemos calcular el potencial de mitigación para el período de análisis de 10 años (2020-2030). Dados los cambios en el **escenario BAU**, el valor total del flujo ponderado por tipo de uso sería de **-5,12 ton CO2/ha/año** (situación COS-a) y **-4,01 ton CO2/ha/año** (situación COS-b). Para el **escenario con un mayor desarrollo del sector forestal (FTOT)** los valores serían de **-9,19** y **-8,08 ton CO2/ha/año** para las situaciones COS-a y COS-b, respectivamente.

En el caso de la situación en la que el CN secuestra carbono, la pérdida de CN hacia otros usos en el período 2020-2030 generaría emisiones netas acumuladas de signo negativo igual a **-173.131 Gg CO2** y **-23.639 GgCO2** para los escenarios BAU y FTOT, respectivamente. Esto ocurre dado el secuestro que ocurre en la BV de plantaciones forestales. Si no se consideran las plantaciones forestales las emisiones netas representarían una pérdida total igual a **1.214 Gg CO2** en ambos escenarios.

En este sentido, evitando la conversión del área de campo natural a plantaciones forestales se podría estar resignando una posible captura de carbono en biomasa viva, pero sólo en ese período de tiempo donde no hay cosecha. Sin embargo, en un plazo de tiempo mayor, hay que incorporar en el análisis la cosecha de esas plantaciones que puede generar emisiones del carbono capturado previamente, lo que cambiaría los resultados que se presentan en este análisis costo beneficio.

Por otra parte, dentro de los sistemas de producción de carne, si observamos los resultados presentados en el análisis de la sección 1.3.3, vemos que los cambios de uso de suelo hacia otros más intensivos podrían traer un beneficio en términos de las emisiones de la producción de carne en sistemas de terminación (engorde de novillos). En el caso de los corrales de engorde la producción del grano necesario para la alimentación generaría aún más presión sobre los cambios de usos de suelo hacia la agricultura. De todas formas, la comparación realizada no representa un análisis de ciclo de vida y, por lo tanto, no se están considerando las emisiones de la producción del alimento y no se pretende comparar el total de emisiones de cada sistema. Esto cambiaría la comparación global de los sistemas.

3.4. Co-beneficios

Los co-beneficios asociados a reducir la conversión de campo natural están dados por los servicios ecosistémicos provistos por el campo natural:

- Hábitat de biodiversidad (Modernel et al., 2016; Tiltonell, 2021)
- Control de erosión del suelo (Modernel et al., 2016)
- Retención de nutrientes provenientes de la agricultura (Lescano et al., 2017)
- Regulación hídrica (Modernel et al., 2016; Orcasberro et al., 2022)
- Servicios culturales de paisaje y recreación (Bindritsch Aguiar, 2014)

A su vez, la conservación del área de campo natural puede evitar los potenciales efectos ambientales negativos de la transformación de este ecosistema natural en tierras agrícolas y forestales.

La conversión hacia plantaciones forestales de especies exóticas (por ejemplo, *Eucalyptus*), cuando ocupa amplias extensiones, puede afectar el régimen

hidrológico (Silveira y Alonso, 2008; Silveira et al., 2016), el paisaje y la biodiversidad (Gallego et al., en revisión; Cravino & Brazeiro, 2021; Fernández-Santiago, 2023). Por su parte, la fragmentación de los pastizales naturales por la implantación de agricultura y pasturas puede afectar negativamente la riqueza de especies en los remanentes de pastizal (Mello et al., en elaboración).

4. Aumento de la fase de pasturas en rotaciones con cultivos

4.1. Introducción

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

Esta práctica permite aumentar la biomasa de las raíces del suelo y la actividad de la flora y la fauna del suelo, reducir la erosión y como consecuencia, aumentar el COS 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).

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 COS en la capa de 0-15 cm del suelo, mientras que los cultivos agrícolas continuos pierden COS. Además, encontraron que el contenido de COS 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 la Segunda NDC se establecen dos medidas de mitigación incondicionales a medios de implementación relativas a la inclusión de pasturas en rotaciones agrícolas (República Oriental del Uruguay, 2022):

- A 2030 se han implementado sistemas de producción de cultivos que incluyen rotaciones con pasturas sembradas que ocupen más del 30% de la duración de la rotación en al menos 30% del área agrícola bajo Planes de Uso y Manejo del Suelo del año 2030.
- A 2030 se han implementado sistemas de producción de cultivos que incluyen rotaciones con pasturas sembradas que ocupen más del 60% de

la duración de la rotación en al menos 15% del área agrícola bajo Planes de Uso y Manejo del Suelo del año 2030.

Para el monitoreo de estas medidas en el sistema MRV de la NDC, se asume que la inclusión de pasturas en más del 30% del largo de la rotación permite mantener los niveles de COS, mientras que cuando abarcan más del 60% del largo de la rotación pueden aumentar los niveles de COS, con base en las investigaciones nacionales.

La Resolución Ministerial del MGAP N° 397/18 establece la obligatoriedad de la presentación de Planes de Uso y Manejo del Suelo (PUMS) ante la Dirección General de Recursos Naturales del MGAP para productores que realizan 50 o más hectáreas de cultivos en rotaciones agrícolas o agrícola-ganaderas. Actualmente, gran parte de la superficie de cultivos está comprendida en los PUMS.

El análisis de la información reportada por los establecimientos agropecuarios en los PUMS entre 2013 y 2022 indica que el 34,1% del área emplea pasturas durante al menos el 30% del tiempo de la rotación, mientras que el 14,2% del área presenta el uso pasturas durante al menos el 60% del tiempo de la rotación. Esto indica que las metas planteadas en la Segunda NDC ya se cumplen o están próximas a cumplirse (en el caso de la meta que refiere al 60% de la duración de la rotación). Si analizamos únicamente los PUMS que incluyen pasturas en la rotación (38%), se observa que el 11,6% del área incorpora pasturas durante al menos el 30% del tiempo de la rotación, mientras que el 46,3% del área lo hace durante al menos el 60% de la duración de la rotación, y el restante 42,1% presenta pasturas durante más del 60% del tiempo.

