

HUELLA AMBIENTAL

Estimación del desempeño ambiental y económico de 5 establecimientos de Vaquería del Este



HERRAMIENTA AMBIENTAL VAQUERÍA DEL ESTE

Realizado por

Laura Astigarraga, Francisco Diéguez,

Agustin Inthamoussu y Fabián Varela



Febrero 2024

Tabla de contenido

Resumen ejecutivo	4
1 INTRODUCCIÓN	6
2 OBJETIVOS	6
2.1 Metodología	7
2.2 Supuestos y métodos	7
2.3 Desarrollo del Software.....	14
3 CARACTERISTICAS DE LOS 5 ESTABLECIMIENTOS ANALIZADOS.....	15
3.1 Descripción de los sistemas de producción	15
3.2 Uso del suelo	16
3.3 Stock animal	17
3.4 Productividad	18
4 CALCULO E INTERPRETACION DE LOS INDICADORES AMBIENTALES Y ECONÓMICOS.....	18
4.1 Emisión de gases de efecto invernadero (GEI) e intensidad de emisiones .	18
4.2 Balance de nutrientes	21
4.3 Potencial eutrofización y potencial de ecotoxicidad del agua dulce	23
4.4 Energía fósil	23
4.5 Indicador Económico.....	24
5. RESULTADOS DEL CONJUNTO DEL SISTEMA PRODUCTIVO.....	24
6. CONCLUSIÓN.....	27
7. BIBLIOGRAFÍA.....	29

Resumen ejecutivo

Vaquería del Este (Vaquería) es una asociación de productores ganaderos de la zona este del Uruguay que se dedica a la crianza y comercialización de ganado de carne, tanto para el mercado interno como para exportación¹. El objetivo principal de la agrupación es producir carne de calidad para el negocio ganadero sin descuidar el medioambiente. Dicho objetivo lo cumplen a través del desarrollo de una ganadería natural, a cielo abierto y pastoril en concordancia con las demandas del mercado.

Vaquería del Este se encuentra presente mayoritariamente en los departamentos del este del Uruguay. Dentro de estos departamentos, un total de 50 establecimientos ganaderos, agrícolas/ganaderos forman parte de la agrupación, los cuales manejan un total de 73.500 cabezas de ganado distribuidas en 88.000 hectáreas (aproximadamente).

El presente informe contiene los datos, supuestos, resultados y análisis de la Huella Ambiental de 5 establecimientos de Vaquería del Este. Los resultados corresponden al ejercicio 1 de julio del 2020 al 30 de junio del 2021.

Los resultados consideran las variables de análisis ambiental que han sido incluidas en la herramienta de evaluación ambiental desarrollada para Vaquería del Este que aborda la diversidad de sistemas y sus combinaciones (ej.: ganaderos puros, corrales engorde, ganadero-agrícolas). La herramienta ha sido llevada a un formato de herramienta web o software para que los productores puedan establecer una línea base del desempeño ambiental y en el mediano plazo seguir monitoreando como las decisiones que se toman contribuyen a una reducción del impacto ambiental y sus implicancias en el resultado económico.

Para llevar adelante el estudio, se realizó una descripción integral de los sistemas a través de la recopilación de un conjunto de datos relacionados a la actividad en los subsistemas ganaderos, agrícolas y forestación. Luego, a través del análisis de los datos, se calcularon indicadores ambientales utilizando la metodología de análisis del ciclo de vida de cada actividad. Además, se calculó una estimación de resultado económico, utilizando una aproximación al margen bruto de cada actividad (producción valorada menos costos variables, sin incluir mano de obra asignable a la actividad).

La descripción integral de un sistema a través de variables de distintas dimensiones y bajo la metodología de análisis del ciclo de vida de la cadena ganadera no solo brinda información sobre el impacto de la misma en el ambiente, sino que conforman una herramienta de gestión que permite abordar el ciclo de mejora continua en los procesos de certificación.

Los resultados de este estudio indican claramente que la emisión de GEI en sistemas ganaderos está asociada a la dotación animal y a la productividad del sistema, donde aquellos establecimientos que son más eficientes en producción de carne por hectárea son los que presentan menor intensidad de emisiones. En el caso de los sistemas con agricultura, el factor que más influye en las emisiones GEI es la cantidad de insumos utilizados y la intensificación

¹ <https://vaqueriadeleste.com/>

productiva. Asociado a esta dimensión ambiental, durante el proyecto se evaluó las posibilidades de secuestro de carbono de los distintos sistemas, ya sea por áreas de pasturas naturales, ya sea por la incorporación de área forestada. El secuestro de carbono es un aspecto que genera gran atención por la posibilidad de neutralizar las emisiones del sistema. Si bien es un indicador en el cual existe incertidumbre en la estimación debido a que aún existen brecha de información, se puede evidenciar en algunos casos, el potencial que existe para neutralizar una alta proporción de las emisiones GEI.

En relación con los balances de nutrientes, ya sea en ganadería como agricultura, la relación entre producción y la incorporación de insumos es un aspecto clave. La diferencia en fósforo (P) refiere al agregado de fertilizantes que permita sustentar la extracción a través del producto (ganadería y/o agricultura). En el caso del nitrógeno (N), si bien el agregado de fertilizante influye, la incorporación de leguminosas en las pasturas es clave en la incorporación de este nutriente a través de la fijación biológica, sumado a sus implicancias en la mejora de la calidad de la dieta.

El uso de energía fósil tiene una relación directa con el uso de combustibles, pero también se computa por el uso de una alta cantidad de insumos asociada al procesamiento de los mismos, como suplementos, fertilizantes, etc. Al igual que en el caso de otras variables ambientales, las prácticas de manejo que repercuten directamente en un aumento de productividad resultarán en una menor intensidad en el uso de energía fósil por unidad de producto.

Con respecto a la biodiversidad a escala predial, se observa que en todos los casos (excepto el caso analizado como engorde a corral) es relativamente alta, debido a la alta proporción de campo natural y mejoramientos de campo en el total de la superficie, así como otras zonas inalteradas como bañados y áreas de monte nativo. Si bien no existe un umbral establecido de biodiversidad, cuanto menor es el valor (se toma base 100 a las áreas menos alteradas como campo natural), menor será la biodiversidad del sistema tal cual ha sido definido este indicador. Las áreas sembradas con especies anuales (verdeos) y los montes artificiales, reducen el indicador debido a la alteración del ecosistema base y a su escasa biodiversidad.

En síntesis, este trabajo permite a los productores socios de Vaquería conocer calcular y analizar el desempeño ambiental del sistema productivo y su relación con indicadores económicos. La incorporación en la gestión de los establecimientos de una herramienta de evaluación ambiental permitirá que cada productor pueda evaluar su situación inicial, y cómo influyen algunas medidas de manejo sobre las principales variables ambientales. Este proceso permite abordar un ciclo de mejora continua y la preparación necesaria para transitar los procesos de certificación hacia un desarrollo sustentable de la producción agropecuaria.

1 INTRODUCCIÓN

La actividad ganadera ha sido foco en los últimos años como factor determinante del cambio climático; razón por la cual el indicador de la huella de carbono se ha empleado como indicador de sustentabilidad. Sin embargo, un abordaje integral es necesario para evaluar la sustentabilidad de dicho sistema productivo.

En esa línea el concepto de huella ambiental (HA) abarca diversos indicadores del ciclo de vida del sistema lo que permite no solo cuantificar los impactos de la actividad, sino que también poder identificar las vías de mejora.

La HA como herramienta en la toma de decisiones de los establecimientos ganaderos brinda un agregado de valor en el producto que contribuye además a la concientización de prácticas más sostenibles, permitiendo también a los consumidores la elección de productos en base al impacto sobre el ambiente.

En el caso de establecimientos rurales se realiza inicialmente un Análisis de Ciclo de Vida del producto (desde la adquisición de las materias primas hasta la portera del establecimiento) y posteriormente se identifican las fuentes de contaminación para cada indicador ambiental calculado. En el caso de la huella de carbono por ejemplo se tienen en consideración todas las emisiones de GEI que se originan, directa o indirectamente, durante el proceso de producción en un determinado período (1 año).

La creciente concientización de consumidores en países industrializados sobre el impacto del cambio climático ha derivado en la aparición de nichos de mercado dispuestos a pagar un valor diferencial por productos que presentan información de la huella de carbono así como valores de otras variables ambientales.

Vaquería del Este ha decidido iniciar este proceso de mejora continua del desempeño ambiental asociado a la producción agropecuaria. Esta consultoría tiene como objetivo principal el desarrollo de una herramienta de evaluación que deriva además en la creación de un software, para ser utilizado por todos sus socios. El equipo de trabajo constituido para este propósito estuvo integrado por la Ing. Agr. (Dra.) Laura Astigarraga (Facultad de Agronomía), el Ing. Agr. (Dr.) Francisco Dieguez (Facultad de Veterinaria), el Ing. Agr. (MBA) Agustín Inthamoussu (CLIMIT, Consultor en Cambio Climático) y el Ing. Agr. (MSc) Fabian Varela (Consultor, Desarrollador del Software).

2 OBJETIVOS

El objetivo del presente informe es analizar la huella ambiental de establecimientos que integran la asociación Vaquería del Este, calculados a partir de un conjunto de indicadores ambientales y el diseño de un software para el cálculo de los mismos. Los indicadores ambientales analizados, ya sea por unidad de superficie (ha) o por unidad de producto (kg o ton), son:

1. Eficiencia en el uso de los recursos
 - a. Uso de energía fósil (MJ)
 - b. Uso de nutrientes (nitrógeno [N] y fósforo [P]) y balance de nutrientes

2. Impactos ambientales

- a. Gases de efecto invernadero con o sin secuestro de carbono en el cálculo
- b. Potencial de eutrofización del agua (kgPO₄-eq)
- c. Potencial de ecotoxicidad del agua dulce (UTCe)
- d. Índice de biodiversidad

Los indicadores son analizados para la actividad ganadera y finalmente para la totalidad del sistema productivo que abarca además de la ganadería, la agricultura y la forestación

2.1 Metodología

Los indicadores ambientales se presentan además en relación con las variables productivas (producción de carne, la cantidad de cabezas de ganado, eficiencia de producción) y con variables de resultado económico. De esta manera, en base a esta serie de indicadores técnico-productivos y económicos, es posible comparar y relacionar desempeño ambiental en conjunto con el desempeño productivo y económico.

