



Fichas metodológicas para la determinación de los resultados de los indicadores de la Huella Ambiental Ganadera

En este documento se presenta la metodología determinada y utilizada por los equipos de trabajo para determinar los valores de cada uno de los indicadores que definen la Huella Ambiental Ganadera.

Para algunos de estos indicadores se definieron metodologías específicas que contemplan el detalle y las particularidades del cálculo. Por ejemplo, para la determinación del indicador de intensidad de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (emisiones GEI / unidad de producto) se establecieron metodologías para la fase primaria de producción bovina, ovina y lechera y para la fase industrial.

También se incluyen en este documento metodologías para determinar indicadores complementarios a los incluidos en el informe de esta primera edición de la Huella Ambiental Ganadera para los que, por diferentes motivos, no pudo realizarse su cálculo.



Porcentaje de hábitats naturales

1. Objetivo del indicador

Cuantificar la proporción de pastizales naturales, bosques nativos y humedales por sección policial

2. Descripción

Surge de la unión de las clases mencionadas en los productos de Map Biomas (2019)

3. Relevancia (vínculo con biodiversidad)

Indica de manera directa la preservación de ecosistemas y especies nativas en áreas ganaderas. A su vez, es un indicador general del soporte que los hábitats naturales prestan a la ganadería.

4. Definición y forma de cálculo

Porcentaje de la superficie ocupada por hábitats naturales sobre el total de la superficie de la sección policial

5. Metodología de muestreo

Clasificaciones de usos del suelo a partir de datos espectrales

6. Fuente de datos

Sistema de Información Territorial de la Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial <https://sit.mvotma.gub.uy/js/cobertura/>

7. Escala

Escalas posibles de ser determinadas País/sección policial/unidad productiva

8. Alcance geográfico:

País

9. Limitaciones/condicionantes

En la clasificación de usos los cultivos forrajeros pueden confundirse con cultivos de invierno o en pastizales

10. Indicadores asociados

NA

11. Bibliografía

Sistema de Información Territorial de la Dirección Nacional de Ordenamiento Territorial https://sit.mvotma.gub.uy/js/cobertura

Apropiación humana de la productividad primaria neta

1. Objetivo del indicador

Cuantificar la parte de la Producción Primaria Neta (PPN) de los ecosistemas utilizada directa o indirectamente por los seres humanos y reflejar los cambios en la energía disponible para la red trófica. Permite informar respecto del impacto humano sobre los ecosistemas y sirve como aproximación a la intensidad de uso del suelo.

2. Descripción

La apropiación humana de la PPN cambia entre distintos usos del suelo. Las estimaciones globales han mostrado un aumento de la apropiación a lo largo del tiempo, en particular para nuestra región se ha estimado una apropiación del 40% de la producción anual para los pastizales del Río de la Plata, siendo máxima en usos del suelo de tipo agrícola y forestal, con una apropiación entre el 70-80% (Baeza y Paruelo, 2018).

3. Relevancia (vínculo con biodiversidad)

A mayor apropiación de la PPN se ven afectados los flujos de energía disponible para el resto del sistema, condicionando la trama trófica asociada.

4. Definición y forma de cálculo

$$\text{HANPP} = \text{NPP O} - \text{NPP REM} = \text{NPP O} - (\text{NPP ACT} - \text{NPP H})$$

La HANPP es el resultado de la diferencia entre la PPN en ausencia de influencia humana (PPN de la vegetación potencial: PPN O) y la PPN de la vegetación real que queda después de la actividad productiva (PPN REM). El NPP REM se calcula como el NPP de la vegetación actual (NPP ACT) menos el NPP apropiado directamente por los humanos como productos (NPP H).

5. Unidad

Porcentaje

6. Metodología de muestreo

Mapas de uso del suelo y estimación de la PPN a partir del Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI)

7. Fuente de datos

Datos espectrales provistos por sensores remotos y datos secundarios (por ej, DIEA)

8. Escala

Escala posibles de ser determinadas País/sección policial/unidad productiva

9. Alcance geográfico

Bioma Pampas y Campos

10. Bibliografía

Baeza S and JM Paruelo. 2018. Spatial and temporal variation of Human Appropriation of Net Primary Production in the Rio de la Plata Grasslands. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.

Índice de oferta de servicios ecosistémicos (IOSE)

1. Objetivo del indicador

Generar estimaciones de procesos ecosistémicos críticos o servicios intermedios a partir de la integración de la información provista por sensores remotos sobre dos aspectos centrales del funcionamiento ecosistémico: las ganancias totales de C y su variación estacional

2. Descripción

El índice de oferta de servicios ecosistémicos (IOSE) es un indicador sinóptico de la oferta de SE de regulación y soporte. Ha sido validado específicamente para SE relacionados con las dinámicas de de carbono y agua, y la biodiversidad a través de la riqueza de aves

3. Relevancia (vínculo con biodiversidad)

A excepción de sistemas con base en la monocultura de especies arbóreas, el IOSE se asocia positivamente a la diversidad de específica de distintos taxa (vegetales, aves) y de tipos de coberturas

4. Definición y forma de cálculo

El IOSE se define como el producto de promedio del NDVI-I y del (1-NDVI CV). En donde el NDVI-I es la integral anual del Índice de Vegetación Normalizado (una medida de las ganancias totales de C del ecosistema) y el NDVI CV el coeficiente de variación intra-anual de este índice espectral (una medida de la estacionalidad de las ganancias de C)

5. Fuente de datos

Sensor remoto MODIS

6. Escala

País/sección policial/unidad productiva

7. Bibliografía

Paruelo, J.; Texeira, M.; Staiano, L.; Mastrángelo, M.; Amdan, L.; Gallego, F. 2016. An integrative index of Ecosystem Services provision based on remotely sensed data. Ecological indicators. 71:145-154

Diversidad de tipos funcionales de ecosistemas

1. Objetivo del indicador

Definir tipos de ecosistemas en base a su funcionamiento, específicamente la dinámica estacional de las ganancias de C. E número de tipos funcionales de ecosistemas y su abundancia relativa define la dimensión funcional de la biodiversidad

2. Descripción

Los tipos funcionales de ecosistemas se definen como un grupo de ecosistemas que comparten características funcionales, incluyendo la cantidad y temporalidad del intercambio de materia y energía entre la comunidad biótica y su ambiente. Se definen independientemente de la estructura de la vegetación y pueden definirse en base a diferentes aspectos de los flujos de materia/energía. En el enfoque aquí expuesto se centra en la dinámica de la producción primaria, uno de los atributos funcionales esenciales y más integradores de los ecosistemas.

3. Relevancia (vínculo con biodiversidad)

La caracterización de los elementos de la biodiversidad como unidades funcionales permite la evaluación de los efectos de los cambios en el uso del suelo y la variabilidad climática.

4. Definición y forma de cálculo:

NDVI a partir de teledetección, con la identificación de tres rasgos de las curvas estacionales del NDVI: la integral anual, el rango anual relativo del NDVI y la fecha de máximo NDVI

5. Metodología de muestreo

Descripción, clasificación y mapeo de la vegetación utilizando rasgos derivados de la dinámica estacional del NDVI mediante teledetección, como aproximación a la cantidad y estacionalidad de la PPN.

6. Fuente de datos

Imágenes satelitales

7. Escala

País/sección policial/unidad productiva

8. Alcance geográfico

Sur de América del Sur

9. Bibliografía:

Paruelo, J., Jobbágy, E. & Sala, O. Current Distribution of Ecosystem Functional Types in Temperate South America. *Ecosystems* 4, 683–698 (2001). // Baeza S., Paruelo J.M. y Altesor A. 2006. Caracterización funcional de la vegetación del Uruguay mediante el uso de sensores remotos. *Interciencia*. 31:382-387// Alcaraz-Segura D., Paruelo J.M. y Cabello J. 2006 Current distribution of Ecosystem Functional Types in the Iberian Peninsula. *Global Ecology and Biogeography* 15:200-210. // Alcaraz-Segura, D., Paruelo, J.M., Epstein, H.E. and Cabello J. 2013. Environmental and human controls of ecosystem functional diversity in temperate South America. . *Remote Sensing* 5:127-154

Índice de conservación de pastizal (icp)¹

1. Objetivo del indicador

El ICP –Índice de Contribución a la Conservación de los Pastizales Naturales del Cono Sur (en forma abreviada Índice de Conservación de Pastizales Naturales)– es una herramienta desarrollada para medir el aporte que un productor rural hace a la conservación de los pastizales naturales en la región del Cono Sur de Sudamérica tomando en cuenta las características de su establecimiento rural.

2. Descripción

Es un reflejo del porcentaje de pastizal natural remanente o naturalmente presente, en un determinado establecimiento rural. El valor final del índice estará intervenido por atributos que provienen de tres fuentes aquí denominados sistemas: 1. Sistema Pastizal: Revisa la condición o calidad de los pastizales naturales. 2. Sistema Predial: Considera composición del resto del campo, la fracción que no corresponde a pastizales naturales. 3. Sistema Externo: Evalúa la posible ubicación del establecimiento de acuerdo a su participación en Áreas de Valor Ecológico Especial o en zonas de alta transformación.