Para hacer el análisis costo-beneficio y estimar el potencial de mitigación de esta medida, se seleccionaron tres rotaciones cultivo-pasturas “tipo” con base en Quincke et al. (2019), las cuales se muestran en la figura 7.

Figura 7. Rotaciones cultivo-pasturas tipo

Rotación/Período	1	2	3	4	5	6
A (33%)	Pastura	Sorgo 1 ^a	Trigo Soja 2 ^a	Pastura	Sorgo 1 ^a	Trigo Soja 2 ^a
B (50%)	Maíz 1 ^a	Cebada Sorgo 2 ^a	Trigo Soja 2 ^a	Pastura	Pastura	Pastura
C (66%)	Maíz 1 ^a	Pastura	Sorgo 1 ^a	Pastura	Pastura	Pastura

Nota: El porcentaje entre paréntesis indica la duración de la pastura en la rotación.

Fuente: Elaboración propia con base en Quincke et al. (2019)

4.2. Análisis costo-beneficio

4.2.1. Supuestos

Para el análisis costo-beneficio, en primer lugar, se estimó el costo de oportunidad de incrementar el área de pasturas en rotación. Este costo de oportunidad está asociado a la pérdida de valor de producción por una menor área destinada a usos agrícolas que generan mayor valor. Para estimar este costo, se relevó el margen bruto (ingreso total menos costo total) de las pasturas y los cultivos agrícolas considerados en las rotaciones tipo de la figura 7. Se supone que las pasturas son pastoreadas con ganado para la producción de carne. El margen bruto de las pasturas se calculó considerando el costo total de implantar una pastura anual, bianual y perenne (trianual), así como los costos posteriores por aplicación de fertilizantes y herbicidas, y el ingreso total por la producción de carne. Este relevamiento se muestra en la tabla 31. El margen de las pasturas es de base anual, mientras que el margen de los cultivos agrícolas es de base semestral, ya que en general se cultivan en verano e invierno. Teniendo esto en cuenta, se observa que el margen anual promedio de las pasturas es inferior al de los cultivos agrícolas.

Tabla 31. Margen bruto de cultivos agrícolas y pasturas

Cultivo	Margen bruto (US\$/ha)	Costo total (US\$/ha)	Ingreso total (US\$/ha)	Precio (US\$/ton)	Rendimiento (ton/ha)	Fuente
Maíz 1^a	856	1.144	2.000	250	8,0	Sofoval
Soja 2^a	610	690	1.300	500	2,6	Sofoval
Sorgo 1^a	560	630	1.190	170	7,0	Sofoval
Cebada	479	1.096	1.575	350	4,5	Sofoval

Trigo	394	1.091	1.485	330	4,5	Sofoval
Sorgo 2^a (i)	274	661	935	170	5,5	Sofoval
Pastura anual (ii)	493	284	777	2.660	0,292	Sofoval, Román et al. (2022), INAC
Pastura bianual (iii)	486	291	777	2.660	0,292	Sofoval, Maccio, CUSA, Román et al. (2022), INAC
Pastura perenne (iv)	458	319	777	2.660	0,292	Sofoval, Maccio, CUSA, Román et al. (2022), INAC

(i) Se considera cultivo de sorgo con rendimiento medio.

(ii) Pastura anual de Raygrass tetraploide y Trébol Alejandrino. Los ingresos corresponden a producción de carne en pastura según el rendimiento promedio teórico de carne en ganancia de peso vivo de 0,9 kg/día para una dieta basada en pasturas, considerado en Román et al. (2022), y el precio promedio anual ponderado para las distintas categorías de INAC (2022). Los costos de implantación de la pastura son obtenidos de Sofoval.

(iii) Pastura bianual de Trébol rojo y Cebadilla. Se calcula costo promedio anual considerando implantación de pastura (Sofoval) y fertilización y aplicación de Glifosato en segundo año (Sofoval, Maccio y CUSA). Los ingresos se asumen equivalentes a los de la pastura anual.

(iv) Pastura trianual de Trébol, Festuca y Lotus. Se calcula costo promedio anual considerando implantación de pastura (Sofoval) y fertilización y aplicación de Glifosato en segundo y tercer año (Sofoval, Maccio y CUSA). Los ingresos se asumen equivalentes que el de la pastura anual.

Fuente: Elaboración propia

Las rotaciones con mayor duración de la fase de pasturas pueden alcanzar mayores los rendimientos en la fase de cultivos. Con base en Rubio et al. (2021), se calcularon los rendimientos esperados de trigo y cebada (Y) para cada proporción de pasturas (X) utilizando la siguiente regresión lineal $Y = 32,914 \cdot X + 2.776,5$. El aumento en el rendimiento es de 14% cuando se pasa de 33% a 50%, y de 12% cuando se pasa de 50% a 66%, mientras que el incremento es del 28% cuando se compara una duración de 33% con una de 66% (tabla 32). Si bien estos factores se calcularon para los rendimientos de trigo y cebada, se asume igual incremento de rendimientos en todos los cultivos de las rotaciones consideradas.

Tabla 32. Rendimientos incrementales de cultivos (trigo y cebada) por aumento de duración de pasturas en la rotación

Porcentaje de pasturas en rotación (%)	Rendimiento de cultivos (ton/ha)	Variación de rendimiento (%)
33	3,863	
50	4,422	14%
66	4,949	12% (28%)

Fuente: Elaboración propia con base en Rubio et al. (2021)

4.2.2. Resultados de análisis costo-beneficio

En primer lugar, se construyó el flujo de fondos para las tres rotaciones evaluadas con un período de 12 años, en el que se repite la rotación de seis años, los cuales se presentan en el anexo 2. Se observa que el VPN de la rotación A en este período asciende a 5.599 US\$/ha, el de la rotación B es de 7.304 US\$/ha, mientras que el de la rotación C es de 6.066 US\$/ha.