2.2 Supuestos y métodos

2.2.1 Emisiones de Gases Efecto Invernadero

Para la estimación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) fueron empleadas las “Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero”, junto con el refinamiento de las guías (2019) y la “Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura” (2003).

En el balance GEI son considerados los tres principales gases de efecto invernadero:

- dióxido de carbono (CO₂)
- metano (CH₄)
- óxido nitroso (N₂O).

El resultado se presenta como dióxido de carbono equivalente según el potencial de calentamiento de cada gas, utilizando los coeficientes de IPCC AR5 (2014):

$$\text{CO}_2\text{eq (kg)} = 1 \text{ CO}_2 + 28 \text{ CH}_4 + 265 \text{ N}_2\text{O}$$

Las emisiones de estos gases corresponden al funcionamiento del establecimiento en cuanto a combustible fósil para la maquinaria y camionetas, las emisiones provenientes del uso de la energía eléctrica y el uso de fertilizantes. También se estima las emisiones relacionadas a los animales como son las emisiones de fermentación entérica, manejo de estiércol de los animales y además las emisiones por parte de la suplementación animal. Por el otro lado, también se estima los sumideros de carbono, como son las superficies destinadas a la forestación de bosques artificiales y de pasturas, los cuales retienen carbono atmosférico a través de sus diferentes pools de carbono (biomasa aérea y subterránea, mantillo, carbono orgánico del suelo y madera muerta).

Los tipos de datos colectados se clasifican en:

- Datos de actividad (o datos primarios): refiere a los ítems involucrados en el análisis del ciclo de vida para el cálculo

- Factores de emisión (o datos secundarios): emisiones GEI emitidos por unidad de producto utilizado (establecidos en los datos de actividad).

La estimación de las emisiones consiste en el producto de la extensión de la actividad y un coeficiente que la relaciona con la cantidad de compuesto químico que constituye la fuente de emisión; lo que se conoce como Dato de Actividad (DA) y Factor de Emisión (FE) respectivamente.

De acuerdo con los niveles de complejidad establecida por las Guías del IPCC para la estimación de las emisiones y en base a la información disponible para el cálculo se procedió a utilizar el enfoque Tier- 2².

En el caso del secuestro de carbono, el cálculo también se basa en las metodologías propuestas por el IPCC (2006), en el cual se cuantifican absorciones de CO₂ ya sea a través de cambios en las existencias de carbono en biomasa para el caso forestal basada en datos de acumulación para distintas variedades a nivel nacional. En el caso de forestaciones de macizo forestal ya sea para celulosa o aserradero, los supuestos de captura de carbono son:

- ✓ Eucalyptus grandis 28 tCO₂/ha/año,
- ✓ E. globulus y dunnii 25 tCO₂/ha/año,
- ✓ Pino 20 tCO₂/ha/año
- ✓ Silvopastoreo 11 tCO₂/ha/año.
- ✓ Monte nativo se asume que es un área que está en equilibrio de carbono (no emite ni captura en términos netos) y por tanto no se toma en cuenta en estos cálculos.

Por otro lado, en la herramienta se cuantifica de forma opcional la que se produce en el suelo en áreas de pasturas naturales, en este último caso se trata del primer valor nacional:

⇒ el modelo (software) permite realizar una simulación asumiendo un secuestro de 660 kg CO₂eq/ha/año (Bazzoni y Piñeyro, sin publicar)

Los datos de Actividad provistos por los registros de los productores de cada establecimiento se detallan a continuación:

- Uso actual e histórico de la tierra
- Prácticas actuales de gestión de la tierra,
- Número de animales bovinos y ovinos y sus características,
- Consumo de alimento de los animales,
- Sistemas de manejo del estiércol producido,
- Cantidad de combustibles fósiles utilizados
- Cantidad de electricidad consumida,
- Superficie destinada a la forestación

² Según las recomendaciones del IPCC (2006) se establecen 3 Niveles (o Tier en inglés) de estimaciones para las emisiones GEI, lo que representa tres niveles de complejidad metodológica. El Nivel 2, es el intermedio, sin embargo algunos investigadores denominan a los niveles 2 y 3, métodos de nivel superior y se los suele considerar más exactos. En el Nivel 2 se utiliza una mayor cantidad de parámetros y datos nacionales para estimar factores de emisión locales, combinado con datos de actividad propios del sistema.

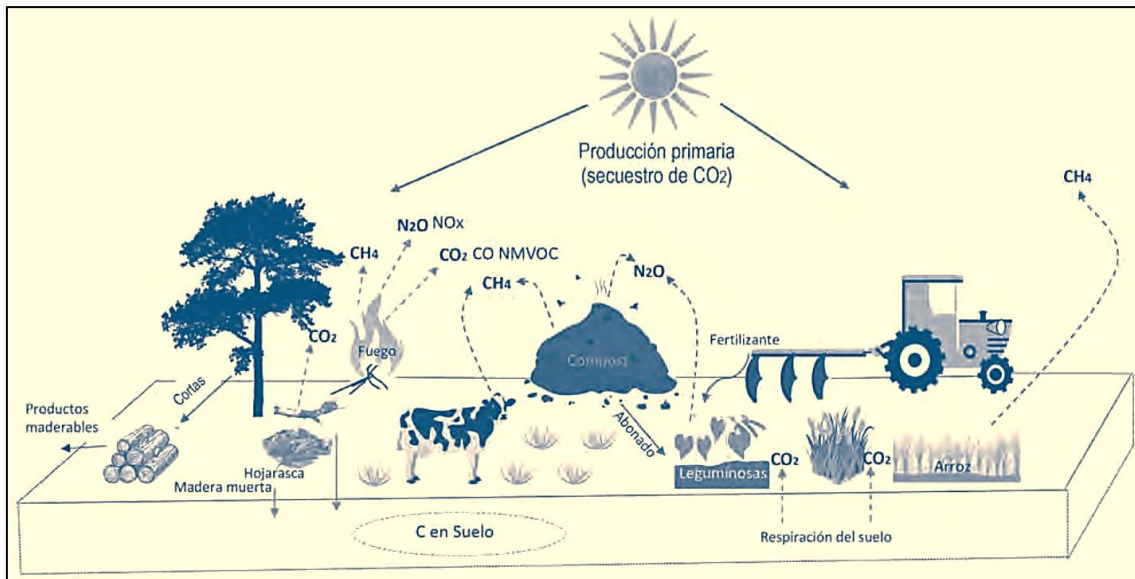


Figura 1. Principales emisiones y secuestro de gases de efecto invernadero en ecosistemas manejados (Sanz-Sánchez y Ruiz-Urriarte, 2020)

2.2.2 Balance de nutrientes

El balance de nutrientes es un indicador de manejo de nutrientes a los efectos de poder cuantificar de forma adecuada su manejo, eficiencia de utilización e impacto potencial en sistemas productivos sobre el medio ambiente. El balance de nutrientes considera tanto el nitrógeno (N) como el fósforo (P) por tratarse de fuentes de potenciales problemas de eutrofización del agua.

Se estima para cada sistema según la metodología propuesta por Koelsch y Lesoin (1999), como la diferencia de nutrientes que ingresan y que egresan de un sistema productivo definido en el espacio y el tiempo (kg / ha / año):

$$\text{Balance} = \sum \text{ingresos} - \sum \text{salidas}$$

Resultados neutros indican una situación ideal, donde la extracción de los nutrientes del suelo (efectuado por los cultivos por medio de las cosechas) es compensada por fertilización química o mecanismos biológicos (como la fijación biológica de N) o naturales (como la incorporación de N atmosférico). Resultados negativos, señalan empobrecimiento de nutrientes en el suelo a largo plazo, que indican la posibilidad de un suelo menos fértil en el largo plazo de mantenerse el mismo modelo productivo. Por último, resultados positivos, indica un exceso de nutrientes libres de los que el suelo o las plantas pueden absorber. Si bien nutrientes no móviles pueden promover una reconstrucción de la fertilidad edáfica en suelos empobrecidos; existe evidencia que nutrientes móviles se encuentran relacionados con la contaminación difusa de cursos de aguas superficiales (potencial de eutrofización).

El balance de nutrientes de un predio agropecuario se encuentra compuesto por grandes entradas y salidas través de diferentes prácticas de manejo (figura 2).

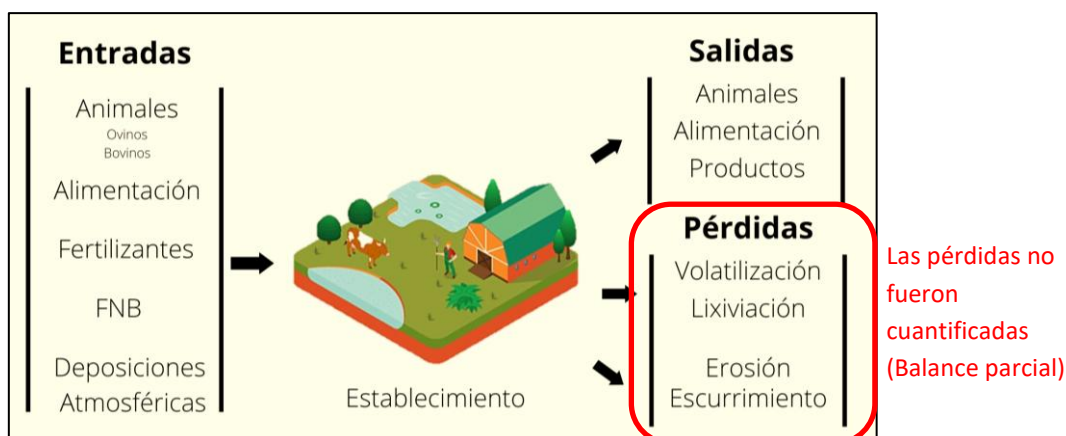


Figura 2. Entradas y salidas de Nutrientes de un establecimiento

Entradas (se entiende por entradas, cualquier tipo de entrada de N y/o P al sistema):

- Compra de vacunos:

La presencia de vacunos en el establecimiento genera entradas de nitrógeno y fósforo por la proporción de estos en los tejidos (músculo principalmente), la excreta heces (bosta) y orina. La bosta como la orina están compuestos por diferentes componentes de la digestión del animal, de los cuales se pueden identificar el fósforo y nitrógeno. Estos, son depositados en el suelo del establecimiento, donde sufrirán de escurrimiento, volatilización y lixiviación.