3. Relevancia (vínculo con biodiversidad)

El ICP informa sobre el estado de conservación de los pastizales naturales en escenarios productivos. De esta forma, el índice observa aspectos puros de conservación pero también otros directamente asociados a la producción, como la condición forrajera de los pastizales, es decir su capacidad para convertirse en carne o leche de manera eficiente.

4. Definición y forma de cálculo

$$ICP = PPN * ICV * (CEF - CEX - HE) * (ADPN + AGDiv) + AVEE + ATP$$

Donde:

PPN = Porcentaje de Pastizal Natural presente en el establecimiento (calculado sobre el total de la propiedad)

ICV = Índice de Cobertura Vegetal

CEF = Cobertura de Especies Forrajeras

CEX = Cobertura de Especies Exóticas

HE = Heterogeneidad Estructural

ADPN = Ambientes Distintos de Pastizal Natural

AGDiv = Agrodiversidad

AVEE = Áreas de Valor Ecológico Especial

ATP = Áreas de Transformación de Pastizales

¹ Indicador propuesto para biodiversidad no medido en esta fase

5. Unidad

Porcentaje. El puntaje final del área evaluada toma un valor en una escala entre 0 y 100, determinada por la proporción de pastizal natural en la propiedad y afectado por su condición, la participación de otros ambientes (naturales y antrópicos) y la zona donde se encuentra el campo.

6. Metodología de muestreo

La evaluación de ICP en un establecimiento rural se desarrolla mediante una breve exploración de antecedentes preliminares del campo en gabinete y una posterior visita, realizada por un técnico capacitado que no deberá demandar más de un día de trabajo.

7. Fuente de datos

Se obtienen a campo

8. Escala

Unidad Productiva

9. Alcance geográfico

Bioma Pampas y Campos

10. Limitaciones/condicionantes

El conocimiento de la zona por parte del evaluador facilita la comprensión e integración de la información de gabinete y recolectada a campo. No todos los pastizales pueden ser computados como pastizal natural para la fórmula del índice. Para ser computado como pastizal natural deberá cumplir con los requisitos establecidos por el ICP:

- Menos de 50% de cobertura de herbáceas exóticas.
- Menos del 30% de cobertura de leñosas arbóreas.
- Menos del 70% de cobertura de leñosas arbustivas.
- Más de 40 años desde un evento de deforestación de bosques nativos.

11. Bibliografía

Parera A y E Carriquiry. 2014. Manual de prácticas rurales asociadas al Índice de Conservación de Pastizales Naturales (ICP). Publicación realizada por Aves Uruguay para el Proyecto de Incentivos a la Conservación de Pastizales Naturales del Cono Sur, 204 pp.

Índice de integridad ecosistémica (IIE)²

1. Objetivo del indicador

Evaluar el estado de un ecosistema en relación a un óptimo teórico dependiente de la localización geográfica del sitio evaluado. El estado óptimo de referencia basado en el mapa de vegetación potencial (PPR-MGAP 2011)

2. Descripción

Combina diferentes características ambientales que pueden evaluarse cualitativa y cuantitativamente por un aplicador con una formación básica, se puede implementar rápidamente y cada componente del índice está directamente asociado con aspectos clave para la evaluación de la capacidad de los ecosistemas para sustentar la producción, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Su aplicación implica una evaluación de cuatro componentes: estructura de la vegetación, especies vegetales, suelo y áreas ribereñas. Es una herramienta simple y robusta para evaluar y monitorear la integridad de los agroecosistemas y la validación primaria demuestra una buena correlación con otras variables ambientales como la diversidad de la vida silvestre y el carbono orgánico del suelo.

3. Relevancia

Lo que permite el IIE es tener una medición cuantitativa del estado ambiental de un sistema productivo que permite monitorear el estado a lo largo del tiempo. Como es una herramienta aplicable por alguien con una capacitación básica, podría ser ampliamente utilizado por técnicos e incluso productores para tener un indicador de referencia. Como el resultado es descomponible en sus cuatro dimensiones (suelo, estructura de la vegetación, especies y cursos de agua) es posible evaluar e intervenir por separado en aquellos que necesiten ser mejorados. Por lo tanto puede ser utilizado como herramienta de evaluación pero también de gestión.

4. Definición y forma de cálculo

Donde, E_{ti} = puntuación de la estructura de vegetación para el potrero i , E_{spi} = puntuación de la presencia de especies para el potrero i , S_{ui} = puntuación del suelo para el potrero i , Z_{Ri} = puntuación de la zona ribereña para el potrero i , A_{Pi} = l y AP = área total del establecimiento. Dentro de cada una de las dimensiones hay cálculos específicos (ver Blumetto et al, 2019)

5. Unidad

El IIE asigna una **calificación que va de 0 a 5** a una situación determinada de un ecosistema. El valor "5" es el mejor estado teórico posible para un sitio determinado en función de la ecorregión del país en la cual se encuentra. La calificación disminuye en la medida que la situación se aleja de ese óptimo.

² Indicador propuesto para biodiversidad no medido en esta etapa.

6. Metodología de muestreo

Planilla estructurada para relevamiento visual de variables ambientales (ver hojas de campo)

7. Fuente de datos

Se obtienen a campo

8. Escala

Potrero/Unidad productiva

9. Alcance geográfico

Bioma Pampas y Campos

10. Limitaciones

No hay barreras de aplicación dado que no se requiere instrumental, ni costos de laboratorio, solo horas de un evaluador. La única limitante es la capacitación de aplicadores, situación que ahora está en vías de mejora ya que se han hecho varias instancias de capacitación para técnicos de varias instituciones. Se está trabajando en el desarrollo de una APP para celular para facilitar su aplicación

11. Bibliografía

Blumetto, O.; Castagna, A.; Cardozo, G.; García, F.; Tiscornia, G.; Ruggia, A.; Scarlato, S.; Albicette, M.; Aguerre, V. and Albin, A. (2019) Ecosystem Integrity Index, an innovative environmental evaluation tool for agricultural production systems Ecological Indicators. vol: 101 pp: 725-733

Estimaciones de modelo de estado y transición³

1. Objetivo del indicador

Caracterizar el estado de conservación de las distintas comunidades de campo natural

2. Descripción

Los Modelos de Estados y Transiciones (METs) describen la heterogeneidad estructural de los pastizales derivada del manejo ganadero con el objetivo de evaluar su estado de conservación/degradación. Representan la dinámica de las comunidades en respuesta a acciones de manejo y condiciones climáticas. A escala de establecimiento, constituyen un instrumento para el manejo adaptativo en los pastizales. A mayores escalas, los METs constituyen una herramienta para el diagnóstico del estado de salud y conservación de los pastizales. Los METs representan la dinámica de la vegetación como un conjunto de estados y las transiciones entre diferentes estados. A su vez, dentro de cada estado se pueden identificar diferentes fases.

3. Relevancia (vínculo con biodiversidad)

Se genera un protocolo general, aplicable a todos los tipos de pastizales naturales que monitorea la estructura, la función y composición de las comunidades y las asigna a un estado/fase de conservación. El protocolo de evaluación pone especial énfasis en dos aspectos, la diversidad de tipos funcionales de plantas y la abundancia de especies decrecientes con el pastoreo.

4. Definición y forma de cálculo

A partir de un protocolo de muestreo cada observación puede ser asignada a distintos estados o fases de comunidad resultantes del manejo ganadero. Se identifican 4 fases que van desde mayor a menor estado de conservación:

FASE A: + de 8cm de altura del estrato basal, con menos del 30% de cobertura del segundo estrato, con presencia de + de 2 especies decrecientes frente a pastoreo, con + del 90% de cobertura de gramíneas en el estrato basal y sin especies invasoras;

FASE B: + de 5 cm de altura del estrato basal, con presencia de especies decrecientes frente a pastoreo, con menos de 3% de suelo desnudo y más de 80% de cobertura de gramíneas, cobertura del segundo estrato variable entre 0 y 30% y porcentaje de especies invasoras variable entre 0 y 8%;

FASE C: altura del estrato basal entre 3 y 5cm, porcentaje de cobertura basal de gramíneas entre 50 y 80%, suelo desnudo menos de 3%, especies invasoras con cobertura menor a 5%, y la cobertura del segundo estrato es variable entre 4 y 40%;

FASE D: altura del estrato basal menor a 3cm, suelo desnudo variable entre 8 y 10%, cobertura del segundo estrato menor a 5% y sin especies decrecientes

³ Indicador propuesto para biodiversidad no medido en esta etapa

5. Metodología de muestreo

Para la determinación de los estados y sus fases se seleccionaron un conjunto de 14 indicadores estructurales de la vegetación, éstos son medidos en el campo en parcelas de 5x5 metros.