El mayor beneficio se obtiene en la rotación B (con 50% de pasturas), lo cual se debe en parte a que incluye cultivos con mayor margen bruto promedio, aunque incluye mayor proporción de pasturas que la rotación A. Mientras que el margen bruto anual promedio de la fase de cultivos asciende a 1.223 US\$/ha en la rotación B (incluye maíz 1^a, cebada, sorgo 2^a, trigo y soja 2^a), este es de 782 US\$/ha en la rotación A (incluye sorgo 1^a, trigo, soja 2^a). Además, este mayor margen bruto en la rotación B tiene incorporado un mayor rendimiento en la fase de cultivos (14%) comparado con los rendimientos promedio por la mayor proporción de pasturas. En la rotación C que tiene una duración de pasturas de 66%, este incremento en el rendimiento es de 28% respecto a los rendimientos promedio. Este mayor rendimiento en la fase de cultivos compensa la mayor proporción de pasturas (que reportan un margen bruto anual menor que los cultivos agrícolas), por lo que el VPN de esta rotación supera al de la rotación A.

Una vez obtenido el VPN para cada una de las rotaciones bajo análisis, se evaluó el valor económico resultante de aumentar la duración de las pasturas en las rotaciones A y B. En la primera, se evaluaron dos “escalones”: un aumento de 33% a 50% y un aumento de 50% a 66%, mientras que en la rotación B se evaluó un incremento de 50% a 66%. La rotación C no entró en este análisis incremental por ya contar con una alta duración de pasturas en la rotación de 66%. En las

tablas 33 y 34 se muestran algunos de estos resultados; los valores en gris reflejan los cambios con respecto a la rotación original.

En el caso de la rotación A, primero se sustituye el sorgo de primera por una pastura en el quinto año de la rotación, por lo que se implanta una pastura bianual en los períodos 4 y 5. Lo mismo para la rotación subsiguiente. Este incremento de la fase de pasturas del 33% al 50% hace que aumenten los rendimientos de los cultivos agrícolas en un 14% respecto al promedio nacional como se explicó anteriormente. La **rotación A** en este **primer escalón con más pasturas** obtiene un VPN de 6.802 US\$/ha. Por lo tanto, en este escenario se obtiene un beneficio incremental de **1.203 US\$/ha** cuando se compara con el VPN de la rotación original (5.599 US\$/ha).

Tabla 33. Análisis económico de incremento de duración de pasturas de 33% a 50%, Rotación A

	1	2	3	4	5	6	(...)	12
Cultivo 1	Pastura	Sorgo 1 ^a	Trigo	Pastura	Pastura	Trigo		Trigo
Cultivo 2			Soja 2 ^a			Soja 2 ^a		Soja 2 ^a
Cultivo 1								
Costo total	284	630	1.091	291	291	1.091		1.091
Ingreso total	777	1.362	1.700	777	777	1.700		1.700
Precio (US\$/ton)	2.660	170	330	2.660	2.660	330		330
Rendimiento (ton/ha)	0,3	8,0	5,2	0,3	0,3	5,2		5,2
Margen bruto	493	732	609	486	486	609		609
Cultivo 2								
Costo total			690			690		690
Ingreso total			1.488			1.488		1.488
Precio (US\$/ton)			500			500		500
Rendimiento (ton/ha)			3,0			3,0		3,0
Margen bruto			798			798		798
Margen bruto total	493	732	1.407	486	486	1.407		1.407
MB descontado	493	681	1218	391	364	980		635
VPN (US\$/ha)	6.802							
VPN incremental	1.203							

El segundo escalón evaluado implica un incremento del 50% al 66% en la duración de las pasturas de la rotación A que se alcanza sustituyendo el cultivo de sorgo 1^a en el segundo período de la rotación por una pastura bianual en ese período y el anterior. Se observa que el VPN se incrementa a 7.390 US\$/ha, lo cual implica un incremento en 589 US\$/ha respecto al resultado del escalón

anterior (6.802 US\$/ha). Este incremento se explica por el rendimiento incremental de los cultivos (12%) que más que compensa el menor margen neto de la pastura adicional respecto al sorgo 1^a.

En caso de la rotación B, se sustituye el período de cebada y sorgo de segunda por una pastura anual en el segundo año de la rotación. La **rotación B con más pasturas** obtiene un VPN de 7.338 US\$/ha. Este valor es similar al obtenido en la rotación original (7.304 US\$/ha), con una diferencia de tan solo **34 US\$/ha**, lo cual se explica porque el rendimiento incremental de los cultivos (12% respecto a rotación original) supera el menor margen de la pastura en comparación con la fase agrícola sustituida.

Tabla 34. Análisis económico de incremento de duración de pasturas de 50 a 66%, Rotación B

	1	2	3	4	5	6	(...)	12
Cultivo 1	Maíz 1 ^a	Pastura	Trigo	Pastura	Pastura	Pastura		Pastura
Cultivo 2			Soja 2 ^a					
Cultivo 1								
Costo total	1.144	284	1.091	319	319	319		319
Ingreso total	2.562	777	1.903	777	777	777		777
Precio (US\$/ton)	250	2.660	330	2.660	2.660	2.660		2.660
Rendimiento (ton/ha)	10,2	0,3	5,8	0,3	0,3	0,3		0,3
Margen bruto	1.418	493	812	458	458	458		458
Cultivo 2								
Costo total			690					
Ingreso total			1.666					
Precio (US\$/ton)			500					
Rendimiento (ton/ha)			3,3					
Margen bruto			976					
Margen bruto total	1.418	493	1.787	458	458	458		458
MB descontado	1.418	458	1.546	368	343	319		207
VPN (US\$/ha)	7.338							
VPN incremental	34							

Los resultados de este análisis parcial indican que el aumento de la duración de las pasturas en la rotación en general reporta beneficios económicos y que estos dependen del margen bruto de los cultivos que se sustituyen por las pasturas, dependientes de los precios de los cultivos y los insumos, y del rendimiento diferencial que se asigna en la fase de cultivos.

Análisis social

Las emisiones abatidas estimadas en la sección 4.3. se pueden valorar al CSC como en las medidas anteriores. El resultado de incorporar como beneficio social el CSC es un mayor VPN social (comparado con el VPN privado), tanto para el caso de la rotación A como para la rotación B, cuando incrementan su fase de pasturas.