Por lo tanto, la presencia de vacunos en el establecimiento implica entrada de nitrógeno y fósforo al sistema.

- Compra de ovinos:

Ver en “compra de vacunos”

- Deposiciones atmosféricas

Ingreso de N al ecosistema a través de la deposición de compuestos nitrogenados de la atmósfera. Incluyen únicamente la deposición de elementos en forma soluble que se pueden depositar disueltos en el agua de lluvia o por su propio peso.

- Fertilizantes

El uso de fertilizante es de suma importancia para la producción ganadera, ya que los mismos ayudan a aumentar la producción de materia seca por hectárea de las pasturas que serán cosechadas por animales. Sin embargo, estos fertilizantes generan una entrada de N y P al sistema ya que una vez que son utilizados en las pasturas del predio pueden ser consumidos por los animales, o sufren de volatilización, lixiviación y escurrimiento, lo cual genera un balance positivo en las entradas.

- Alimentos

La compra de alimento o suplementos que contienen N y P implica una entrada en el sistema.

- Fijación biológica de nitrógeno

La fijación biológica de nitrógeno (FBN) es la reducción de N_2 atmosférico a moléculas de NH_4 , lo que permite ser absorbido por organismos o plantas. Los organismos encargados de fijar el N_2 son bacterias, las cuales se pueden encontrar de forma libre o en simbiosis con especies vegetales, como son las leguminosas. Los campos en Uruguay presentan leguminosas, en las cuales se presentan las bacterias encargadas de realizar la FBN. De esta manera, a través de la FBN se genera una entrada de N al sistema.

Salidas parciales (se entiende por salidas parciales cuando se retira parte de una entrada de nitrógeno y fósforo del sistema):

Cuando se realizan ventas de ganado vacuno u ovino, se retira parte del ganado y consigo nutrientes que salen convertidos en tejidos, lo que implica una disminución en el balance de N y P. De esta manera la venta es considerada como salida parcial de nutrientes del sistema:

- Venta de vacunos
- Venta de ovinos
- Venta de lana

En el caso de la agricultura, una vez cosechado el grano de la planta, esto representa una salida del sistema bajo proteína en el caso de N y P.

2.2.3 Potencial de eutrofización y potencial de ecotoxicidad del agua dulce

Potencial de eutrofización del agua dulce

La eutrofización se refiere al aporte en exceso de nutrientes inorgánicos (procedentes de actividades humanas), principalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P), en un ecosistema acuático, produciendo una proliferación de algas y provocando efectos adversos en los cursos de agua. La proliferación de algas provoca un enturbiamiento del agua que impide que la luz penetre hasta el fondo del ecosistema. A consecuencia de ello, la vegetación no puede realizar la fotosíntesis y muere, generando que otros microorganismos, como cianobacterias, se alimenten de la materia muerta, consumiendo el oxígeno que necesitaban peces y moluscos, y a la vez generar algas tóxicas y microorganismos patógenos.

El Potencial de Eutrofización Acuático considera las pérdidas de N y P del sistema, la estimación incluye la cantidad de nutriente excedente multiplicada por un factor de caracterización de esa sustancia. Los factores de caracterización para N y P se obtuvieron de la metodología IMPACT 2002+. La expresión del grado en que los nutrientes emitidos alcanzan el compartimiento final de agua dulce (fósforo considerado como factor limitante en el agua dulce), se expresa en la unidad $\text{kgPO}_4\text{-eq /ha}$.

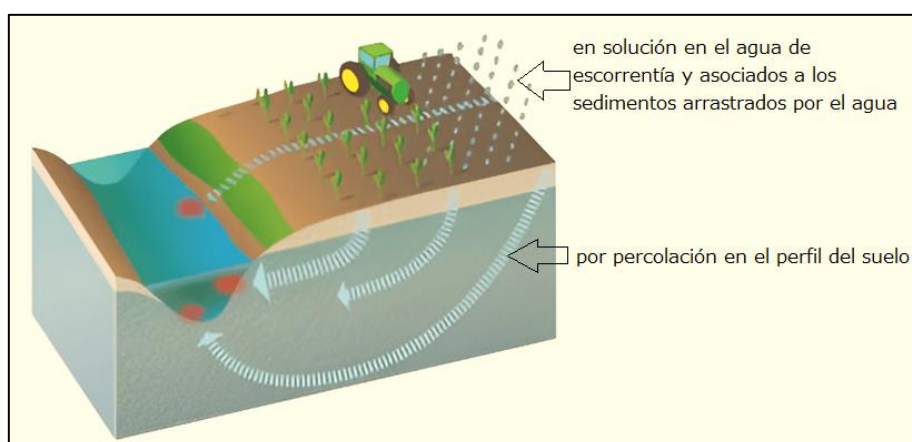


Figura 3. Diagrama de como los nutrientes y otros agroquímicos llegan a las fuentes de agua

Potencial de Ecotoxicidad del agua dulce

El medio acuático frecuentemente recibe las consecuencias de las actividades antrópicas, entre ellas la actividad agropecuaria. En los efluentes se encuentran una serie de sustancias contaminantes, tanto orgánicas como inorgánicas. Para analizar el potencial de ecotoxicidad del agua dulce asociada a las características de determinado sistema de producción se utiliza el Modelo USEtox (Rosenbaum et al. 2008). El método estima la disminución de biodiversidad de ecosistemas de agua dulce debido a la presencia de contaminantes en el agua desde emisiones directas o emisiones al aire o al suelo; en este caso se considera al agua como último destino del contaminante. Los impactos hacia la calidad de los ecosistemas acuáticos son expresados en $\text{PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{año}$ fracción de especies potencialmente desaparecidas (en inglés potentially disappeared fraction of species, PAF) por m^3 por año) y representan la fracción de especies desaparecidas en un metro cubico de agua dulce en un año. Por ejemplo un producto agrotóxico que tiene $0,2 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{año} / \text{kg IA}$, significa la pérdida potencial del 20% de especies en un metro cubico de agua durante un año por cada unidad (kg) de ingrediente activo (IA) de producto o, en otras palabras, 0,2 metros cúbicos con una desaparición del 100% de especies durante un año (Humbert et al. 2012).

La Unidad Tóxica Comparativa para ecosistemas (UTCe) expresa la estimación de la fracción de especies potencialmente afectadas (PAF) por volumen y por año, según la cantidad de Ingrediente Activo del producto utilizado ($\text{PAF m}^3 \text{ año} / \text{kg IA}$).

El Potencial de Ecotoxicidad en agua se calcula de acuerdo con la ecuación:

$$\text{ICI (UTCe /ha)} = \sum (\text{S} \times \text{CF} \times \text{Factor Emisión})$$

donde: ICI es el indicador de categoría de impacto por unidad de superficie; S: corresponde a la dosis en $\text{kg IA} / \text{ha}$ de cada herbicida utilizado; y CF: corresponde al factor de caracterización, que representa la fracción de especies potencialmente afectadas por metro cúbico en un día y por unidad de IA emitido (obtenidos según metodología USEtox, www.usetox.org), y el Factor de Emisión que corresponde a la estimación del producto que llega al compartimento agua. Se utilizó un enfoque simplificado: 90% de la cantidad aplicada (g IA) se emite al suelo, 9% de la cantidad aplicada (g IA) se emite al aire y 1% de la cantidad aplicada (g IA.) se emite al agua (PEFCR 2018, citado por Dorca-Preda et al. 2022)

2.2.4 Energía fósil

Los combustibles fósiles juegan un papel importante en las actividades agropecuarias como también en la producción de fertilizantes, agroquímicos y alimento concentrado.

El uso de energía fósil es un indicador de sostenibilidad del sistema ya que cuantifica la mayor o menor dependencia del proceso productivo de un recurso no renovable.

Los consumos de energía fósil, expresados en $\text{MJ} / \text{ha} / \text{año}$, provienen de (figura 4):

- Consumos de combustibles
- Consumos para la producción y transporte de agroquímicos
- Consumos para la producción y transporte de fertilizantes
- Consumos para la producción y transporte de suplementos alimenticios
- Consumos de electricidad a partir de combustibles

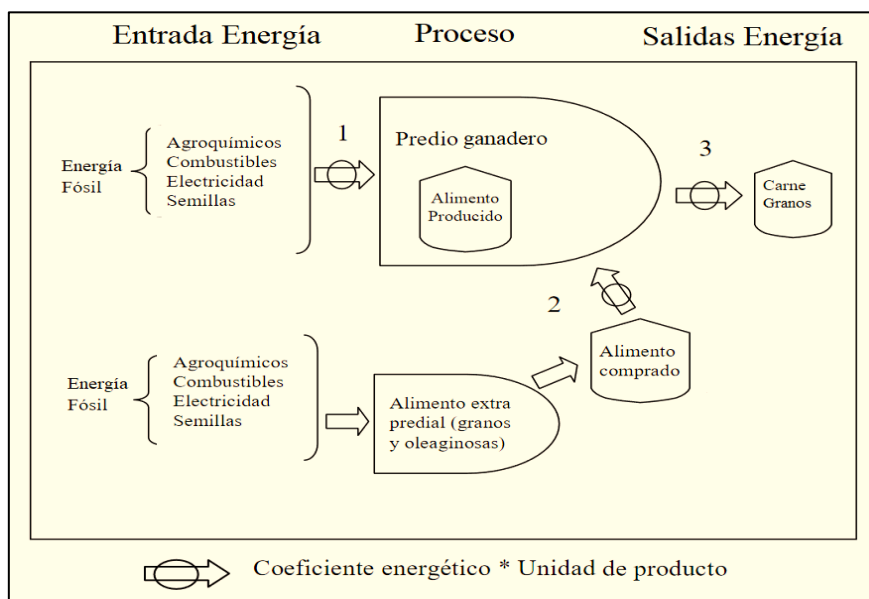


Figura 4. Diagrama del modelo energético utilizado para cuantificar las entradas y las salidas de energía fósil de un sistema de producción

2.2.5 Índice de Biodiversidad a escala predial

Según propone Viglizzo (2012), se toman en cuenta dos factores para la evaluación a nivel del predio en su conjunto según el uso del suelo: (i) la agro-diversidad del predio en función del uso del suelo declarado, y (ii) el valor ecológico de las áreas que componen el uso del suelo (VE) y que forman parte de esa agro-biodiversidad.