6. Fuente de datos

Datos de campo

7. Escala:

Potrero

8. Alcance geográfico:

Áreas de pastizales naturales del Bioma Campos y Pampa

9. Indicadores asociados:

10. Bibliografía:

Altesor, A., Gallego, Ferrón, M., Pezzani, F., López-Mársico, L., Lezama, F., Baeza, S., Pereira, M., Costa, B. y Paruelo, J.M. 2019. An inductive approach to build State-and-Transition Models for Uruguayan grasslands. *Rangeland Ecology & Management*. 72:1005-1016. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2019.06.004> Alice Altesor et al, 2019. ¿Pastizales degradados o conservados? Una descripción objetiva de la heterogeneidad generada por el manejo ganadero. En: Altesor A, López-Mársico L y Paruelo JM. 2019. Bases ecológicas y tecnológicas para el manejo de pastizales II. Serie FPTA N°69, INIA, Montevideo. pp. 168.



Determinación de emisiones GEI totales para el ganado vacuno y ovino

1. Objetivo del indicador

Cuantificar las emisiones GEI para el rodeo vacuno y ovino nacional con destino a producción de carne y lana.

2. Descripción

- Las emisiones determinadas son las siguientes:
 - Directas provenientes de los procesos biológicos involucrados en la fase de producción, o “porteras adentro”. Para ello se consideran las emisiones de CH₄ de la fermentación entérica y del manejo del estiércol.
 - Directas e indirectas de N₂O originadas por deposición de heces y orina sobre pasturas.
- Las exclusiones y otras consideraciones relativas a los cálculos se detallan en el acápite 5.

3. Relevancia

La determinación de este indicador permite cuantificar el impacto en el componente aire de la producción ganadera y su contribución al calentamiento global.

4. Niveles y alcance

Se pretende determinar las emisiones GEI en tres estratos:

- Nivel 1: Nacional
- Nivel 2: Zona agroecológica
- Nivel 3: Sección Policial

5. Metodología de cálculo

Las emisiones totales de GEI para ganado vacuno y ovino se estiman con la misma metodología descrita en las fichas metodológicas que se presentan a continuación para los indicadores de Intensidad de Emisiones de GEI por unidad de producto para ganado vacuno y ovino, para cada una de los estratos.

6. Fuente de datos para los indicadores

- Datos proporcionados por SNIG provenientes de las Declaraciones Juradas de Existencias de DI.CO.SE 2018-2019.
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), 2019.
- Datos de pesaje de ganado de remates en pantalla.
- Pesos de faena provenientes de Instituto Nacional de Carnes (INAC).

7. Limitaciones

- En la determinación de la dieta de los animales, no se consideran los aportes de energía por suplementación por falta de información disponible.
- A efectos de los cálculos, no se consideraron los vacunos de establecimientos de engorde a corral, los que representan aproximadamente el 1% del rodeo nacional.

8. Bibliografía:

- SNRCC, 2017. Tercer Informe Bienal de Actualización a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Uruguay.

Determinación de intensidad de emisiones GEI por unidad de producto para el ganado vacuno - Fase primaria

1. Objetivo del indicador

Cuantificar, mediante la determinación de indicadores, la intensidad de emisiones GEI por unidad de producto para el rodeo vacuno nacional con destino a producción de carne.

2. Descripción

- La unidad funcional corresponde a un kilogramo de carne en Peso Vivo del rodeo vacuno nacional.
- Las emisiones determinadas son las siguientes:
 - Directas provenientes de los procesos biológicos involucrados en la fase de producción, o “porteras adentro”. Para ello se consideran las emisiones de CH₄ de la fermentación entérica y del manejo del estiércol.
 - Directas e indirectas de N₂O originadas por deposición de heces y orina sobre pasturas.
- Las exclusiones y otras consideraciones relativas a los cálculos se detallan en el acápite 5.

3. Relevancia

La determinación de este indicador permite cuantificar a nivel desagregado el impacto en el componente aire de la producción ganadera y su contribución al calentamiento global.

4. Niveles y alcance

Se pretende determinar la intensidad de emisiones GEI por unidad de producto, en tres estratos:

- Nivel 1: Nacional
- Nivel 2: Zona agroecológica
- Nivel 3: Sección Policial

5. Metodología de cálculo

A continuación, se describen las consideraciones y supuestos para la determinación del indicador.

- **Procedimiento**

Emisiones

El cálculo de las emisiones se realizó basándose en la metodología Tier 2 de las Directrices del IPCC del año 2006, desarrollándose factores de emisión y parámetros país específicos.

La conversión de los resultados de intensidades de emisiones de CH₄ y N₂O a CO₂ equivalente, se realizó según la métrica GWP 100_{AR2}.

Se dividió el país en 7 zonas agroecológicas por sus características litológicas, pasturas y sistemas de producción dominante. Para cada categoría de animales declarada en

las Declaraciones Juradas de Existencias de DI.CO.SE-SNIG se asignó una dieta particular.

La población de ganado bovino fue agrupada en nueve categorías: toros, vacas de cría, vacas de invernada, novillos de más de 3 años, novillos de 2 a 3 años, novillos de 1 a 2 años, vaquillonas de más de 2 años, vaquillonas de 1 a 2 años y terneros y terneras. El ganado lechero fue excluido a efectos de estos cálculos.

Los requerimientos y la disponibilidad de forraje anual, así como la dieta, digestibilidad y contenido de nitrógeno por categoría de animales y zona agroecológica fueron estimados con base en datos de población de vacunos de carne y usos del suelo provenientes de la declaración jurada de DI.CO.SE-SNIG.

Se consideró el uso del suelo por sección policial a partir de los datos proporcionados en las declaraciones juradas de DI.CO.SE-SNIG, a saber: “campo natural y rastrojos”, “praderas artificiales permanentes”, “campo mejorado”, “campo fertilizado” y “cultivos forrajeros anuales”. Para cada uno de estos recursos forrajeros se estimó, con base en los índices de productividad presentes en la bibliografía nacional, la producción de materia seca y la calidad nutricional en términos de digestibilidad y proteína cruda.

Para las categorías de cría (100% de vacas de cría, 100% de los toros, 65% de las vaquillonas de más de 2 años y de 1 a 2 años, 70% de los terneros y terneras) pastorean únicamente sobre campo natural. Fue definido según investigación nacional, estadísticas de producción y juicio experto. Las categorías de recría e invernada (100% novillos, 100% de las vacas de invernada y 35% de las vaquillonas de 1 a 2 y de más de 2 años) pastorean en el resto de la base forrajera y, además, en el campo natural.

Las diferentes categorías fueron convertidas a Unidad Ganadera (UG) representando los requerimientos energéticos de una vaca de 380 kg de PV en mantenimiento (Crempien, 1982), lo que equivale a un consumo anual de 2.778 kg de materia seca (Berretta, 2007).

Tabla 1. Unidades ganaderas por categoría. Fuente: Instituto plan Agropecuario

Categoría	UG
Vacas de cría, vacas de invernada, novillos de más de 3 años, novillos de 2 a 3 años	1,0
Toro	1,2
Vaquillonas y novillos de 1 a 2 años	0,7
Terneros	0,4

A partir de esta información fue calculada la demanda de materia seca y la calidad de la dieta por categoría, según la base forrajera por zona agroecológica.

Para la determinación de los pesos corporales y sus variaciones anuales por categoría, fueron adoptados los siguientes criterios: para el caso de vacas de cría y toros se estableció un mismo peso estable durante todo el año y sin diferenciación entre zonas agroecológicas. Para el caso de las categorías de recría y engorde, para estimar las ganancias de peso, se consideró el promedio de datos históricos de pesaje de ganado de remates por pantalla. Los pesos máximos para las categorías de novillos de 1 a 2 años y de 2 a 3 años, vaquillonas de 1 a 2 años y vaquillonas de más de 2 se calcularon por el promedio entre el peso promedio de la categoría y el peso mínimo de la siguiente categoría.

El peso máximo de vacas de invernada y novillos es el peso de faena del Instituto Nacional de Carnes (INAC). Una vez caracterizada la población animal en función de la edad, peso, requerimientos, la dieta y su digestibilidad para cada zona agroecológica, se calcularon los factores de emisión. El factor de emisión de metano por fermentación entérica se calculó mediante la ecuación 10.21 de las Directrices del IPCC de 2006, el factor de emisión de metano por manejo de estiércol mediante las ecuaciones 10.23 y 10.24 y la tasa de excreción de nitrógeno fue calculado con las ecuaciones 10.31 y 10.32. Todos los demás parámetros utilizados fueron los parámetros por defecto brindados por las mismas Directrices, correspondientes a la situación del país.