En el caso de la **rotación A**, el VPN social incremental de aumentar de 33% a 50% la duración de pasturas es de **1.394 US\$/ha** considerando el menor valor del CSC estimado por el BM (que va desde 43 hasta 55 US\$/ton CO₂ en el período considerado) y la estimación del potencial de mitigación bajo la metodología 1 (-0,479 ton CO₂/ha/año en promedio). En el caso de la **rotación B**, cuando consideramos el valor mínimo del CSC y la estimación del potencial de mitigación bajo la metodología 1 (-0,419 ton CO₂/ha/año en promedio), el VPN social incremental de aumentar de 50% a 66% la duración de la fase de pasturas es de **202 US\$/ha**. Esto indica un aumento en el bienestar social que supera los beneficios privados de esta práctica. A su vez, si se valorizan los co-beneficios presentados en la sección 4.4 asociados al aumento de la fase de pasturas, más allá de su potencial de mitigación, la medida podría generar un mayor incremento en el bienestar social.

4.3. Potencial de mitigación

Para estimar el potencial de mitigación por aumento de la fase de pasturas en áreas de rotaciones de cultivos con pasturas en sistemas agrícolas-ganaderos se utilizaron dos metodologías alternativas. En ambos casos sólo se consideró la emisión de dióxido de carbono por cambios en el carbono orgánico del suelo; no se tuvo en cuenta las variaciones en emisiones de óxido nitroso (N₂O) que podrían existir entre cultivos y pasturas debido a diferencias de fertilización nitrogenada. En este sentido, se ha observado menores emisiones de N₂O en la fase agrícola de los sistemas de rotación con pasturas en comparación con agricultura continua (Ciganda et al., 2022).

En este análisis no se consideraron las emisiones del ganado que podría ocupar el área durante la fase de pasturas debido a que el foco de esta medida está puesto sobre los cambios de carbono en el suelo.

Para ambas alternativas se propuso tres situaciones con diferentes proporciones de pasturas en base al trabajo de Rubio et al. (2021): 33% de pasturas (PS), 50% PS y 66% PS.

- Método 1: se estimó el factor de cambio de existencias del COS en la rotación (FLU*FMG*FI) ponderando los valores utilizados en el INGEI⁵ según la proporción de pastura y cultivo en la rotación. Para la etapa de cultivo se considera FLU (factor asociado a uso de la tierra)=0,69, FMG (factor asociado al manejo)=1,15 y FI (factor asociado a la entrada de carbono)=1; y para la etapa de pastura se utiliza FLU=1, FMG=1 y FI=1. (Ver tabla 35).
- Método 2: se estimó el factor de cambio de existencias de COS en base a información de investigación nacional (Rubio et al., 2021). Se tradujeron los valores de variación de COS (%) obtenidos en la investigación a un factor de cambio de existencia para las distintas proporciones de pasturas. Para simplificar el análisis se asumió que esas variaciones ocurrirían en 20 años. Sin embargo, en este caso el suelo de referencia corresponde a una situación de agricultura continua y a partir de un estado del suelo de referencia.

Tabla 35. Factores de cambio de existencias de COS según método y proporción de pasturas en la rotación

Proporción de pasturas	Factor de cambio de existencias de COS	
	Método 1	Método 2
33%	0,872	1,007
50%	0,908	1,108
66%	0,940	1,123

Fuente: elaboración propia

A partir de los factores de cambio de existencia de la tabla 35, se calcularon las emisiones netas por cambio en la proporción de pasturas. Se proponen dos situaciones de cambio que podrían ocurrir en sistemas agrícolas-ganaderos. En todos los casos se utilizó un COS de referencia promedio del país (71,7 ton C/ha) y un lapso de transición hacia el equilibrio de 20 años.

⁵ Cuadro 5.5 y 6.2, para cultivos y pastizales, respectivamente y según las directrices del IPCC 2006.

- Situación 1: aumentar la proporción de la fase de pasturas de 33% a 50%
- Situación 2: aumentar la proporción de la fase de pasturas de 50% a 66%

Tabla 36. Emisiones netas anuales debido al cambio de COS por aumento de la duración de la fase de pasturas en la rotación con cultivos según metodología

Situación (cambio de la duración de la fase de pasturas)	Emisiones anuales debido al cambio de COS (ton CO ₂ /ha/año)	
	Metodología 1	Metodología 2
1 (33% a 50%)	-0,479	-1,326
2 (50% a 66%)	-0,419	-0,208

Fuente: elaboración propia

4.4. Co-beneficios

Se identifican los siguientes co-beneficios del aumento de la fase de pasturas en la rotación agrícola:

- Mayor capacidad de almacenamiento de agua en suelo (Picasso et al., 2022)
- Reducción del riesgo de erosión ante eventos extremos de precipitación (Picasso et al., 2022)
- Menor exportación de nutrientes a cursos de agua (Picasso et al., 2022)
- Menor degradación de las propiedades químicas del suelo (Grahmann et al. 2020)

6. Consideraciones finales

En la siguiente tabla se resumen los principales resultados del análisis costo-beneficio y del potencial de mitigación de las cuatro medidas de mitigación priorizadas que fueron evaluadas en este informe.