La agrobiodiversidad (AD) del sistema predial es evaluada primariamente a través la diversidad que surge de estudiar conjuntos diferenciados de usos (por ejemplo, campo natural, pasturas anuales, pasturas perennes, arroz, soja, etc., figura 5). El supuesto que subyace detrás de este criterio es que cuanto más diversificadas sean las actividades explotadas, más se favorece la creación de nichos diferenciados que sustentan la biodiversidad local y menos vulnerable se torna el sistema a las perturbaciones externas. Para evaluar la agro-diversidad se procede a realizar una adaptación del Índice de Shannon que los ecólogos utilizan frecuentemente para cuantificar la diversidad biológica de los ecosistemas. Este índice (modificado) supone cuantificar el área de cada alternativa (por ejemplo, campo natural, pasturas perennes, soja, arroz, etc.) integradas al predio y por el otro la participación relativa (%) de cada una de esas alternativas en el área total del predio.

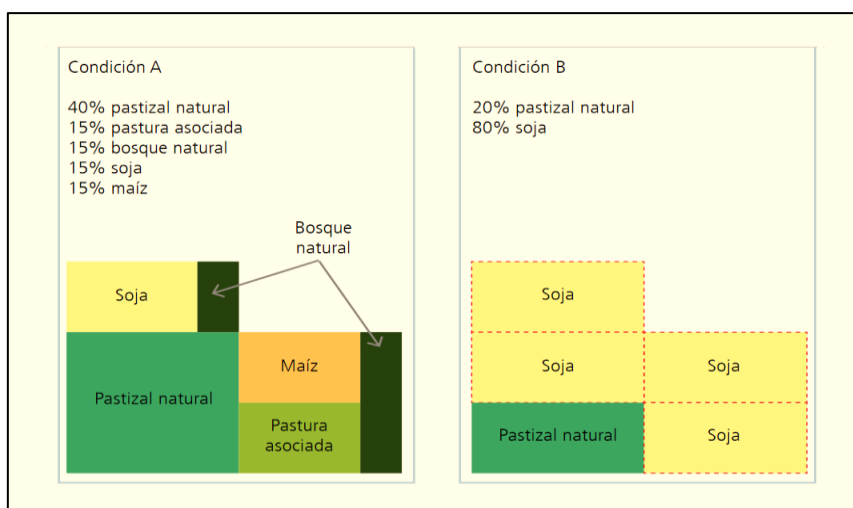


Figura 5. Representación de estudio de Biodiversidad (Viglizzo, 2012)

El **Valor Ecológico del Ecosistema (VE)** es una calificación que parte del supuesto que la presencia de otros ecosistemas (ejemplo, bosques nativos, humedales, pasturas perennes, tierras cultivadas) tiene un impacto diferenciado de acuerdo a su similitud o divergencia ecológica con el ecosistema original (campo natural, humedal...). El máximo valor ecológico se asigna al campo natural, al bosque nativo y el humedal.

Valor Ecológico según uso del suelo (VE)

Campo natural	1,00
Campo natural mejorado	0,90
Humedal	1,00
Pradera sembrada	0,90
Tierra barbecho	0,90
Verdeo	0,60
Cultivo (cereales)	0,50
Cultivo (oleaginosas)	0,40
Bosque cultivado (pino, eucalipto)	0,30
Bosque natural	1,00

El Índice de Biodiversidad se calcula como

$$IB = \sum (\%CN*VE + \%Verdeo*VE + \%Cultivos*VE +)$$

2.3 Desarrollo del Software

El software desarrollado requiere que el usuario ingrese la información de su establecimiento, desglosado según actividad ganadera, actividad agrícola y actividad forestal. Se ingresa la información sobre uso de suelo, stock y movimientos de animales bovinos y ovinos, insumos utilizados en fertilizantes, agroquímicos, suplementos, combustible. Basado en cálculos provenientes de las evaluaciones realizadas por el equipo técnico responsable de éste trabajo, se generan los indicadores ambientales antes mencionados para un predio y valores de referencia para orientar la interpretación y el análisis de los resultados. Estos indicadores se presentan para la actividad ganadera, así como para el sistema en su totalidad.

3 CARACTERÍSTICAS DE LOS 5 ESTABLECIMIENTOS ANALIZADOS

En el capítulo anterior se detallaron los indicadores seleccionados para evaluar el desempeño ambiental de los cinco establecimientos analizados de Vaquería del Este en el período comprendido entre el 1 de julio del 2020 y el 30 de junio del 2021. En base a la composición del stock ganadero, existen diferencias en la orientación productiva ganadera de los cinco predios, observándose dos sistemas de tipo ciclo completo (3 y 4), un corral de engorde³ (5) y dos sistemas recriadores-invernadores (1 y 2). Este aspecto es importante a tener en cuenta al momento del análisis del desempeño ambiental.

Cuadro 1. Descripción de los establecimientos

Establecimiento		1	2	3	4	5
Superficie (ha)	Ganadería	1.085	994	4.677	3.042	1
	Agricultura	-	90	389	359	-
	Forestal	Plantaciones	13	270	66	-
		Bosque nativo	310	-	85	-
	TOTAL	1.395	1097	5.536	3552	1
Ubicación	Departamento	Rocha	Rocha	Rocha	Lavalleja	Maldonado
	Zona	Planicies	Sierras	Colinas	Sierras	Sierras del
Stock bovino		1.176	1163	5.590	3.135	469
Sistema ganadero		Inv.	Inv.	CC	CC	Feedlot
Stock Ovino		63	593	1.572	95	-

3.1 Descripción de los sistemas de producción

Establecimiento 1

El establecimiento es ganadero invernador ubicado en la zona de las Planicies del Este. Tiene una superficie total de 1.395 hectáreas, de las cuales 1.085 son destinadas a la ganadería y la superficie restante está ocupada por bosque nativo (310 hectáreas). De la superficie destinada a ganadería, se tiene diferentes coberturas de pasturas con diferente producción de MS y composición de especies.

Establecimiento 2

El establecimiento está ubicado en las Sierras del Este. Presenta una extensión total de 1.097 hectáreas donde la mayor parte se encuentra destinada a la ganadería (994), mientras que una parte menor a las actividades de agricultura y forestación (90 ha y 13 ha respectivamente). En el área ganadera se desarrolla un sistema mixto, en el cual se realiza invernada vacuna y ovina de machos y hembras. En el sistema vacuno se compran categorías jóvenes, y en el sistema ovino se cuenta con un plantel de cría. En el área agrícola se realiza una rotación con pasturas y cultivo de soja. Con respecto al área forestal, cuenta con una superficie pequeña de montes abrigo y sombra.

³ En este caso, solo se analizó el desempeño ambiental del área destinada a corral de engorde, sin tomar en cuenta el resto de las actividades productivas de este establecimiento

Establecimiento 3

El establecimiento está ubicado en las Colinas del Este. Presenta una superficie total de 5.336 hectáreas de las cuales unas 4.677 se encuentran destinadas a la ganadería. El área restante se reparte entre agricultura y forestación (389 y 167 ha respectivamente). El sistema ganadero es mixto, vacuno-ovino, en ciclo completo. En el área agrícola se planta arroz en rotación con pasturas. Respecto al área forestal, posee una plantación comercial de *Eucaliptus globulus* plantado en 2012 con destino a pulpa de celulosa.

Establecimiento 4

Este establecimiento está ubicado en las Sierras del Este. Presenta una superficie de 3.552 ha destinada a la producción agrícola-ganadera en el departamento de Rocha. La ganadería es la actividad predominante con 3.042 ha, destacándose por tener una amplia superficie de pasturas mejoradas, entre praderas artificiales y mejoramientos con leguminosas. En el área ganadera se desarrolla un sistema de producción mixto de ciclo completo. En el área de agricultura (359 ha) se planta soja. El área forestal (151 ha) se divide en una plantación comercial de *Eucalipto grandis* de 66 ha y el resto bosque nativo.

Establecimiento 5

Este establecimiento tiene un sistema de engorde a corral vacuno en el cual se compran animales de 380 kg de peso vivo y se engordan hasta los 520 kg. En este sistema se produce parte del alimento utilizado y el resto es comprado a terceros. En este caso, solo se analizó el desempeño ambiental del área destinada al corral de engorde, sin tomar en cuenta el resto de las actividades productivas de este establecimiento. A los efectos de los cálculos y por no disponer información de la producción de alimentos, se asignaron valores de referencia para los cálculos y los resultados son expresados por unidad de producto y como unidad de superficie se utilizó 1 hectárea.

3.2 Uso del suelo

En el caso de la ganadería que es el rubro de mayor extensión dentro de los 5 establecimientos analizados, se determinó el uso correspondiente.