Los factores de emisión de metano por fermentación entérica y por manejo del estiércol y la tasa de excreción de nitrógeno para el ganado vacuno de carne, se estimaron como el promedio ponderado de los factores correspondientes para todas las categorías de edad y dietas correspondientes a las distintas zonas agroecológicas. Como se mencionó anteriormente, las existencias de las diferentes categorías de ganado (dato de actividad), fueron suministradas por el SNIG del MGAP y se originan a partir de las declaraciones juradas anuales de existencias que los tenedores de ganado presentaron ante la Dirección General de Servicios Ganaderos (DICOSE) para el ejercicio 2018-2019. La declaración jurada contiene datos de cantidad de cabezas vacunas, ovinas, equinas, suinos y caprinos al 30 de junio de cada año, según categorías por edad y funciones productivas. Asimismo, contiene información sobre la estructura del uso del suelo según tipo de cobertura vegetal.

Producción de carne

A los efectos de expresar la producción de carne en volumen físico (kg de carne en peso vivo), se suman las distintas categorías de ganado (animales de diferente edad y sexo) multiplicadas por sus respectivos pesos (α), en cada una de las "cuentas", sea de existencias (stock), movimientos de ganado flaco, movimientos a plantas de faena, o consumo en los predios.

Dónde:

- $Carne_k^{t-1,t}$ denota la producción de carne en la unidad k (número de DI.CO.SE, establecimiento, empresa o región) en el año agrícola t (entre las fechas 1/7/t-1 y 30/6/t);
- $\Delta Stock_{i,k}^{t-1,t}$ es la variación de existencias de la categoría i de la unidad k entre las DJ a DI.CO.SE, entre el año t y el anterior;
- los movimientos de ganado son agrupados según sea una entrada ($Entrada_{i,k}^{t-1,t}$), o una salida del establecimiento a faena ($SalGord_{i,k}^{t-1,t}$) o a otra locación ($SalFlac_{i,k}^{t-1,t}$). Los datos de consumo dentro del establecimiento están agrupados por tipo de animal bovinos u ovinos, sin discriminar por categoría ($Cons_r^{t-1,t}$).

Para los **pesos de ganado bovino en stock y de movimiento flaco** (o de reposición), los pesos surgen de procesar los microdatos de los remates por pantalla, y computar el peso promedio ofertado por categoría y año. Para algunos años y categorías no se logró acceder a información de pesos de ganado de reposición, en este caso se imputación los pesos con el fin de completar la serie.

Para los **pesos de ganado gordo**, se utilizaron por año ganadero y a nivel nacional, los pesos medios de faena de animales en pie a partir de datos del INAC. Se observa un crecimiento en el peso en pie de faena para el ganado bovino en casi todas las categorías. Para algunos años y categorías se utilizó una estrategia de imputación para completar la serie. Estimar los pesos de ganado ovino de reposición es desafiante debido a las limitantes de información. Para su cómputo se tomaron como referencia los pesos de faena de cada categoría año, buscando ajustar los pesos de remate por pantalla cuando estuviese disponible. Por último, los ponderadores fueron sometidos a juicio experto, para su calibración final.

A efectos de los cálculos, los filtros empleados para definir la población de interés fueron los siguientes:

a. **Se incluyen observaciones con 2 declaraciones juradas consecutivas**

Para el cálculo de la productividad a nivel desagregado es necesario que cada explotación tenga una DJ de stock al inicio y otra al cierre del ejercicio, para poder estimar la diferencia de inventarios entre dos momentos del tiempo.

b. **Se excluyen productores lecheros**

Se filtran aquellos productores con al menos una cabeza declarada de ganado lechero. El ganado de razas lecheras es en general más pesado, se debería utilizar pesos diferentes y realizar un estudio específico para estimar la producción de carne de razas lecheras.

c. **Se excluyen plantas procesadoras (frigoríficos, mataderos y chacinerías), organismos oficiales, importadores y exportadores de ganado, corrales de engorde e intermediarios (consignatarios, rematadores, locales feria).**

d. **Se excluyen tenedores de ganado sin tierra.**

Observar que la producción de carne del ganado de los productores sin tierra se computa en el lugar físico que se generó la ganancia. Es decir, se toma un criterio de localización física y no de propiedad para estimar la producción de carne.

e. **Se excluyen explotaciones con menos de 5 has de superficie de pastoreo.**

f. **Se excluyen explotaciones con nivel de carga muy altas ($\frac{UG}{SupP} > 3$)**

Con este filtro se busca excluir declaraciones juradas con información no consistente entre dotación y superficie, y corrales de engorde no identificados como tales. Aplicando los filtros del 1 al 5 se encuentra que más del 95% de las observaciones poseen niveles de carga total (dotación bovina, ovina y equina/ Sup. Pastoreo) menor a 3.

g. **Se excluyen observaciones con valores muy altos de rotación vacuna**

$$\left(\frac{Entradas+Salidas}{Stock} < 3 \right)$$

Con esta restricción se busca excluir a predios intermediarios no declarados como tales (rematadores, consignatarios, entre otros). Aplicando los filtros del 1 al 6, se encuentra que el valor 3 acumula más del 96% de las observaciones.

h. **Se excluyen explotaciones con una variación de UG entre ejercicios mayor al 100%**

Con este filtro se busca quitar observaciones con variaciones muy abruptas del stock. Aplicando los filtros 1 al 7 más del 96% de las observaciones poseen una variación de la dotación menor a 3.

- i. La **variación de la superficie de pastoreo** entre ejercicios se encuentra **entre -50% y 50%**

Con esta condición se busca excluir observaciones con variaciones muy grandes en la superficie. Aplicando los filtros del 1 al 8 el 99% de las observaciones poseen un valor de superficie menor o igual al doble de la superficie del año anterior.

- j. **Con nivel de inconsistencia** entre las declaraciones juradas de stock de vacunos y movimientos trazados **entre -50% y 50% del stock vacuno**

Aplicando los filtros 1 al 9 el 90% de las observaciones poseen un nivel de error menor en valor absoluto al 50% del stock. Como se comentará más adelante esta variable es importante porque distorsiona las estimaciones de productividad.

- k. **Producción de carne total y bovina mayor a cero**

Al aplicar los filtros 1 al 10 el 10% de las observaciones poseen valores de producción de carne vacuna menores o igual a cero. Como se comentará más adelante, la producción negativa se explica por predios con inconsistencia en los datos.

6. Fuente de datos para los indicadores

- Datos proporcionados por SNIG provenientes de las Declaraciones Juradas de Existencias de DI.CO.SE 2018-2019.
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), 2019.
- Datos de pesaje de ganado de remates en pantalla.
- Pesos de faena provenientes de Instituto Nacional de Carnes (INAC).

7. Limitaciones

- En la determinación de la dieta de los animales, no se consideran los aportes de energía por suplementación por falta de información disponible.
- A efectos de los cálculos, no se consideraron los vacunos de establecimientos de engorde a corral, los que representan aproximadamente el 1% del rodeo nacional.

8. Bibliografía:

- SNRCC, 2017. Tercer Informe Bienal de Actualización a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Uruguay.
- Aguirre, E. (2018). Evolución reciente de la productividad ganadera en Uruguay (2010-2017). Metodología y primeros resultados. Anuario OPYPA, 457-470. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/ProductividadGanadera.pdf>.

Determinación de intensidad de emisiones GEI por unidad de producto para el ganado ovino – Fase primaria

1. Objetivo del indicador

Cuantificar, mediante la determinación de indicadores, la intensidad de emisiones GEI por unidad de producto para el rodeo ovino nacional con destino a producción de carne y lana.

2. Descripción

- La unidad funcional corresponde a un kilogramo carne equivalente del rodeo ovino nacional.
- Las emisiones determinadas son las siguientes:
 - Directas provenientes de los procesos biológicos involucrados en la fase de producción, o “porteras adentro”. Para ello se consideran las emisiones de CH₄ de la fermentación entérica y del manejo del estiércol.
 - Directas e indirectas de N₂O originadas por deposición de heces y orina sobre pasturas.
- Las exclusiones y otras consideraciones relativas a los cálculos se detallan en el acápite 5.

3. Relevancia

La determinación de este indicador permite cuantificar a nivel desagregado el impacto en el componente aire de la producción ganadera y su contribución al calentamiento global.

4. Niveles y alcance

Se pretende determinar la intensidad de emisiones GEI por unidad de producto, en tres estratos:

- Nivel 1: Nacional
- Nivel 2: Zona agroecológica
- Nivel 3: Sección Policial

5. Metodología de cálculo

A continuación, se describen las consideraciones y supuestos para la determinación del indicador.

Procedimiento

Emisiones

El cálculo de las emisiones se realizó basándose en la metodología Tier 1 de las Directrices del IPCC del año 2006, utilizándose factores de emisión y parámetros por defecto de acuerdo con las mismas Directrices.

La conversión de los resultados de intensidades de emisiones de CH₄ y N₂O a CO₂ equivalente, se realizó según la métrica GWP₁₀₀ AR2.

Las categorías de animales declaradas en las declaraciones juradas de DI.CO.SE-SNIG son: capones, carneros, borregas de 2 a 4 dientes sin encarnerar, ovejas de cría, ovejas

consumo, corderos dientes de leche, corderas dientes de leche, y corderos/as mamones, se multiplicaron por un Factor de Emisión (EF) por defecto de las Directrices del IPCC del 2006, a efectos de determinar las emisiones directas de CH₄ por fermentación entérica y manejo del estiércol, así como las emisiones directas e indirectas de N₂O por deposición de heces y orina sobre pasturas.