Tabla 37. Resumen de resultados de análisis de medidas priorizadas

Medidas (*)	ACB privado	ACB social	Potencial de mitigación	Co-beneficios
Adopción de prácticas de manejo en ganadería de base pastoril (2020-2030)	Significativamente positivo. VPN (US\$/ha CN): <ul style="list-style-type: none"> • 199 base • 158 base c/ menor prod. potencial • 240 sin costo AT • 283 sin sequía 	Significativamente positivo, aún si la adopción es subsidiada por completo. Puede ser mayor si se valoran co-beneficios. VPN (US\$/ha CN): <ul style="list-style-type: none"> • 301 CSC Min • 404 CSC Max 	Alto. Emisiones abatidas (ton CO2-eq/año/ha CN): 0,315	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor resiliencia ante eventos climáticos extremos • Mejora en la biodiversidad • Menor erosión del suelo • Mejoras en otros servicios ecosistémicos del campo natural
Instalación de montes de abrigo y sombra (2020-2050)	Positivo con el uso de especies forestales de rápido crecimiento y si los beneficios de la sombra sobre la ganancia de peso en ganado > 7.5%. VPN (US\$/ha montes): <ul style="list-style-type: none"> • 689 Manejo 0 • 1.297 Manejo 1 VPN (US\$/ha CN): <ul style="list-style-type: none"> • 14 Manejo 0 • 26 Manejo 1 	Positivos. VPN (US\$/ha montes): <ul style="list-style-type: none"> • 16.116 Manejo 0 • 16.724 Manejo 1 VPN (US\$/ha CN): <ul style="list-style-type: none"> • 322 Manejo 0 • 334 Manejo 1 	Muy alto. Emisiones abatidas (ton CO2-eq/año/ha montes): <ul style="list-style-type: none"> • 27,1 Manejo 0 • 2,5 Manejo 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptación al cambio climático • Servicios ecosistémicos de árboles nativos (ej. hábitat, control de erosión del suelo, calidad del agua, provisión de frutas y miel)
Reducción en la conversión del campo natural (2020-2030)	Negativo (costo de oportunidad). VPN (US\$/ha CN): <ul style="list-style-type: none"> • -573 BAU • -594 Ftot 	Negativo, aunque podrían ser positivo si se considera únicamente la conversión hacia agricultura, o si se valoran los efectos sobre biodiversidad y	Negativo si se considera conversión de CN hacia forestación. El secuestro de carbono evitado es menor cuando se considera cosecha forestal.	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios ecosistémicos del campo natural (hábitat, control de erosión del suelo, retención de nutrientes, regulación hídrica, servicios culturales)

		los servicios ecosistémicos del CN.	Positivo si se considera conversión de CN hacia tierras agrícolas. Considerando trayectorias de cambio de uso del suelo (BAU y Ftot), el efecto en 10 años es negativo.	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar efectos negativos sobre régimen hidrológico, paisaje y biodiversidad de transformación de CN hacia plantaciones forestales extensas. • Evitar potenciales efectos negativos sobre biodiversidad de conversión hacia agricultura.
Aumento de la fase de pasturas en rotaciones con cultivos (2020-2032)	Positivo Resultados sensibles a precios de cultivos e insumos.	Positivo Resultados sensibles a precios de cultivos e insumos.	Positivo, mayor cuando se aumenta la fase de pasturas de 33% al 50% (Sit. 1) que cuando se aumenta de 50% al 66% (Sit. 2). Emisiones abatidas en Sit. 1: entre 0,479 y 1,326 Emisiones abatidas en Sit. 2: entre 0,208 y 0,419	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor capacidad de almacenamiento de agua en suelo • Reducción del riesgo de erosión del suelo • Menor exportación de nutrientes a cursos de agua • Menor degradación de las propiedades químicas del suelo

Nota: (*) entre paréntesis se indica período de análisis de cada medida.

Fuente: elaboración propia

Referencias

- Aguirre, E. (2019). "Productividad ganadera de los establecimientos de carne bovina del Censo General Agropecuario". En: Anuario OPYPA 2019 (pp. 497-511). Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias. MGAP.
- Alarcón, S. & Islas, I. (2018). Línea base de emisiones y curvas de abatimiento. Carbon Trust-Mexico2-Grupo BMV. SEMARNAT-GIZ. Abril de 2018. <https://bit.ly/421iYKb>
- 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).
- Balian, C., Silva, M. E., Borges, M. (2018). "Análisis Costo-Beneficio del riego intermitente en el cultivo de arroz en Uruguay". En: Anuario OPYPA 2018. Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias. MGAP.
- Balmelli, G., Resquín, F., Simeto, S., González, M., Scoz, R., Brito, G., Rossi, C., Maranges, G. (2019). INIA SOMBRA: una alternativa para la protección del ganado y para la diversificación productiva. *Revista INIA - N° 56*. <https://bit.ly/3V31LxH>
- Banco Mundial (2017). Guidance note on shadow price of carbon in economic analysis. Shadow price of carbon in economic analysis: Cover note.
- Baraldo, J. D., Emmer, V., Costa, N. (2020). Impacto potencial de la Convocatoria Cuenca de Santa Lucía en la calidad del agua. <https://bit.ly/40CiVTR>
- Bartaburu, D., Becoña, G., & Casella (1999). Efecto de la sombra sobre el comportamiento animal de terneros holando y hereford en el periodo estival. Tesis de grado. Facultad de Agronomía, Universidad de la República.
- Bartaburu, D., Morales, H., Dieguez, F., Lizarralde, C., Quiñones, A., Pereira, M., Molina, C., Montes, E., Modernel, P., Taks, J., de Torres, F., Terra, R., Cruz, G., Astigarraga, L., & Picasso, V. (2013). "Sensibilidad y capacidad adaptativa de los agro-ecosistemas frente a los efectos del cambio climático". En: *Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay*. Compilado. <https://www.fao.org/3/au192s/au192s.pdf>
- 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.

- Bindritsch Aguiar, L. (2014). Análisis de la percepción de una población rural sobre los servicios ecosistémicos del pastizal. Facultad de Ciencias – Universidad de la República. Licenciatura en Ciencias Biológicas. Tesina de grado. Profundización en Ecología. Mayo 2014.
- 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>
- 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.
- 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
- Brazeiro, A., Haretche, F., & Toranza, C. (2018). Monitoreo de la sucesión secundaria en bosques parques talados: Aprendizajes para la restauración. RECIENTES AVANCES EN INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DEL BOSQUE NATIVO DE URUGUAY, Facultad de Ciencias, MGAP, BMEL. Montevideo. 101pp.
- 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.
- Carbon Pricing Leadership Coalition (2017). Report of the High-Level Commission on Carbon Pricing, Commission chairs: Stiglitz, J.E. and Stern, N., supported by World Bank Group, ADEME, French Ministry for the Ecological and Inclusive Transition. <https://bit.ly/3NsmuHM>
- Carrasco-Letelier, L., Eguren, G., Castiñeira, C., Parra, O., & Panario, D. (2004). Preliminary study of prairies forested with Eucalyptus sp. at the northwestern Uruguayan soils. Environmental pollution, 127(1), 49-55.
- Carvalho, P. C. F., Nabinger, C., Lemaire, G. & Genro, T. C. M. (2011). “Challenges and opportunities for livestock production in natural pastures: the case of Brazilian Pampa Biome,” in Proceedings. International Rangeland Congress, Rosario, Argentina. Diverse rangelands for a sustainable society: INTA, Asociación Argentina para el Manejo de Pastizales Naturales (Rosario), 9–15.
- Castagna, A. 2022. Informe Productos 2.4, 2.5 y 2.6. Consultoría para generar información para la implementación del plan de mejoras del Inventario Nacional

de Gases de Efecto Invernadero del Sector Agricultura, Silvicultura y Otros usos de la Tierra del INGEI de Uruguay. PNUD.