Cuadro 2. Uso del suelo destinado a la ganadería en el ejercicio 2020-2021 (ha)

Establecimiento	1	2	3	4
Campo natural Lomadas Este	764	80	369	916
Campo natural c/TB + <i>Lotus corniculatus</i> (LC)	69			
CN Cobertura Lotus Rincón		394	2.156	903
Avena			176	
Raigrás	82	204		
Pradera TB + LC + Festuca (2ª año)		316	400	1.223
Pradera TB + LC + Festuca (3ª año)	170		1576	
Total	1.085	994	4.677	3.042

En función del uso del suelo, se estima el aporte relativo de materia seca de cada alternativa forrajera, lo cual es una aproximación a la calidad de la dieta suministrada a los animales (figura 6)

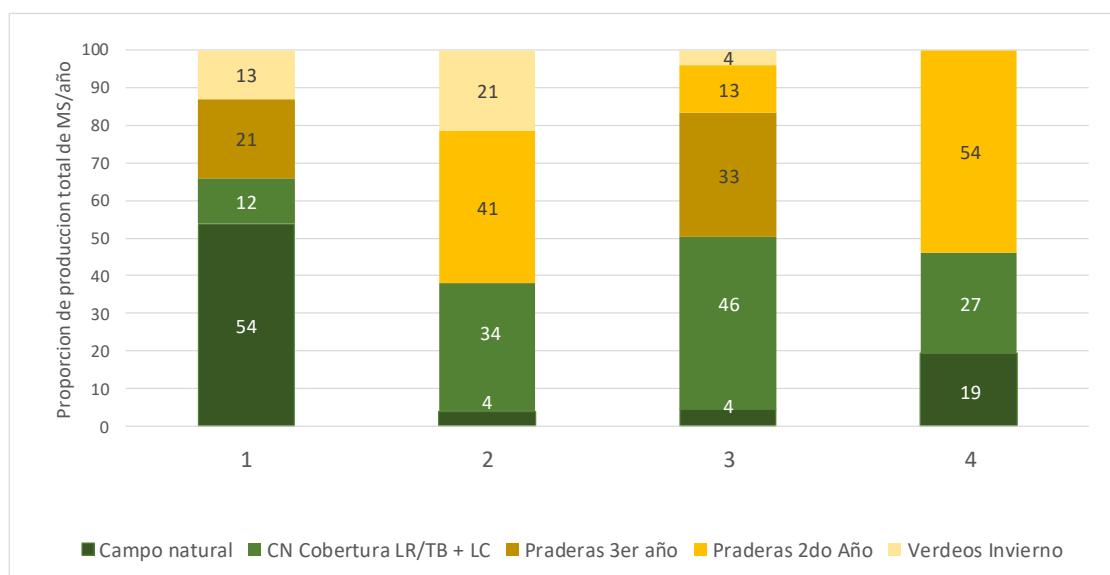


Figura 6. Proporción del aporte al total de materia seca anual según alternativa forrajera

3.3 Stock animal

3.3.1 Stock bovino

En el siguiente cuadro se detalla la cantidad de cabezas y peso promedio por categoría del rodeo para los cinco establecimientos durante el ejercicio.

Cuadro 3. Stock Bovino de los cinco establecimientos en el ejercicio 2020-2021

Categoría	1		2		3		4		5	
	N° anim	Peso (kg)	N° anim	Peso (kg)	N° anim	Peso (kg)	N° anim	Peso (kg)	N° anim	Peso (kg)
Toros	4	600	8	380	90	600	19	650		
Vacas de cría	75	380	33	320	1.227	390	523	410		
Vaquillonas + 2 años	60	320	123	280	43	300	132	260		
Vaquillonas 1-2 años	86	150	332	150	577	215	545	180		
Terneros/as	191	40	511	280	1.699	106	1.050	40		
Novillos 1-2 años	295	150	51	420	1.594	256	580	180	492	480
Novillos 2-3 años	3	320	68	320	33	370	167	330		
Vacas de invernada	462	370	37	380	327	420	119	360		
TOTAL	1.176		1.163		5.590		3.135		492	

3.3.2 Stock ovino

En el siguiente cuadro se detalla la cantidad de cabezas y peso promedio por categoría de la majada de los establecimientos 1, 2, 3 y 4.

Cuadro 4. Stock ovino de los establecimientos en el ejercicio 2020-2021

Categoría	1		2		3		4	
	N° anim	Peso (kg)	N° anim	Peso (kg)	N° anim	Peso (kg)	N° anim	Peso (kg)
Carneros			6	60	14	80		
Ovejas de cría			218	38	1.096	60		
Borregas 2-4 dientes								
Corderas DL								
Corderos/as mamones			228	10				
Corderos DL			124	32	294	31		
Borregos 2 dientes								
Capones	63	60						
Otros lanares			17	42	168	55	95	42
TOTAL	63		593		1.572		95	

3.4 Productividad

A continuación, se presentan los principales indicadores de productividad que permitirán analizar e interpretar algunas diferencias entre indicadores de desempeño ambiental de la actividad ganadera entre establecimientos.

Cuadro 5. Productividad y dotación ganadera en los cinco establecimientos (2020-2021)

	Productividad (kg/ha ganadera)	Dotación ganadera (UG/ha)	Preñez en vacunos (%)	Preñez en ovinos (%)	Productividad (kg/ha agrícola)
1	152	0,7	90	---	---
2	220	0,8	n/a	100	2.500
3	200	0,8	86	158	9.000
4	158	0,6	90	--	2.200
5	62.040	----	----	----	----

Algunos de los establecimientos realizan agricultura. Como referencia, en el periodo 2020-2021 el promedio nacional de producción de arroz fue de 9.153 kg/ha⁴, y la soja por su parte, tuvo una producción promedio nacional de 2.799 kg/ha⁵.

4 CALCULO E INTERPRETACION DE LOS INDICADORES AMBIENTALES Y ECONÓMICOS

4.1 Balance de gases de efecto invernadero (GEI) e intensidad de emisiones

Las principales fuentes de emisión de gases efecto invernadero en los establecimientos agropecuarios son:

- los rumiantes:
 - ✓ vacunos (metano y óxido nitroso)
 - ✓ ovinos (metano y óxido nitroso)

⁴ Encuesta de Arroz – Zafra 2020/2021 – Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca

⁵ Encuesta agrícola “Invierno 2022” – Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (DIEA)

- consumo de combustible fósil (dióxido de carbono)
- uso de fertilizantes (óxido nitroso y dióxido de carbono)
- uso de energía eléctrica (dióxido de carbono)
- uso de agroquímicos (dióxido de carbono)
- uso de suplementos (dióxido de carbono)
- la agricultura (óxido nitroso y, en el caso del arroz también metano))

La principal actividad agropecuaria de los predios de este estudio es la ganadería, por lo que las principales emisiones GEI provienen de la fermentación entérica y el manejo de estiércol (heces y orina). A éstas se le suman las emisiones relacionadas a las actividades implícitas en la producción ganadera, como es el consumo de combustibles fósiles (laboreo, distribución de alimento, aplicación de agroquímicos). También se toman en cuenta las emisiones por parte de la volatilización y el escurrimiento del N de los fertilizantes.

Por otro lado, tanto en la ganadería como la agricultura, la suma de las emisiones cuantificadas se atribuyen a una determinada producción ya sea de carne (expresada como ganancia de peso vivo) o de grano dependiendo del cultivo agrícola. Las emisiones expresadas por unidad de producto (carne o grano) se definen como la eficiencia en la emisión o **intensidad de emisiones**. La intensidad de emisiones puede asimilarse a la **huella de carbono de un producto** ya que el cálculo realizado en este trabajo incluye las emisiones de GEI de los insumos utilizados y del proceso de producción hasta la portera del predio (no incluye destino final del producto)

El **inventario de GEI** toma en cuenta solamente las emisiones de gases, es la sumatoria de todas las emisiones de GEI atribuidas a determinada actividad productiva. El **balance de GEI** toma en cuenta tanto las emisiones de GEI (fuentes) pero también la captura o secuestro de carbono asociada a una actividad agropecuaria, es decir las posibles remociones del carbono de la atmosfera. El **secuestro de carbono**, según la bibliografía, se puede registrar por varias vías, ya sea a través de la forestación, pero también por parte de las pasturas. Sin embargo, existen dificultades al momento de modelar el secuestro de carbono dado que son procesos de largo plazo y es difícil determinarlo sobre una base anual, o al menos aún no existe referencia científica contundente especialmente para las pasturas. Por tal motivo, los cálculos efectuados en este análisis solo toman en consideración las plantaciones forestales para las cuales existe mayor información bibliográfica y consensuada a nivel internacional, la cual se refleja en el balance del sistema (conjunto de todas las actividades productivas del establecimiento). De forma opcional, se ha habilitado la inclusión en el cálculo de un dato reciente de investigación para campo natural naturales de 0.66 t CO₂/ha/año que puede ser utilizado para el área de campo natural de la actividad ganadera (Bazzoni y Piñeyro, sin publicar).

En el cuadro 6 se presentan las emisiones de cada uno de los sistemas así como la intensidad de las mismas, para la actividad ganadera.

Cuadro 6. Resumen de emisiones GEI (CO₂eq) e intensidad de emisiones de la actividad ganadera

Establecimiento	1	2	3	4	5
Emisiones Ganadería (kg CO ₂ eq/ha SPG)	1.840	2.240	2.040	1.640	409.500
Intensidad de emisiones (kg CO₂eq/kg PV)	12,1	10,2	10,2	10,4	6,6

Si se relacionan las emisiones GEI con los indicadores de productividad, se observa como la intensidad de las emisiones ($\text{CO}_2\text{eq/kgPV}$) disminuye al mejorar la productividad del sistema ganadero. En los sistemas de Ciclo Completo que realizan cría (establecimientos 3 y 4), la intensidad de emisiones es menor en comparación con los datos publicados por Becoña et al. (2014) en sistemas criadores del país ($20,8 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg PV}$) o un estudio más reciente de Agudo et al. (2022) que reporta un valor promedio de $19,6 \text{ kg CO}_2 \text{ eq /kg peso vivo}$, lo cual está asociado a los buenos indicadores productivos de los estos establecimientos. En el caso de sistemas recría-invernada, los valores de intensidad de emisiones de los establecimientos 1 y 2, se encuentran en los menores valores del rango reportado por Modernel et al. (2013) (de $9,5$ a $16,7 \text{ kg CO}_2 \text{ eq/kg PV}$), asociado a los altos valores de ganancia de peso vivo que se registran en estos dos casos.