Se utilizaron las ecuaciones y factores de emisión que se describen a continuación, obtenidas de las Guías del IPCC del 2006:

Cuadro Nº 1 - Ecuaciones y factores de emisión según Directrices IPCC 2006

Emisiones	Ecuación	FE	Fuente
Directas de CH ₄ por fermentación entérica	10.19	5 kg CH ₄ /cabeza/año - Tabla 10.10	Cap. 10 - Vol. 4
Directas de CH ₄ por manejo del estiércol	10.22	0.15 kg CH ₄ /año/año - Tabla 10.15	Cap. 10 - Vol. 4
Directas de N ₂ O por deposición de heces y orina sobre pasturas	11.5 ⁴ , 11.1	0.01 kg N ₂ O-N - Tabla 11.1	Cap. 11 - Vol. 4
Indirectas de N ₂ O por deposición de heces y orina sobre pasturas	Volatilización 11.9	0.010 kg N ₂ O-N - Tabla 11.3	Cap. 11 - Vol. 4
	Lixiviación 11.10	0.075 kg N ₂ O-N - Tabla 11.3	Cap. 11 - Vol. 4

Las determinaciones de emisiones fueron realizadas por Sección Policial.

Producción de carne equivalente

La producción de carne equivalente tiene dos componentes:

- la producción de carne propiamente dicha
- la producción de lana expresada en carne equivalente.

El primer componente fue estimado con la misma metodología utilizada para la determinación de la producción de carne vacuna explicada supra.

Los filtros aplicados a las declaraciones juradas de DI.CO.SE-SNIG fueron los mismos para la determinación de la producción de carne ovina.

La producción de lana expresada en carne equivalente fue estimada con la siguiente metodología:

Las existencias ovinas informadas por los productores en los formularios de las declaraciones juradas de DI.CO.SE-SNIG, se encuentran discriminadas en las categorías capones, carneros, borregas de 2 a 4 dientes sin encarnerar, ovejas de cría, ovejas consumo, corderas dientes de leche, corderos dientes de leche, y corderos/as mamones, y distribuido por Sección Policial.

Los pesos vivos para cada categoría se estimaron a través de la información de pesos de lotes vendidos por pantalla de las empresas Plaza Rural y Lote 2021, a excepción de carneros para los que se estimó un valor por juicio experto. A diferencia de bovinos,

⁴ Posee asociada la ecuación 10.30 para determinación del N_{ex(T)}, a partir de un N_{rate} que surge de tabla 10.19, Capítulo 10 - Volumen 4. Guía del IPCC 2006.

se utilizó el mismo peso para todas las zonas agroecológicas (ZAE), debido a que la información de remates de ovinos no contenía valores para todas las ZAE.

Las ecuaciones de AFRC (1993) para predecir el valor energético de los aumentos de peso de los corderos en crecimiento están definidas para 3 categorías: Machos enteros, Castrados y Hembras. Por tanto, fue necesario agrupar las categorías de las declaraciones juradas de DI.CO.SE-SNIG, para determinar pesos vivos por categoría, en 4 estratos: enteros, castrados, borregas y hembras.

$$(1) EV_{\text{machos}} \text{ (MJ/kg)} = 2,5 + 0,35W$$

$$(2) EV_{\text{castrados}} \text{ (MJ/kg)} = 4,4 + 0,32W$$

$$(3) EV_{\text{hembras}} \text{ (MJ/kg)} = 2,1 + 0,45W$$

El peso vivo de los enteros se corresponde con el peso vivo de los carneros (80 kg).

El peso vivo de los castrados se corresponde con el peso vivo de los capones (44,1 kg).

El peso vivo de las borregas se corresponde con el peso de las borregas de 2 a 4 dientes sin encarnerar (39,4 kg).

El peso vivo de las hembras se calculó como un promedio de los pesos vivos de las categorías ovejas de cría y ovejas de consumo (44,4 kg).

Dichos pesos fueron ingresados en las ecuaciones 1 a 3, se obtuvieron los siguientes resultados:

Cuadro Nº 3 - Requerimientos energéticos para ganancia de 1 kg de peso vivo

	MJ/Kg peso vivo
EV enteros	30,5
EV castrados	18,5
EV borregas	19,8
EV hembras	22,1

Asimismo, de acuerdo con la publicación de AFRC (1993), producir 1 kg de vellón supone un requerimiento energético 23,7 MJ.

A efectos de determinar un factor de producción de lana por animal, se extrajeron los siguientes datos de la Encuesta Ganadera 2016:

- producción de lana a nivel país,
- número de animales esquilados a nivel país.

Posteriormente, se realizó el cociente entre la producción de lana y el número de animales a nivel país, el valor obtenido fue 3,54 kg/animal.

La producción de lana en kg por seccional policial se obtuvo a partir del producto entre el número de animales de cada categoría (excepto las corderas y corderos dientes de leche, y mamones) y el factor de producción de lana.

Se determinaron los requerimientos energéticos totales para la producción de lana nacional de las categorías evaluadas, a partir de los requerimientos energéticos para producir 1 kg de vellón (AFRC, 1993).

A partir del cociente entre el requerimiento energético para producir 1 kg de vellón y los requerimientos energéticos para incrementar 1 kg de peso vivo, se determinaron los factores de conversión para las categorías enteros, castrados, borregas y hembras, y de esa forma, determinar los kg de carne equivalente a partir de la producción de lana nacional.

Cuadro N° 4 - Factor de conversión de lana a carne equivalente

	Factor de conversión
EV enteros	0,79
EV castrados	1,30
EV borregas	1,21
EV hembras	1,09

Una vez obtenidos los factores de conversión (Cuadro N° 4), se calculó la producción de lana expresada en carne equivalente.

6. Fuente de datos para los indicadores

- Datos proporcionados por SNIG provenientes de las Declaraciones Juradas de Existencias de DI.CO.SE 2018-2019,
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), 2019.
- Datos de pesaje de ganado de remates en pantalla.
- Pesos de faena provenientes de Instituto Nacional de Carnes (INAC)

7. Limitaciones

- No se considera el aporte de energía de suplementación en la determinación de la dieta de los animales por falta de información.
- A efectos de los cálculos no se consideraron los vacunos de establecimientos de engorde a corral, los que representan aproximadamente el 1% del rodeo nacional.
- Para ovinos se emplearon factores de emisión por defecto únicos para todo el país, lo que impide ver la variabilidad del efecto de las zonas, tanto en calidad de la dieta como otros parámetros que determinan las emisiones.

8. Bibliografía:

- SNRCC, 2017. Tercer Informe Bienal de Actualización a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Uruguay.
- Aguirre, E. (2018). Evolución reciente de la productividad ganadera en Uruguay (2010-2017). Metodología y primeros resultados. Anuario OPYPA, 457-470. Disponible en:
https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura_pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura_pesca/files/documentos/publicaciones/ProductividadGanadera.pdf.

Huella de carbono parcial de la lechería uruguaya⁵

Fase primaria

1. Objetivo del indicador

Estimar mediante la determinación de indicadores, la huella de carbono parcial de la lechería.

2. Relevancia

La determinación de este indicador permite cuantificar a nivel desagregado el impacto en la calidad del aire de la producción lechera y su contribución al calentamiento global.

3. Niveles y alcance: Se pretende estimar la huella de carbono parcial de la lechería uruguaya, en dos estratos

- Nivel 1: Nacional
- Nivel 2: Modelos lecheros INALE

4. Metodología de cálculo

A continuación, se describen las consideraciones y supuestos para la determinación del indicador.

Enfoque de ciclo de vida y límites

Se utilizó un enfoque de ciclo de vida parcial que permite dar cuenta de todos los procesos, insumos, y productos involucrados en la secuencia de etapas de la elaboración de un producto o del funcionamiento de un sistema de producción, dentro de una determinada delimitación del sistema, debidamente definida en base a los objetivos de estudio de cada caso. En el presente estudio, se delimitó el sistema desde la “cuna” hasta la portera del predio, por esta razón, se trata de una huella parcial que refleja las emisiones de las etapas primarias de la producción de leche.

Los componentes considerados fueron: las emisiones de metano por fermentación entérica del ganado lechero, las emisiones producidas por la gestión de estiércol y efluentes, las emisiones directas e indirectas por deposición de heces y orina sobre pasturas, las emisiones originadas en el uso del suelo para producir alimento para el ganado, así como las generadas en la producción y transporte de alimentos comprados fuera del predio.

Datos: encuesta lechera y modelos lecheros

Todos los datos utilizados en la estimación de la huella de carbono surgen de la encuesta lechera (en adelante, encuesta) de INALE-MGAP 2019, donde se relevó información de una muestra de 358 productores remitentes y queseros, representativa de la lechería comercial uruguaya.