- 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.” En: Anuario OPYPA 2020. Oficina de Programación y Políticas Agropecuarias. MGAP.
- Céspedes-Payret, C., Bazzoni, B., Gutiérrez, O., & Panario, D. (2017). Soil organic carbon vs. bulk density following temperate grassland afforestation. *Environmental Processes*, 4(1), 75-92.
- Ciganda, V., Simón, C., Alecrim, F. Mariotta, J., Silva, L., Barolin, E., Vergara, H., Soulier, G. Quincke, A. 2022. Efecto mitigador de los sistemas de rotación con pasturas sobre las emisiones del gas de efecto invernadero óxido nitroso (N₂O). *Revista INIA*. 71. 48-53 pp.
- 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 Uruguay. Serie Técnica N° 135.
- Delgado, S., Alliaume, F., Préchac, F. G., & Hernández, J. (2006). Efecto de las plantaciones de Eucalyptus sp. sobre el recurso suelo en Uruguay: Parte II: suelos. *Agrociencia Uruguay*, 10(2), 95-107.
- DGF (2021). Cartografía Nacional Forestal 2021. Montevideo, Dirección General Forestal-MGAP. Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/Publicacion_dgf.pdf.
- DIEA (2020) Anuario estadístico agropecuario 2020. Montevideo, Dirección de Estadística Agropecuaria-MGAP.
- Dini Vilar, Y. (2018.). Estrategias de mitigación de la emisión de metano en vacunos de carne. Tesis de doctorado. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Veterinaria.
- Do Carmo, M., Genro, T. C., Cibils, A. F., & Soca, P. M. (2021). Herbage mass and allowance and animal genotype affect daily herbage intake, productivity, and efficiency of beef cows grazing native subtropical grassland. *Journal of Animal Science*, 99(10), skab279.
- Dogliotti, S., Piñeiro, G., Soca, P., Paparamborda, I., Scarlato, S. ... & Sánchez, A. (2022a). Informe de evaluación anual 2020-2021. Entregable 29. Proyecto Ganadería y Clima. MGAP-MA-FAO-GEF. Montevideo. Febrero 2022.

- 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.
- Duffield, T. F., Merrill, J. K., Bagg, R. N. (2012). Meta analysis of the effects of monensin in beef cattle on feed efficiency, body weight gain and dry matter intake *Journal of Animal Science*, 90:4583-4592.
- Dutta, T. K., Yadav, S. K., Chatterjee, A. (2019). *Indian Journal of Animal Health* 58(2-SPL):121. DOI:10.36062/ijah.58.2SPL.2019.121-136
- EUROCLIMA+ & FIIAPP (2021). Producto n° 2. Relevamiento de estudios y análisis de senderos. Escenarios futuros de remociones y emisiones de gases de efecto invernadero en materia de Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra. Uruguay. Programa EUROCLIMA+ de la Unión Europea. 13/9/2021.
- FAO & PNUD (2019). Guía de análisis costo beneficio. Aplicación para medidas de adaptación al cambio climático en el sector agropecuario en Uruguay. Montevideo. 163 pp.
- FAO (26 de junio, 2020). “Una capacitación diferente en Ganadería y Clima”. FAO Uruguay. <https://www.fao.org/uruguay/noticias/detail/es/c/1295600/>
- 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>
- Ferraz Junior, M. V. C. & Carvalho, P. H. V. (2022). Use of feed additives to improve feed efficiency and growth of feedlot cattle. *Latin American Archives of Animal Production* 30 (Supl. 1), 27-35. <https://doi.org/10.53588/alpa.300503>
- 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).
- Hernández, J., del Pino, A., Vance, E. D., Califra, Á., Del Giorgio, F., Martínez, L., & González-Barrios, P. (2016). Eucalyptus and Pinus stand density effects on soil carbon sequestration. *Forest Ecology and Management*, 368, 28-38.

- INAC (2021). Anuario Estadístico 2021. Instituto Nacional de Carnes.
https://www.inac.uy/innovaportal/file/21459/1/inac_anuario_2021.pdf
- INAC (2022). Precios de Ganado en Pie. <https://www.inac.uy/inac/diae/precio.html>
- INIA (2004). La invernada como sistema de producción de carne
<http://www.inia.org.uy/prado/2004/invernada.htm>
- INIA (2023). Simulador forestal INIA. INIA Forestal Uruguay.
<http://www.iniaforestaluy.com/sag2020/ingreso.aspx>
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- 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>
- 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”. En: Anuario OPYPA 2020 (563-573). Oficina de Programación y Política Agropecuaria. MGAP.
- 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>
- Martínez, J. A., Hernández, P. A., Mendoza G. D., Plata, F. X. (2017). Aditivos alimenticios en corrales de engorda. "Alimentación de ganado bovino con dietas altas en grano" ISBN: 978-607-28-1031-0.
- MGAP (19 de octubre de 2016). “Zonificación Cultivos de Verano de Secano”. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/zonificacion-cultivos-verano-secano>
- MGAP (2019). Ajuste de precios a partir de la primera encuesta de servicios forestales. Dirección General Forestal. https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/2020-02/actualizacion_2019.pdf
- MGAP (28 de febrero de 2020). “Carta de suelos de prioridad forestal”. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/politicas-y-gestion/carta-suelos-prioridad-forestal>
- MGAP (26 de mayo de 2021). “Actualización de Cobertura y Uso del Suelo del Uruguay al año 2020/2021”. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura->

pesca/comunicacion/noticias/actualizacion-cobertura-uso-del-suelo-del-uruguay-ano-20202021