Comparando los cinco sistemas productivos, se observa una importante diferencia en intensidad de emisiones entre el sistema de engorde a corral (5) y los otros 4 sistemas pastoriles, la cual coincide con los datos reportados por Modernel et al. (2013) para engorde a corral. Esta diferencia está asociada a la alta eficiencia de conversión que se logra en las dietas a corral que acortan los periodos de terminación en relación a los sistemas pastoriles.

A continuación se presenta la proporción de las emisiones según fuente, solo para el área ganadera (figura7).

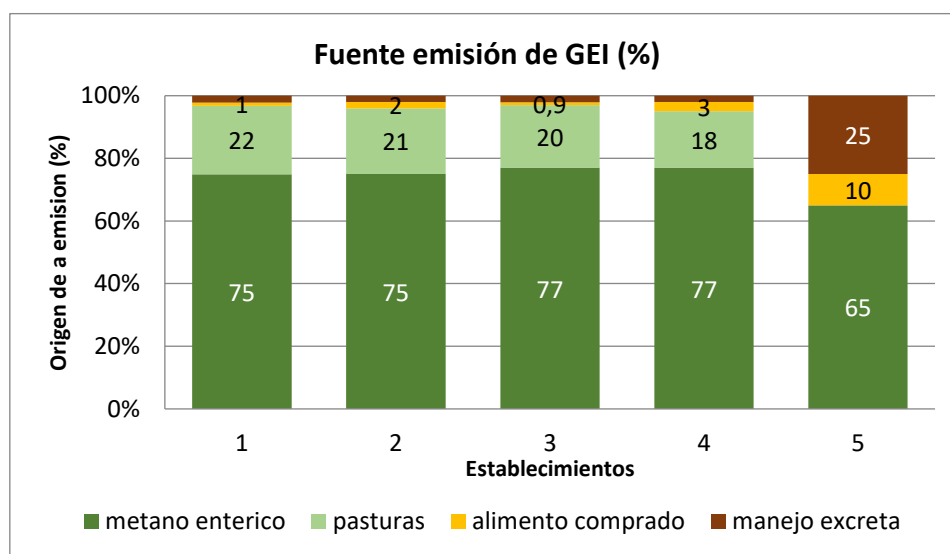


Figura 7. Proporción de emisiones de Gases Efecto Invernadero por fuente de emisión

En todos los casos, como es de esperar para la actividad ganadera, las emisiones están explicadas en mayor medida por las emisiones de metano producto de la fermentación entérica (70 a 80%), seguidas por las emisiones de óxido nítrico producto de las excretas animales (entre un 15-17%) y valores muy bajos provenientes de dióxido de carbono (entre 1 y 2%). En cuanto al corral de engorde (5), si bien no puede ser comparado con los sistemas pastoriles, presenta una proporción relativa de emisiones de metano similares pero con mayor participación de CO_2 (alimentos comprados y maquinaria) y mayor de emisión de N_2O que está asociado principalmente al manejo de la excreta.

4.2 Balance de nutrientes

Como se mencionó anteriormente, el balance de nutrientes toma en cuenta únicamente el nitrógeno y el fósforo utilizados en cada establecimiento, debido a que son los nutrientes utilizados en mayor cantidad y presentan un mayor riesgo potencial de generar eutrofización de los cuerpos de agua.

De esta manera, se identificaron entradas de nitrógeno y de fósforo, y salidas parciales de los mismos. En base a estos datos, se calculó el balance aparente (entradas de un nutriente – salidas de un nutriente).

En las figuras 8 y 9, se presenta el origen de las fuentes principales de N y P en los cinco sistemas ganaderos analizados.

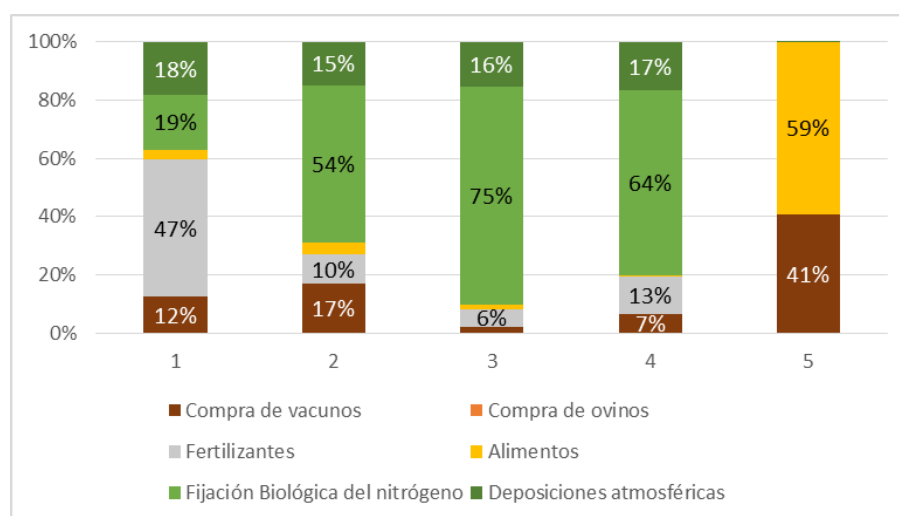


Figura 8. Proporción relativa de las fuentes de Nitrógeno de la actividad ganadera en los cinco establecimientos

El alto ingreso de N está relacionado a la fertilización nitrogenada en los casos de 1 y 2, mientras que en 3 y 4 el ingreso principal es por fijación biológica debido a una alta proporción de leguminosas en la cobertura vegetal.

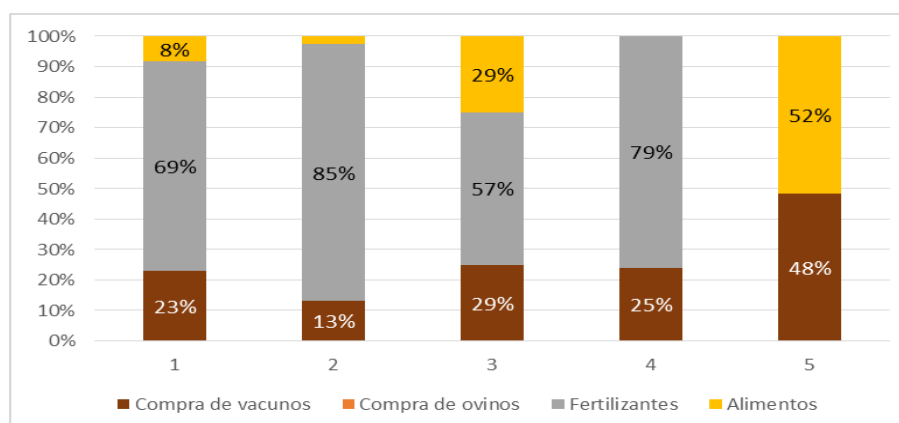


Figura 9. Proporción relativa de las fuentes de Fósforo de la actividad ganadera en los cinco establecimientos

Las principales fuentes de ingreso de P son los fertilizantes fosfatados y los concentrados, que en general son ricos en contenido de fósforo.

Para la actividad ganadera, en las figuras 10 y 11 se presentan los balances de N y P de los 5 casos analizados, los cuales se expresan por hectárea y por kilogramo de peso vivo producido. Para el caso del corral, no se presenta el dato del balance por unidad de superficie en la figura por la magnitud de este valor (8.430 kg N/ha y 1.510 kg P/ha), sin embargo la eficiencia por kg producido es similar a los sistemas ganaderos pastoriles, representando 0.14 kg N/kg PV producido y 0.02 kg P/kg PV producido.

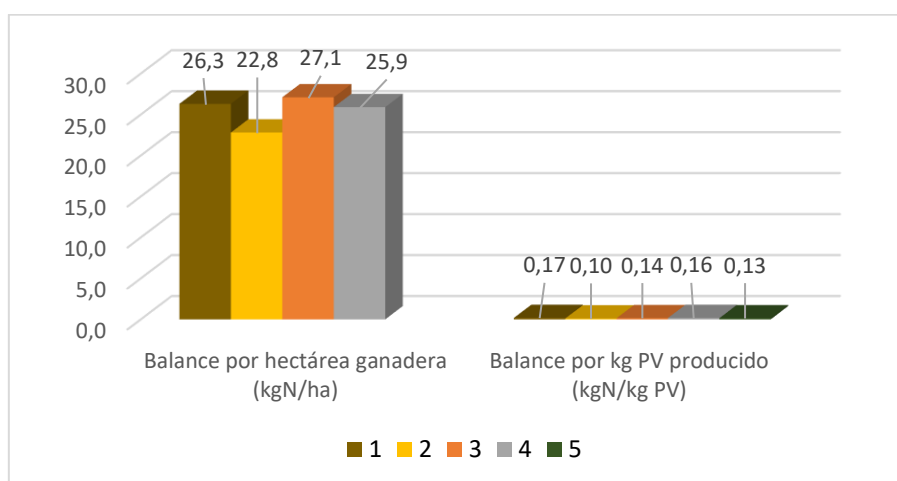


Figura 10. Balance de Nitrógeno (kg) de la actividad ganadera expresado por ha y por kg PV producido

En referencia a los balances de nutrientes, en los sistemas pastoriles el nitrógeno registra mayores valores de ingresos que de egresos. El resultado de los balances para este nutriente presenta valores mayores a los reportados por Becoña et al. (2020) en predios ganaderos (9 a 10 kg N/ha) lo cual esta asociado, como ya fue mencionado, a la alta proporción de leguminosas presentes en los mejoramientos de campo natural en estos predios. Al analizar el fósforo, la situación es diferente (figura 11).