⁵ Refiera al indicador de emisiones de GEI por unidad de producto para la fase primaria de la lechería, aplicando en este caso un enfoque de ciclo de vida parcial.

Para este trabajo se consideró únicamente los productores lecheros remitentes a la industria⁶, de esta forma, los queseros quedaron excluidos de la estimación en esta oportunidad.

La encuesta cubre información detallada relativa al rodeo lechero, a la producción, a la reproducción y recría, al uso del suelo y la tecnología forrajera y de cultivos, a la compra de alimentos y suplementos, y a la infraestructura de ordeño y de gestión de efluentes, entre otros aspectos informativos [INALE (2021)].

Siempre que resultó posible, se utilizaron los datos a nivel individual. Sin embargo, para la presentación y comunicación de los resultados, así como para la estimación de ciertos parámetros, se utilizó la información agrupando por modelo de establecimiento lechero [INALE (2022)].

Los modelos lecheros son una forma de estratificación de los establecimientos lecheros remitentes en donde la primera variable es la escala del establecimiento (medida como producción total anual de leche), y dentro de cada estrato de escala, se segmenta según el nivel de productividad del establecimiento respecto a la mediana del estrato, donde la productividad es medida como litros de leche por hectárea vaca masa.

En el cuadro 1, se muestra información descriptiva de la población analizada, agrupada de acuerdo a los modelos recién presentados.

Cuadro 1. Resumen descriptivo encuesta lechera 2019. Productores remitentes.

Modelo INALE 2019	Descripción: litros totales y litros / haVM	Cantidad productores N°	Producción leche litros/año	Vacas Ordeño cabezas	Carga VM/ha VM	Productividad animal L/VO/día	Productividad tierra L/ha VM
M1	<142.000	426	83.492	23	0,92	9,8	2.441
M2B	<280.000 y <3.600	217	191.569	44	0,75	12,0	2.447
M2A	<280.000 y >3.600	214	206.855	35	1,09	16,2	4.792
M3B	<480.000 y <4.200	200	371.882	67	0,71	15,1	2.756
M3A	<480.000 y >4.200	232	362.679	51	1,06	19,5	5.961
M4B	<945.000 y <5.100	215	696.181	120	0,81	15,9	3.572
M4A	<945.000 y >5.100	219	682.031	95	1,28	19,7	7.069
M5B	>945.000 y <6.000	187	1.686.827	238	0,91	19,4	4.812
M5A	>945.000 y >6.000	173	1.828.024	234	1,23	21,4	7.360
M6	*	78	4.965.120	682	1,10	19,9	6.272
Total/Prom.		2.161	738.634	109	0,99	18,5	5.068

Referencias metodológicas

Para la estimación de las emisiones de la mayoría de los componentes de la huella se siguieron las guías metodológicas pautadas por IPCC (2006) e IPCC (2019). Para las estimaciones que se desvíen de dichas pautas, sea debido a su especificidad o por vacíos puntuales de la metodología, esto se indica expresamente.

La guía de IDF (2015) propone una pauta paso a paso para el cálculo de huellas bajo la perspectiva de ciclo de vida, en el contexto específico de la producción lechera. Dicha guía se construye a partir de otros desarrollos metodológicos complementarios y ampliatorios.

La guía LEAP (2015) define el enfoque del ciclo de vida utilizado en este trabajo; propone algunos criterios para las estimaciones de consumos de alimentos; y detalla aspectos metodológicos complementarios con las otras referencias.

⁶ Esta submuestra de 294 remitentes representa en términos expandidos a 2161 establecimientos remitentes.

Para los cálculos de equivalencias entre gases de efecto invernadero, en este trabajo se utilizó la métrica del potencial de calentamiento global en 100 años, GWP_{100AR2} , en donde una determinada cantidad de CH_4 tiene un potencial de calentamiento equivale a 21 veces el de esa cantidad de CO_2 , y una unidad de óxido nitroso equivale a 310 veces esa cantidad de CO_2 [IPCC (1996)]. En la sección de sensibilidad y robustez, se presentan los resultados de la huella para diferentes métricas.

Componentes de la huella

Las emisiones de gases de efecto invernadero que componen la huella y que fueron consideradas en esta estimación fueron: emisiones de metano por fermentación entérica del ganado lechero (tanto vacas masa como vacas de cría); emisiones de metano y de óxido nitroso por gestión de efluentes y estiércol; emisiones desde suelos gestionados por agregados de heces y orina del ganado; emisiones por el uso del suelo para la producción de cultivos, forrajes, y pasturas; emisiones debidas al uso de electricidad; y emisiones generadas en la producción y transporte de alimentos importados desde fuera del predio.

No se consideraron emisiones debidas a cambios de uso del suelo por restricciones de información disponible para las mismas parcelas en paneles largos de al menos 20 años. Podría esperarse que no haya grandes cambios de uso de suelo debido a que la actividad lechera se desarrolla territorialmente en las cuencas tradicionales, cuya ubicación geográfica se remontaría varias décadas sin expansiones recientes. De todas formas, sería interesante testear esta hipótesis en futuras estimaciones de huellas de carbono lecheras.

Siguiendo las recomendaciones de IDF (2015), no se consideraron remociones de carbono en suelo. La inclusión de este componente, que potencialmente puede afectar de forma significativa los resultados, deberá esperar por el avance y maduración de los trabajos empíricos de investigación nacional.

Fermentación entérica

Las emisiones de metano por fermentación entérica, según la lógica del IPCC, se estiman como el producto entre un factor de emisión individual y el nivel de actividad, en este caso cantidad de animales por cada categoría.

La clave para el cálculo del factor de emisión consiste en la determinación de la energía bruta ingerida por los animales a partir de los requerimientos energéticos netos para sus distintos procesos fisiológicos, y de la digestibilidad de la dieta ingerida (ecuaciones 10.8, 10.3, 10.4, 10.13, 10.6, 10.16).

Para adecuarse al formato de la información disponible, se realizó el supuesto de que las vacas de categorías de cría no gestan ni lactan (por lo que no requieren energía para estas funciones), y que las vacas en ordeño no ganan peso (no requieren energía para esta función), de esta forma, todas las ganancias de peso son asignadas a la cría, y todas las gestaciones son asignadas a las vacas maduras.

Para la estimación de la energía neta demandada para mantenimiento (ecuación 10.3), se utilizó el peso promedio de las vacas masa relevado en la encuesta, para las crías se calculó un peso ponderado por establecimiento, de acuerdo a la cantidad de animales por categoría, al peso las vacas maduras del establecimiento, y a una proporción teórica del peso maduro según categoría, tal como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 2. Peso relativo de las categorías de recria.

Categoría	Proporción peso vaca masa
4. Vaquillonas preñadas o servidas	84,9%
5. Vaquillonas más 2 s/servicio	56,6%
6. Vaquillonas 1-2 sin servicio	49,1%
7. Terneras < 1 año	28,3%

Para la estimación de la energía neta demandada para lactancia (ecuación 10.8) se utilizan los datos de producción anual de leche, el porcentaje promedio anual de grasa en la leche, y la relación vaca ordeñe en el total de las vacas masa por establecimiento, información relevada en la encuesta.

Para la estimación de la energía neta demandada por preñez (ecuación 10.13) se estiman los días de preñez promedio en un año dado, a partir del intervalo entre el parto y la concepción, dato relevado en la encuesta⁷.

Para la estimación de la energía neta demandada por ganancia de peso en la recria (ecuación 10.6), además del peso maduro y del peso de las recrias cuya forma de cálculo se reseñó líneas arriba, se necesita estimar la ganancia diaria de peso, la cual a su vez es estimada tomando el criterio de que el animal gana su peso maduro menos su peso al nacer 14 meses después del primer servicio. La edad al primer servicio surge de la encuesta y está disponible para cada establecimiento, mientras que el periodo de 14 meses posteriores es un supuesto homogéneo para todos los tambos.

El parámetro DE% (digestibilidad media de la energía), de central importancia para las emisiones ruminales, es el promedio de las digestibilidades de los alimentos consumidos, ponderada por el peso del consumo de cada alimento en el consumo total de alimentos (en materia seca o en energía).

La encuesta brinda información detallada de las reservas forrajeras y suplementos ofrecidos a cada categoría, sin embargo, no brinda información sobre la parte de la dieta que se cubre con consumo de pasturas mediante pastoreo. Para poder ponderar cada alimento consumido y poder caracterizar la dieta por completo, es necesario estimar cuál es el consumo de pasto.

El procedimiento seguido para obtener el consumo de pasto, consistió en expresar todo el consumo de reservas forrajeras, granos, y concentrados, conocido mediante la encuesta, en términos de Energía Neta de lactancia, y sustraerlo de la Energía Neta requerida total antes estimada. Este resultado permite obtener el consumo de pasto (expresado en términos de energía neta) y ponderar la dieta (y sus características de digestibilidad) según las proporciones ingeridas de pasto y de reservas en el total de energía ingerida.