MGAP-Estadísticas Agropecuarias (2021). Serie Precio de la Tierra: Arrendamientos 2021. 22 de junio de 2022. <https://bit.ly/446LbAT>

Modernel, P., Picasso, V., Do Carmo, M., Rossing, W. A. H., Corbeels, M., Soca, P., Dogliotti, S., & Tiftonell, P. (2019). Grazing management for more resilient mixed livestock farming systems on native grasslands of southern South America. *Grass and Forage Science*, 74(4), 636–649. <https://doi.org/10.1111/gfs.12445>

Modernel, P., Rossing, W. A. H., Corbeels, M., Dogliotti, S., Picasso, V., & Tiftonell, 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>

Nabinger, C. & Jacques, A. V. A. (2019). A questão da pecuária em campo nativo do bioma Pampa: contexto geral. In: Carvalho, P.C.F., Wallau, M.O., Bremm, C., Bonnet, O., Da Trindade, J.K., Rosa, F.Q., Freitas, T.S., Moojen, F. G., Nabinger, C. (Eds.) *Nativão: + de 30 anos de pesquisa em campo nativo*. Editora de Livros Ltda., Porto Alegre: Seção 1. p.1-6.

OPYPA (2022). Memo MGAP sobre medidas para contribuir al logro de las metas a 2025 de la CDN y al indicador global de emisiones del BIICC. Documento interno sin publicar. Montevideo. Agosto 2022.

Orcasberro, S., Astigarraga, L., Kohmann, M. M., Modernel, P., & Picasso, V. D. (2022). Ecological intensification in grasslands for resilience and ecosystem services: The case of beef production systems on the Campos Grasslands of South America. *Creating Resilient Landscapes in an Era of Climate Change: Global Case Studies and Real-World Solutions*, 94–115. <https://doi.org/10.4324/9781003266440-7>

Orcasberro Varela, M. (2018.). Emisiones de metano y consumo de vacas de primera cría bajo dos ofertas de campo natural. Tesis de maestría. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía.

Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K., & Wagner, F. (Eds.). (2003). *Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*.

IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf.htm>

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>
- 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.
- Quincke, A., Ciganda, V., Sawchik, J., Fernández, E., Hirigoyen, D., Sotelo, D., Restaino, E., Lapetina, J. (2019). Rotaciones cultivos pasturas INIA La Estanzuela. *Revista INIA - N° 59*, 46-60. <https://bit.ly/3Xu7WvF>
- Raghunath, B & Punnagaiarasi, A & G., Rajarajan & A., Irshad & Elango, A & Mahesh, G. (2016). Impact of Dairy Effluent on Environment—A Review. 10.1007/978-3-319-27228-3_22.
- República Oriental del Uruguay (2022). Segunda Contribución Determinada a nivel Nacional al Acuerdo de París. Diciembre de 2022. <https://bit.ly/3ozYXf4>
- Román, N., Jones, C., Bervejillo, J., Piperno, P., Adam, L. (2022). “Cálculo de la huella de carbono de la carne vacuna faenada con datos de trazabilidad individual”. En: Anuario OPYPA 2022. Oficina de Programación y Política Agropecuaria. MGAP.
- Rosas, J. F., Arbolea, I., Carriquiry, M. A., Licandro, H., Millán, J., & Picasso, V. (2013). “Estudio sobre políticas públicas y evaluación de medidas de adaptación del sector agropecuario al cambio climático”. En: Clima de cambios: nuevos desafíos de adaptación en Uruguay. Compilado. FAO-MGAP. <https://www.fao.org/3/au192s/au192s.pdf>
- Rosas, J. F. (2018). “Consultoría implementación de un análisis costo-beneficio de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (CDN) de Uruguay”. Contractual de Productos y Servicios Externos (PEC). Producto 5: Informe Final. WSA/CUR.
- Rovira, P., La Manna, A. & Tiscornia, G. (2023). Uso de la sombra como herramienta de mitigación del riesgo de estrés calórico en sistemas de producción animal. En: Aportes científicos y tecnológicos del INIA a las trayectorias agroecológicas. 441-467.
- 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., Tiftonell, 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>
- Sena, G. (2021). “Análisis Costo-Beneficio de sistemas de gestión de efluente con descarga cero en tambos”. En: Anuario OPYPA 2021. Oficina de Programación y Política Agropecuaria. MGAP.
- 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>
- SNIP (2014). Precios sociales y pautas técnicas para la evaluación socioeconómica. Sistema Nacional de Inversión Pública. Oficina de Planeamiento y Presupuesto.
- SNRCC (2021). Estrategia Climática de Largo Plazo Uruguay: para un desarrollo bajo en emisiones de gases de efecto invernadero y resiliente al clima. Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático. Uruguay. Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2021-12/Estrategia_Clim%C3%A1tica_de_Largo_Plazo_Uruguay%202021.pdf
- Soares de Lima, F, Pereira Machin, M. (2022). Estado de conocimiento sobre los beneficios del bosque nativo y las especies nativas sobre la producción ganadera. En: Oportunidades y desafíos del uso de los bosques nativos integrados a la producción ganadera de Uruguay. Serie Técnica 261. INIA. 103p.
- Tarigo, F. (2008). Propiedades físicas y mecánicas de *Eucalyptus tereticornis*. En: Jornada Técnica “Eucaliptos Colorados: mejoramiento genético, propiedades y uso de la madera”. INIA Serie Actividades de Difusión. Montevideo, Uruguay. p 1-8. Disponible en: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2327/1/14432031208093638.pdf>
- Tittonell, P. (2021). Beyond CO2: Multiple Ecosystem Services From Ecologically Intensive Grazing Landscapes of South America. In *Frontiers in Sustainable Food Systems* (Vol. 5). Frontiers Media S.A. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.664103>
- Troncoso, C. (2019). Análisis costo beneficio de las medidas propuestas en la Primera Contribución Determinada a nivel Nacional de Uruguay para la mejora de la gestión de los recursos hídricos. Producto 4: Informe final.
- Uruguay. 2022. República Oriental del Uruguay: Segunda Contribución Determinada a nivel Nacional al Acuerdo París. 94pp. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/noticias/2022.12.29%20-%20Segunda%20CDN%20%2B%20Segunda%20ComAd%20%28Uruguay%29.pdf>

Viñas, M. y Gutiérrez, S. 2006. Estimación de los parámetros nacionales y básicos para el procesamiento y utilización de los residuos sólidos y líquidos de tambos. Proyecto INIA_FPTA n° 138.