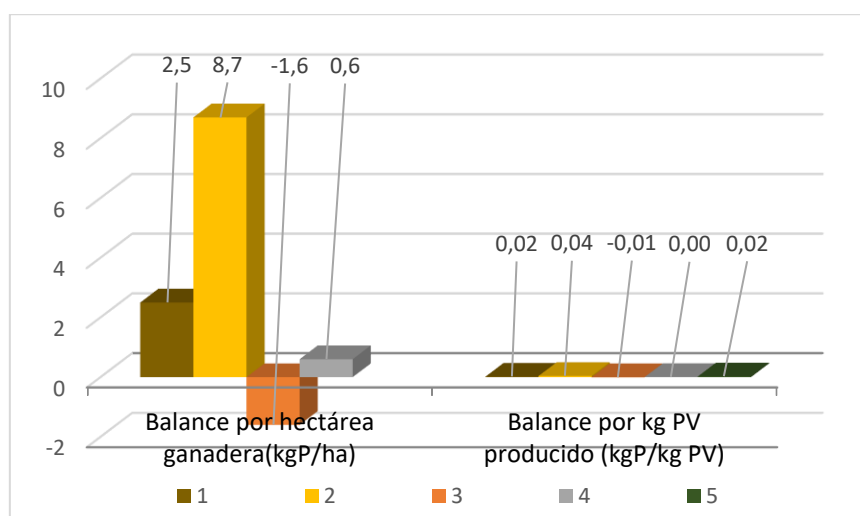


Figura 11. Balance de Fósforo (kg) expresado por ha y kg PV producido

El balance de fósforo por hectárea presenta valores bajos e incluso negativos. Se ha reportado a nivel nacional, que sistemas que tiene muy alta producción de carne equivalente por hectárea con alta participación del campo natural en su base forrajera (Becoña et al. 2020; Nin Nicola et al. 2022), tienen riesgo de extraer mayor cantidad de P que la que ingresa al sistema (establecimiento 3). En el caso 2, si bien tiene una alta extracción por hectárea, este sistema lo contrarresta con alta incorporación de fertilizante (fosforita) por año.

4.3 Potencial eutrofización y potencial de ecotoxicidad del agua dulce

El potencial de eutrofización se analiza como una afectación potencial sobre los cuerpos de agua dulce presentes en el predio, mientras que el potencial de ecotoxicidad se analiza como una afectación potencial sobre la vida acuática (flora y fauna) de los cuerpos de agua del predio. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la actividad ganadera.

Cuadro 7. Potencial de eutrofización y potencial de ecotoxicidad del medio acuático de la actividad ganadera de los cinco establecimientos

Establecimiento	Potencial de Eutrofización		Potencial de Ecotoxicidad	
	kg PO ₄ eq / ha SPG	g PO ₄ eq / kg PV	UTCe / ha SPG	UTCe / kg PV
1	10,3	0,08	70	0,46
2	28,9	0,13	40	0,18
3	0.0	0,00	260	1,30
4	4,4	0.02	110	0.70
5	----	0.07	----	-----

Los valores de potencial de eutrofización son relativamente bajos si se compara con datos nacionales publicados para la producción lechera (26 kg PO₄ eq/ha en promedio, Darré et al. 2020) y para la producción agrícola (25 kg PO₄ eq/ha en promedio, Darré et al. 2019) usando la misma metodología presentada en este informe. Cabe destacar que esta metodología no diferencia las características de la fuente de fósforo, que en el caso del establecimiento 2 es fosforita que es insoluble en agua y no se disuelve rápidamente en el suelo como los fosfatos solubles.

Llama la atención, los bajos valores del potencial de ecotoxicidad calculado en estos establecimientos en relación a sistemas de producción más intensivos (Darré et al. 2019, Darré et al. 2020). Esto da cuenta del bajo uso de insumos utilizados en estos sistemas pastoriles, en particular de fungicidas e insecticidas.

4.4 Energía fósil

Con la información aportada sobre consumo de combustibles, cantidad de fertilizantes, de agroquímicos, entre otros se estimó el uso de energía fósil (en combustibles como en la producción y transporte de los agroquímicos utilizados en el proceso de producción). A partir de los datos aportados, se presenta el siguiente cuadro con los diferentes consumos de energía fósil que se generaron directa o indirectamente por la actividad ganadera (cuadro 8).

Cuadro 8. Consumo de energía fósil de los establecimientos por actividad ganadera

GANADERIA	1	2	3	4	5
Consumo ganadería (MJ/ha SPG)	1340	1100	420	430	----
Consumo (MJ/kg PV)	8,8	5,0	2,1	2,7	34,6

El consumo de energía fósil en ganadería pastoril es un aspecto de menor significancia en comparación a sistemas más intensivos (ya sea de pasturas sembradas o agrícolas), en acuerdo con los valores publicados (3,5 a 7,9 MJ/kg PV, Becoña et al. 2020). Sin embargo, en el caso del engorde a corral (caso 5) el consumo de energía fósil es más alto al ser la alimentación de los animales altamente dependiente de este insumo (producción de concentrados y distribución).

4.5 Indicador Económico

Otro de los puntos importantes que se tomó en cuenta en este análisis, es una estimación de resultado económico basado en datos de mercado (no los propios de cada establecimiento), para permitir comparar los indicadores de la huella ambiental en conjunto con una variable de resultado económico. Mediante esta aproximación, los productores pueden evaluar cómo las medidas tomadas para mejorar la Huella Ambiental del establecimiento, pueden afectar el desempeño económico de la actividad. En este estudio se utilizó una aproximación al Margen Bruto (MB) para la actividad ganadera tomando en cuenta los ingresos por producción menos los costos directos (insumos) relacionados a la actividad ganadera (no toma en cuenta la MO variable). Tanto para los ingresos como para los costos se asumieron valores de referencia en base a publicación de DIEA (MGAP) para dicho ejercicio.

Se presenta a continuación el MB (calculado como mencionado anteriormente) de cada establecimiento desde el 1 julio del 2020 hasta el 30 de junio del 2021 (cuadro 9).

Cuadro 9. Estimación del Margen Bruto sobre insumos variables (sin MO) de la actividad ganadera del ejercicio 2020-2021 expresado en U\$S/ha y U\$S/kg PV

GANADERIA	1	2	3	4	5
Margen Bruto – proxy (U\$S/ha SPG)	154	278	387	254	----
Margen Bruto – proxy (U\$S/ kg PV)	1.3	1,2	1,5	1,5	---

5. RESULTADOS DEL CONJUNTO DE INDICADORES AMBIENTALES

A continuación se presenta el conjunto de los indicadores ambientales de la actividad ganadera y el indicador de resultado económico para los 5 establecimientos analizados, con un sistema de colores según si los valores están por encima (rojo) o por debajo (verde) de valores de referencia publicados en la bibliografía (cuadro 10). Además se agrega un índice relacionado a la

biodiversidad⁶ y se adiciona el análisis del secuestro de carbono dado su posibilidad de neutralizar emisiones.

⁶ El índice de Biodiversidad toma en cuenta el uso del suelo de todo el establecimiento y se le asigna un coeficiente a cada alternativa de uso del suelo según el grado de perturbación con respecto al Campo Natural (CN es considerando con un Índice =100).

Cuadro 10. Resultados ambientales globales de los 5 establecimientos analizados

	1	2	3	4	5
	Invernador	Invernador	Ciclo completo	Ciclo completo	Corral
Emisiones (CO ₂ eq/kg PV)	12.1	10.2	10.2	10.4	6.6
Balance total anual N (kg/kg PV)	0.17	0.10	0.14	0.16	0.13
Balance total anual P (kg/kg PV)	0.02	0.04	-0.01	0.00	0.02
Eutrofización (kg PO ₄ eq/kg PV)	0.08	0.13	0.00	0.02	0.07
Energía fósil (MJ/kg PV)	8.8	5.0	2.1	2.7	34.6
Índice de Biodiversidad (%)	81%	81%	82%	86%	0
proxy MB ganadería (USD/kg PV)	1.31	1.00	1.53	1.40	---
Productividad (kg/ha SPG)	152	234	200	158	62.000

Es interesante destacar el desempeño ambiental de los sistemas ganaderos analizados, con valores en su mayoría por debajo de los valores de referencia publicados. La excepción la constituye el caso 6, que presenta un alto consumo de energía fósil por unidad de producto y además un importante impacto a nivel ambiental si los indicadores presentados se expresan con respecto a una unidad de superficie. Lo mencionado pone de relieve la importancia de tener una mirada más global del sistema de producción, tomando en cuenta lo que puede ser la carga de contaminación que puede soportar una unidad de superficie. Este tema requiere sin duda un mayor análisis por parte de la comunidad científica para poder avanzar en la sugerencia de umbrales máximos.

El índice de biodiversidad es una aproximación a una cuantificación de la variedad y abundancia relativa de especies y su diversidad genética, en determinado espacio. En este caso, el índice utilizado realiza una aproximación en función del uso del suelo que presenta cada establecimiento. Un valor próximo a 100 indica una menor perturbación del ecosistema natural de la región analizada. Como se puede observar en el cuadro 9, los cuatro establecimientos que realizan la actividad ganadera a pasto, con una importante participación del campo natural en términos de superficie, presentan índices de biodiversidad elevados.

En cuanto al impacto de la captura de carbono sobre las emisiones GEI totales de cada establecimiento, es interesante analizar el aporte que representan distintas alternativas que contribuyen al secuestro de carbono, ya sea por la incorporación de áreas forestadas y/o por área de campo natural. En el caso de forestaciones de macizo forestal ya sea para celulosa o aserradero, como ya fuera mencionado previamente, los supuestos de captura de carbono según IPCC (2006) son:

- ✓ Eucalyptus grandis 28 tCO₂/ha/año,
- ✓ E. globulus y dunnii 25 tCO₂/ha/año,
- ✓ Pino 20 tCO₂/ha/año
- ✓ Silvopastoreo 11 tCO₂/ha/año.

En el caso de monte nativo se asume que es un área que está en equilibrio de carbono (no emite ni captura en términos netos) y por tanto no se toma en cuenta en estos cálculos.

Por otro lado, en el caso de áreas de pasturas naturales, el modelo (software) permite realizar una simulación asumiendo un secuestro de 660 kg CO₂eq/ha/año (según datos preliminares de la investigación nacional), pero a los efectos de los cálculos presentados en el cuadro 10 no se tomó en consideración. Para que un área de pasturas pueda contribuir a una reducción de las emisiones de GEI debe poder ponerse en evidencia un manejo mejorado en el tiempo, es decir un manejo asociado a una mayor acumulación de biomasa aérea y por lo tanto a un mayor secuestro de carbono en el periodo analizado.