Las características energéticas de los forrajes y concentrados se tomaron de INIA (2004). En el caso de las pasturas, las características de digestibilidad surgen de la "biblioteca" de alimentos incluida en el modelo CIPIL desarrollado por Astigarraga (2004). Si bien los datos de consumo de reservas y concentrados por vaca están disponibles a nivel individual, se optó por considerarlos agregados a nivel de modelo

⁷ Se calculó el periodo interpartos, en meses, como el intervalo parto concepción más 9 meses, la duración de la preñez. A su vez, los días promedio al año de preñez, fueron calculados como el cociente entre la duración de una preñez y el periodo interpartos, multiplicado por los 12 meses de un año, multiplicado por 30 días de un mes.

lechero. Los refinamientos de la metodología de estimación del consumo de pasto quedan como una línea de ampliación futura de investigación.

Finalmente, existe otro conjunto de parámetros y coeficientes implicados en las ecuaciones consignadas en el recuadro 1 cuyos valores concretos se podrían aceptar como invariantes y que fueron tomados de las tablas sugeridas por IPCC (se anexan en tabla A1 a modo de registro).

Recuadro 1: Emisiones de fermentación entérica, IPCC (2006).

$$\text{Energía neta lactancia: } NE_l = Milk \times (1.47 + 0.4 \times Fat) \quad (10.8)$$

$$\text{Energía neta mantenimiento: } NE_m = Cf_i \times (Weight)^{0.75} \quad (10.3)$$

$$\text{Energía neta actividad: } NE_a = C_a \times NE_m \quad (10.4)$$

$$\text{Energía neta preñez: } NE_p = C_a \times NE_m \quad (10.13)$$

$$\text{Energía neta crecimiento: } NE_g = 22.02 \times \left(\frac{BW}{C \times MW} \right)^{0.75} \times WG^{1.097} \quad (10.6)$$

$$\text{Energía Bruta: } GE = \left[\frac{\left(\frac{NE_m + NE_a + NE_l + NE_p}{REM} \right) + \left(\frac{NE_g}{REG} \right)}{\frac{DE\%}{100}} \right] \quad (10.16)$$

$$\text{Factor de emisión: } EF = \left[\frac{GE \times \left(\frac{Y_m}{100} \right) \times 365}{55.65} \right] \quad (10.21)$$

Milk = kilos de leche al día, Fat = porcentaje de grasa; Weight = peso vivo; BW=peso vivo animal en crecimiento, MW= peso vivo animal maduro, WG= ganancia diaria de peso; DE%= digestibilidad de la dieta; Y_m = factor de conversión de la energía bruta en metano.

Emisiones de gestión de efluentes

Los recuadros 2 y 3 presentan las ecuaciones utilizadas en la estimación de GEI originadas en la gestión de estiércol y efluentes.

El factor de emisión de metano de gestión de efluentes por cabeza (ecuación 10.23) requiere conocer dos cuestiones clave; en primer lugar, el contenido de sólidos volátiles de las heces (ecuación 10.24), es calculado en función de la energía bruta y de la digestibilidad de la dieta, previamente calculadas, además, el contenido de energía perdida en la orina y el contenido de cenizas de la dieta ingerida son asumidos invariantes y homogéneos, y los valores se toman de las tablas correspondientes sugeridas por IPCC (2006).

El otro componente clave involucrado en la estimación del factor de emisión de metano de gestión de efluentes por cabeza (10.23), es un factor de conversión de metano, ponderado de acuerdo a la cantidad de estiércol gestionado en cada tipo de sistema. Los factores de conversión de metano de cada tipo de sistema (MCF_s) son tomados de tablas IPCC; la cantidad de estiércol que queda en potreros o en los sistemas de gestión, se estimó a partir de las características de infraestructura y manejo propias de cada establecimiento.

Para estimar la proporción del estiércol total que entra en el sistema de gestión, en primer lugar, se estimó el tiempo medio de permanencia en sala de ordeño y en patio de alimentación por vaca. El tiempo medio de ordeño se calculó como la semisuma del tiempo fijo de preparación del ordeño; el tiempo que está en sala la primera vaca; y el tiempo que está en sala la última vaca, que a su vez depende de la cantidad de vacas por lote y de la cantidad de órganos de ordeño; tanto el tiempo muerto por ordeño (30 minutos) como el tiempo de ordeño por vaca/órgano (7 minutos) fueron tomados como supuesto, el resto de la información surge de la encuesta y es variable a nivel individual. Para aquellos establecimientos que declaran tener patio de alimentación, se supuso que el tiempo promedio de permanencia diario es 2,77 horas, el dato es el promedio que surge de los Planes de Lechería Sostenible de DGRN (este dato no se encuentra incluido en la encuesta). Finalmente, se tomó el criterio que el total de horas diarias relevante para la generación de excretas es de 16 horas.

Una vez estimadas las fracciones que permanecen en campo y las que entran al sistema, la distribución entre los distintos tipos de sistemas se supuso fija de la siguiente forma: piletas 70%, acopio de sólidos 15%, y pozo estercolero 15%. Estas proporciones fueron calibradas para que cierren a nivel agregado con el juicio de expertos consultados; actualizar estos valores a nivel individual usando la información de la encuesta 2019 es un aspecto de mejora identificado para trabajar en próximas versiones.

La gestión de estiércol y efluentes también es responsable de emisiones directas e indirectas de óxido nitroso. El recuadro 3 presenta las ecuaciones utilizadas en la estimación de estas emisiones.

La clave dentro de este componente de la huella es el balance entre la ingesta de nitrógeno y la retención de nitrógeno por parte de las vacas lecheras. De acuerdo a la ecuación 10.32, los dos conceptos involucrados en la estimación de la ingesta, son la energía bruta consumida (cuya estimación ya se detalló párrafos arriba) y el contenido de proteína cruda de la dieta. Este parámetro (CP%) fue estimado siguiendo la misma idea detrás de la estimación de la digestibilidad media de la dieta, esto es, se ponderó en contenido de proteínas del consumo conocido de reservas y concentrados, con el contenido de proteína del consumo estimado de pasturas, tal como fue referido en la subsección correspondiente a las emisiones de fermentación entérica.

Por su parte, la retención de nitrógeno depende de la cantidad diaria de leche producida y del contenido de proteína de la leche, ambos relevados en la encuesta. Para las vacas que todavía están en desarrollo (vacas de recría), también es necesario considerar la ganancia diaria de peso y la energía neta requerida para ganar ese peso; ambos términos fueron introducidos anteriormente.

La proporción de nitrógeno manejado dentro de sistemas de gestión de efluentes, así como los otros términos involucrados en las ecuaciones del recuadro ya fueron explicados en las secciones anteriores; los demás factores y coeficientes fueron tomados de las correspondientes tablas de IPCC (2006).

Recuadro 2: Emisiones de metano por gestión de efluentes, IPCC (2006).

$$\text{Factor de emisión: } EF_T = (VS_{(T)} \times 365) \times \left[B_{0(T)} \times \frac{0.67 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \times MS_{(T,S,k)} \right] \quad (10.23)$$

$$\text{Sólidos volátiles: } VS = \left[GE \times \left(1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE \times GE) \right] \times \left[\frac{1-Ash}{18.45} \right] \quad (10.24)$$

B_{0T} = potencial de metano del estiércol, MCF=factores de conversión de metano según sistema de gestión, MS= fracción de estiércol a cada sistema de gestión; GE=energía bruta, UE= energía urinaria, Ash= contenido porcentual de ceniza de la materia seca.

Recuadro 3: Emisiones de óxido nítrico por gestión de efluentes; IPCC (2006).

$$\text{Emisión directa: } N_2O_{Dmm} = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_T + Nex_T + MS_{T,S}) \right] \times EF_{3(S)} \right] \times \frac{44}{18} \quad (10.25)$$

$$\text{Volatilización: } N_{volat.MMS} = \sum_S \left[\sum_T \left[(N_T \times Nex_T \times MS_{T,S}) \times \left(\frac{FracGasMS}{100} \right)_{T,S} \right] \right] \quad (10.26)$$

$$\text{Tasa excreción: } Nex_T = N_{intake T} \times (1 - N_{retent. T}) \times 365 \quad (10.31)$$

$$\text{Ingesta nitrógeno: } N_{intake} = \frac{GE}{18.45} \times \left(\frac{CP\%}{6.25} \right) \quad (10.32)$$

$$\text{Retención nitrógeno: } N_{retention} = \left[\frac{Milk \times \left(\frac{Milk PR\%}{100} \right)}{6.38} \right] + \left[\frac{WG \times \left[268 - \left(\frac{7.03 \times NEg}{WG} \right) \right]}{6.25 \times 1000} \right] \quad (10.33)$$

N_T = vacas categoría T; CP%= porcentaje proteína cruda de la dieta; Milk PR% = porcentaje proteína de la leche

Los demás coeficientes y parámetros involucrados en las ecuaciones establecidas en los recuadros 2 y 3, cuyos valores concretos se podrían aceptar como invariantes, fueron tomados de las tablas sugeridas por IPCC (se anexan en tablas A2 y A3).