Anexos

Anexo 1. Campo natural en áreas de prioridad forestal y aptitud agrícola y renta de la tierra de algunos rubros agropecuarios por departamento

Departamento		Clase						Renta			
N	Nombre	Aptitud agrícola		Prioridad forestal		Aptitud agrícola y prioridad forestal		Ganadería	Agricultura seco	Forestación	Agrícola /Ganadero
1	Artigas	17.334	3%	19.189	1%		0%	69	65	164*	93
2	Canelones	2.489	0%	1.490	0%		0%	82	202	164*	104
3	Cerro Largo	54.279	8%	355.448	15%		0%	69	113	164*	100
4	Colonia	17.794	3%	3.730	0%	347	1%	70	275	193	114
5	Durazno	54.669	9%	205.931	9%	16.300	34%	77	158	165	118
6	Flores	48.578	8%	27.845	1%		0%	81	195	171	165
7	Florida	82.657	13%	123.966	5%	320	1%	75	165	172	137
8	Lavalleja	44.561	7%	440.453	19%	1	0%	75	193	159	128
9	Maldonado	18.546	3%	156.526	7%		0%	61	138	164*	141
10	Montevideo	43	0%	50	0%		0%	s/d	s/d	164*	s/d
11	Paysandú	42.986	7%	55.542	2%	8.083	17%	63	180	149	100
12	Río Negro	46.270	7%	69.905	3%	14.314	30%	62	248	173	117
13	Rivera	12.630	2%	194.159	8%		0%	65	378	120	60
14	Rocha	35.809	6%	126.438	5%		0%	68	182	164*	61
15	Salto	6.149	1%	15.104	1%		0%	67	187	164*	106
16	San José	21.316	3%	4.633	0%		0%	89	247	164*	156
17	Soriano	41.145	6%	31.551	1%	8.126	17%	72	254	189	202
18	Tacuarembó	81.615	13%	188.622	8%		0%	61	132	170	107
19	Treinta y Tres	10.749	2%	359.966	15%		0%	64	70	164*	75

Total área CN con aptitud agrícola = 639.620 ha

Total área CN con prioridad forestal = 2.380.547 ha

Total área CN con aptitud agrícola y prioridad forestal = 47.491 ha

Nota: (*) Se asigna renta promedio nacional de 2020 para los departamentos que no tienen dato publicado.

Fuente: elaboración propia con base en "Precio de la Tierra" de MGAP-Estadísticas Agropecuarias (2020)

Anexo 2. Flujo de fondos de rotaciones cultivo-pasturas A, B y C

Rotación A

	1	2	3	4	5	6	(...)	12
Cultivo 1	Pastura	Sorgo 1 ^a	Trigo	Pastura	Sorgo 1 ^a	Trigo		Trigo
Cultivo 2			Soja 2 ^a			Soja 2 ^a		Soja 2 ^a
Cultivo 1								
Costo total	284	630	1.091	284	630	1.091		1.091
Ingreso total	777	1.190	1.485	777	1.190	1.485		1.485
Precio (US\$/ton)	2.660	170	330	2.660	170	330		330
Rendimiento (ton/ha)	0,3	7,0	4,5	0,3	7,0	4,5		4,5
Margen bruto	493	560	394	493	560	394		394
Cultivo 2								
Costo total			690			690		690
Ingreso total			1.300			1.300		1.300
Precio (US\$/ton)			500			500		500
Rendimiento (ton/ha)			2,6			2,6		2,6
Margen bruto			610			610		610
Margen bruto total	493	560	1.004	493	560	1.004		1.004
MB descontado	493	521	869	397	419	699		453
VPN (US\$/ha)	5.599							

Rotación B

	1	2	3	4	5	6	(...)	12
Cultivo 1	Maíz 1 ^a	Cebada	Trigo	Pastura	Pastura	Pastura		Pastura
Cultivo 2		Sorgo 2 ^a	Soja 2 ^a					
Cultivo 1								
Costo total	1.144	1.096	1.091	319	319	319		319
Ingreso total	2.290	1.803	1.700	777	777	777		777
Precio (US\$/ton)	250	350	330	2.660	2.660	2.660		2.660
Rendimiento (ton/ha)	9,2	5,2	5,2	0,3	0,3	0,3		0,3
Margen bruto	1.146	707	609	458	458	458		458
Cultivo 2								
Costo total		661	690					
Ingreso total		1.070	1.488					
Precio (US\$/ton)		170	500					
Rendimiento (ton/ha)		6,3	3,0					
Margen bruto		409	798					
Margen bruto total	1.146	1.117	1.407	458	458	458		458
MB descontado	1.146	1.039	1.218	368	343	319		207
VPN (US\$/ha)	7.304							

Rotación C

	1	2	3	4	5	6	(...)	12
	Maíz 1 ^a	Pastura	Sorgo 1 ^a	Pastura	Pastura	Pastura		Pastura
Costo total	1.144	284	630	319	319	319		319
Ingreso total	2.562	777	1.525	777	777	777		777
Precio (US\$/ton)	250	2.660	170	2.660	2.660	2.660		2.660
Rendimiento (ton/ha)	10,2	0,3	9,0	0,292	0,3	0,3		0,3
Margen bruto	1.418	493	895	458	458	458		458
MB descontado	1.418	458	774	368	343	319		207
VPN (US\$/ha)	6.066							