En cuanto a la inclusión de agricultura, cabe destacar que la misma contribuye a reducir los excedentes de nutrientes a nivel del sistema ya que en general la exportación de nutrientes en los granos es mayor que el ingreso de nutrientes por insumos. Sin embargo, el área agrícola está asociada a un mayor uso de agroquímicos que impacta en el indicador de ecotoxicidad del sistema.

En la figura 12 se presenta el desempeño de los 4 sistemas pastoriles en el conjunto de los indicadores ambientales analizados para todo el sistema productivo (se excluye los indicadores ambientales del corral de engorde por la magnitud de los valores expresados por unidad de superficie).

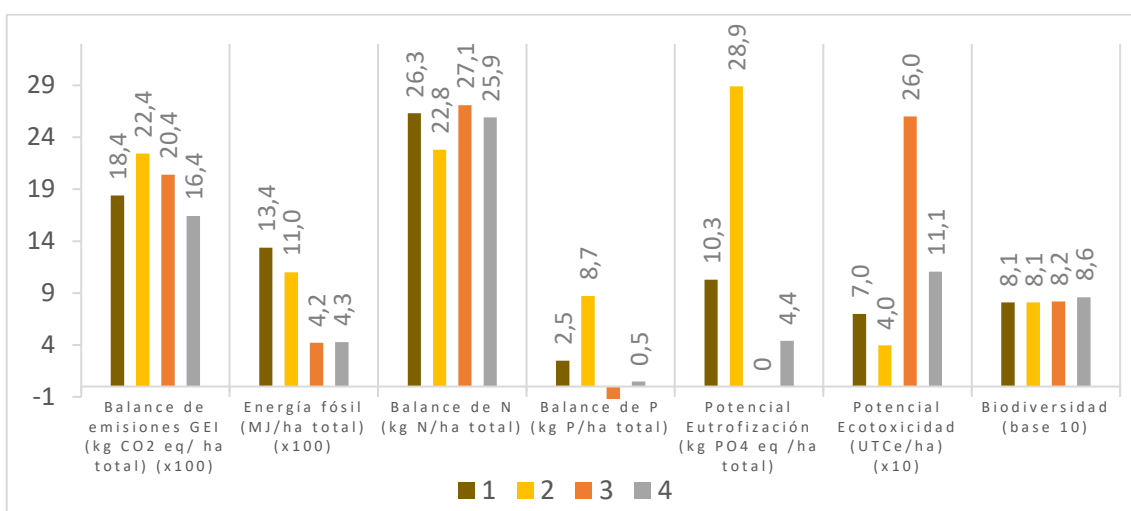


Figura 12. Resultados ambientales de los establecimientos expresados por hectárea útil (en esta figura se excluye el caso 5, de engorde a corral)

6. CONCLUSIONES

Este trabajo permitió alcanzar los objetivos propuestos al inicio de la consultoría, logrando a través de un proceso interactivo con los productores, el desarrollo de una herramienta de cálculo de los impactos ambientales en sistemas productivos referentes dentro de Vaquería, así como el desarrollo de un software que permitirá a todos los productores hacer su propio análisis.

Por otro lado, el trabajo presenta la posibilidad de incluir el secuestro de carbono en los cálculos de los balances de GEI de los sistemas productivos, ya sea por áreas de pasturas naturales, ya

sea por la incorporación de áreas forestadas. En relación al secuestro de carbono es un aspecto que genera gran atención por la posibilidad de neutralizar las emisiones del sistema. Si bien es un indicador que presenta un cierto grado de incertidumbre en la estimación debido a que aún existe una brecha de información, aparecen evidencias científicas que las pasturas naturales, así como las rotaciones con pasturas, podrían secuestrar carbono de manera adicional a la aportada por las áreas forestadas.

Los resultados obtenidos en los distintos sistemas determinan que existen trade-off (compromisos) entre los distintos indicadores evaluados. Si bien no se trata de un trabajo de investigación, se puede observar que determinar el desempeño ambiental sigue siendo el resultado de decisiones técnico-productivas que cada productor realiza en su sistema. En este sentido, la incorporación de mayor cantidad y calidad de alimento consumido en la fase ganadera, así como los insumos utilizados en la fase agrícola, pueden tener implicancias directas sobre variables ambientales además de ser determinante de la eficiencia productiva.

En definitiva, este informe permite a los productores socios de Vaquería del Este, realizar un análisis del desempeño ambiental del sistema productivo y su relación con indicadores económicos, comenzando un proceso de sensibilización en la temática. La incorporación en la gestión de los establecimientos de una herramienta de evaluación ambiental permitirá que cada productor pueda medir su situación actual, así como evaluar distintas medidas de manejo que pueden influir sobre las principales variables ambientales. Este proceso permite abordar un ciclo de mejora continua y la preparación necesaria para transitar los procesos de certificación, pensando en un desarrollo sustentable de la producción agropecuaria.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agudo N, Jones C, Baccino E., 2022. Estimación de la huella de carbono de un rodeo tipo. Anuario OPYP 2022. <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-opypa-2022/estudios/estimacion-huella-carbono-rodeo-tipo>
- Becoña G., Astigarraga, L., Picasso, V. 2014. Greenhouse gas emissions of beef cow-calf grazing systems in Uruguay. Sustainable Agriculture Research; 3(2):89-105. www.ccsenet.org/journal/index.php/sar/article/view/34611
- Becoña, G., Ledgard, S., Astigarraga, L., Lizarralde, C., Dieguez, F., Morales, H. 2020. EMAG National model to evaluate environmental impacts of cattle production systems in Uruguay. Agrociencia Uruguay; 24 (2), 48. <http://agrocienciauruguay.uy/ojs/index.php/agrociencia/article/view/48>
- Carnelos D.A., Michel C.L., Portela S., Jobbágy E.G., Jackson R.B., Di bella C., Panario D., Fagúndez C., Grion L.C., Carreño L. y Piñeiro G., 2014. Variación espacial y temporal de las deposiciones atmosféricas en Argentina y Uruguay. Reunión Binacional Uruguay-Argentina de Agrometeorología y XV Reunión Argentina de Agrometeorología, 2 pp.
- Darré E., Mónica Cadenazzi, Sebastián R. Mazzilli, Juan F. Rosas, Valentín D. Picasso. 2019. Environmental impacts on water resources from summer crops in rainfed and irrigated systems, Journal of Environmental Management, Volume 232, 514-522, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.090>.
- Darré Elisa, Cadenazzi Mónica, Mazzilli Sebastián, Rosas Francisco, Picasso Valentín (2019). Environmental impacts on water resources from summer crops in rainfed and irrigated systems. Journal of Environmental Management. 232. 514-522. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479718313550>
- Darré, Elisa, Eduardo, Llanos, Astigarraga, Laura, Cadenazzi, Mónica, Picasso, Valentín. 2020. Do pasture-based mixed dairy systems with higher milk production have lower environmental impacts? A Uruguayan case study. New Zealand Journal of Agricultural Research. 64. 1-19. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00288233.2020.1750433>
- DIEA, MGAP. Anuario Estadístico Agropecuario 2022. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/anuario-estadistico-agropecuario-2022>
- FAO. Guidelines for environmental quantification of nutrient flows and impact assessment in livestock supply chains. Version 1. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. 2018. FAO, Rome, Italy. <http://www.fao.org/3/a-bu312e.pdf>
- IPCC 2003. Orientación sobre las buenas prácticas para UTCUTS. Methodology Report — November 1, 2003 Edited by Jim Penman, Michael Gytarsky, Taka Hiraishi, Thelma Krug, Dina Kruger, Riitta Pipatti, Leandro Buendia, Kyoko Miwa, Todd Ngara, Kiyoto Tanabe and Fabian Wagner. Published by the Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_Sp.pdf
- IPCC 2006. . Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. In H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara & K. Tanabe (Eds). Kanagawa, Japan: IGES. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>
- IPCC 2019. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial

ecosystems [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/index.html>

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., & Rosenbaum, R. 2003. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8: 324-330. <https://doi.org/10.1007/BF02978505>

Koelsch R. and Lesoing G., 1999. Nutrient Balance on Nebraska Livestock Confinement Systems. *Journal of Animal Science*, 77: 63-71.

Modernel P, Astigarraga L, Picasso V. 2013. Global versus local environmental impacts of grazing and confined beef production systems. *Environmental Research Letters*, 8(3), 50-52. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/035052>

Nin Nicola M., Alejandro Manovsky Estomba, Ricardo Barbat Rodríguez, 2022. Balance de nutrientes y exportación de Fósforo en predios ganaderos familiares y medianos de la Cuenca de Laguna del Sauce en el período 2019-2020. *Revista Plan Agropecuario* 184. <https://www.planagropecuario.org.uy/web/200/revistas/-n%C2%B0184.html#>

Picasso V D, 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: 346–354.

Rosenbaum R.K., Bachmann T.M., Swirsky Gold L., Huijbregts M.A.J., Jolliet O., Juraske R., Koehler A., Larsen H.F., MacLeod M., Margni M., McKone T.E., Payet J., Schuhmacher M., van de Meent D. and Hauschild M.Z., 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13: 532-546.

Tieri MP, La Manna A, Montossi F, Banchemo G, Mieres J, Fernandez E. 2013. El Balance de Nutrientes en 36 predios comerciales del GIPOCAR II (FUCREA/INIA): “Una primera aproximación al proceso de intensificación en sistemas agrícolas ganaderos y su potencial impacto en el ambiente”. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7667/1/St-211-2013-p.129-136.pdf>

Viglizzo, E. F. 2012. Hacia un Indicador de Conservación de Pastizales (ICP). In A. Parera, I. Paullier, & A. Bosso (Eds.), *Incentivos para conservar los pastizales naturales del Cono Sur. Una oportunidad para gobiernos y productores rurales* (pp. 97–111). Montevideo: Aves Uruguay. https://pastizalesdelsur.files.wordpress.com/2012/12/libro_bid_v10-5_viglizzo.pdf