Emisiones de suelos gestionados por deposiciones de heces y orina

Las emisiones directas e indirectas de óxido nítrico producidas por la deposición de heces y orina en los potreros se estima de acuerdo a las ecuaciones consignadas en el recuadro 4. Todos los elementos relevantes para dichas estimaciones, comenzando por la proporción de heces y orina que quedan en pasturas y potreros, ya han sido introducidos en las subsecciones anteriores; los demás factores y coeficientes estándar y comunes a todos los predios, fueron tomados de las ya referidas tablas sugeridas por IPCC (2006).

Recuadro 4: Emisiones de óxido nítrico desde campo por heces y orina, IPCC (2006).

$$\text{Emisión directa de suelo: } N_2O_{direct N} = [(F_{SN} + F_{ON}) \times EF_1] + [F_{PRP} \times EF_{3 prp}] \quad (11.1)$$

$$\text{Indirectas volatiliz.: } N_2O_{ATD N} = [(F_{SN} \times frac_{gasf}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{gasm})] \times EF_4 \quad (11.9)$$

$$\text{Indirectas lixiv./escorr.: } N_2O_L N = (F_{SN} + F_{ON} + F_{PRP}) \times Frac_{leach H} \times EF_5 \quad (11.10)$$

F_{SN} = nitrógeno en fertilizantes sintéticos, F_{ON} =nitrógeno fertilización orgánica, F_{PRP} =nitrógeno en heces y orina en potreros y praderas

Emisiones del uso del suelo por pasturas y cultivos

El uso de fertilizantes genera emisiones directas e indirectas por la aplicación de nitrógeno en los suelos. En adición, la producción industrial de los fertilizantes también es una actividad emisora de gases de efecto invernadero. La presente huella incluye ambas fuentes de emisiones.

El uso de fertilizantes en los predios lecheros fue minuciosamente relevado en la encuesta, tanto en cantidad como en tipo de fertilizante. La metodología para la estimación de emisiones sigue las ecuaciones 11.1, 11.9 y 11.10 del recuadro 4.

Por el lado de la producción de los fertilizantes, se aplicó un factor de emisión para cada tipo de fertilizante de acuerdo a la tabla A4 del anexo, elaborada de acuerdo a Davis y Haglund (1999).

Para los demás aspectos relevantes en cuanto a las emisiones originadas por el uso del suelo para la producción de alimentos (laboreos, producción de semillas, y herbicidas) se utilizaron coeficientes técnicos que reflejan la tecnología forrajera y agrícola estándar, y sobre estos factores tecnológicos se aplican los factores de emisión teóricos [Astigarraga (2004)]. Con estos elementos, se construye un factor de emisión, en términos de CO₂ equivalente, por hectárea de rotación lechera, diferenciado según se trate de rotación vaca masa o de rotación de recria. Finalmente, estos factores se aplican a la superficie de dichas rotaciones, dato relevado en la encuesta, para cada establecimiento.

Emisiones generadas en la producción y distribución de alimentos comprados

La huella de carbono incluye las emisiones generadas en la producción y el transporte de cultivos forrajeros y concentrados que son producidos en otros establecimientos y llevados al establecimiento lechero. La cantidad y el tipo de alimento importado surge directamente de la encuesta. Para cada tipo de alimento comprado se utilizó un factor de emisión teórico que surge de la tecnología media de producción del referido cultivo; a estos factores, se le agrega un factor de emisión por el transporte del alimento, que asume una distancia media transportada de 15 kilómetros para los voluminosos y de 50 kilómetros para los concentrados.

Emisiones del uso de electricidad

Desde el enfoque de ciclo de vida, es necesario incluir en la huella de carbono de la leche, aquellas emisiones generadas en la producción de la energía eléctrica que se consume en el proceso de producción de la leche. En la encuesta se relevó el consumo eléctrico total de los predios, que se explica principalmente por el consumo del ordeño y de los tanques de frío.

A esta cantidad se la multiplicó por un factor de emisión de la generación eléctrica de 0.032 kg co₂ eq / kWh, este factor fue calculado a partir de información de los balances energéticos y es específica para la estructura energética uruguaya y para los años relevantes [MIEM (2021)]

Unidad funcional y factor de asignación

Siguiendo las recomendaciones metodológicas de IDF (2015) y de LEAP (2015), se tomó como unidad funcional para la huella de carbono de la fase primaria de la lechería, 1 kilo de leche corregida por grasa y proteína (FPCM por sus siglas en inglés).

La información relevante para expresar la producción en estos términos, a nivel individual, es obtenida de la encuesta.

Una característica distintiva de la producción lechera consiste en que como producto complementario de la actividad principal, la producción de leche, también se produce carne, por ese motivo un aspecto metodológico importante es la correcta asignación de las emisiones a cada uno de estos productos. A tales fines, se estimó, a partir de información individual relevada en la encuesta⁸, un factor de asignaciones de emisiones entre carne y leche de acuerdo a la siguiente fórmula [IDF (2015)]:

Factor de asignación = $1 - 6,04 * \text{kilos de carne} / \text{kilos de leche}$

Oportunidades de mejora identificadas

Se identificaron un conjunto de oportunidades de mejora de la metodología que podrían ser abordadas como líneas de trabajo en próximas versiones del trabajo. Se listan a continuación de forma resumida.

- Realizar la estimación de reserva y concentrado consumida por establecimiento, en sustitución de la estimación por modelo).
- Refinamiento de la estimación del consumo de pasto.
- Refinar la definición y características del pastoreo a partir de la encuesta.
- Realizar la agrupación por sistemas, en sustitución de estimación por modelos.
- Refinamiento de las proporciones de estiércol a los distintos subsistemas de gestión, según la información individual de la encuesta.
- Imputación de datos según modelización de la variable a imputar.
- Refinar rotaciones vaca masa y recria a partir de encuesta.

5. Fuente de datos

- Encuesta de INALE-MGAP 2019
- Planes de Lechería Sostenible (DGRN)

6. Referencias y bibliografía

Astigarraga L. 2004. Desafíos técnicos de la intensificación. FPTA 101, INIAFUCREA, Facultad de Agronomía. [En línea].

<http://www.fucrea.org/informacion/index.php?TypeId=15&ClassId=49&Id=11>

Davis, J. and Haglund, C. 1999. Life Cycle Inventory (LCI) of Fertiliser Production. Fertiliser Products Used in Sweden and Western Europe. SIK-Report No. 654. Masters Thesis, Chalmers University of Technology.

IDF (International Dairy Federation). 2015. A common carbon footprint approach for dairy. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology for the dairy sector. Bruselas, Bélgica.

INIA 2004. Mieres, J. M. Guía para la alimentación de rumiantes. Serie técnica No. 142.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 1996a. Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual, London, U.K.

⁸ La producción de carne relevante de acuerdo a la metodología IDF, es el peso vivo de vacas de refugio vendidas en el año de referencia. Tanto el peso medio de las vacas, como la cantidad de vacas refugadas se obtuvieron de la encuesta

IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan. Vol. 10 y 11. 141 p.

IPCC 2019, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland.

Instituto Nacional de la Leche. 2021. Resultados definitivos Encuesta Lechera 2019. En línea: <https://www.inale.org/estadisticas/encuesta-lechera-2019-resultados-definitivos/>

Instituto Nacional de la Leche. 2022 ¿Cómo evolucionaron los sistemas de producción lecheros? Foro INALE 2022. En línea: <https://www.inale.org/todos-los-contenidos-del-foro-inale-2022/>

FAO. 2016. Environmental performance of large ruminant supply chains: Guidelines for assessment. Livestock Environmental Assessment and Performance Partnership. FAO, Rome, Italy.

Ministerio de Industria, Energía y Minería. 2021. Balance Energético Nacional 2020. Montevideo.

Anexos

1. Datos imputados

Debido a faltante de datos, o a datos individuales inconsistentes, fue necesario imputar datos en algunas variables para algunos individuos.

La edad al primer servicio fue imputada como el promedio del valor de dicha variable en el modelo INALE correspondiente, para los casos en que el dato faltase (9 casos). El mismo criterio para peso de la recria (8 casos), porcentaje de grasa y de proteína de la leche (80 casos), intervalo parto concepción (50 casos), cantidad de nitrógeno aplicado (12 casos). El consumo eléctrico de los casos sin dato, se imputó como el consumo por litro remitido, según modelo INALE, y se escaló a la remisión declarada del establecimiento (73 casos).

2. Tablas de coeficientes y parámetros.

Tabla A1. Parámetros emisiones de CH4

Coeficientes para requerimientos energéticos			
maintenance			
Cfi (MJ d-1 kg-1)	0,322	Cattle/Bufalo (non-lactating cows)	IPCC 2006, v4, c10
Cfi (MJ d-1 kg-1)	0,386	Cattle/Bufalo (lactating cows)	IPCC 2006, v4, c10
activity			
Ca (MJ d-1 kg-1)	0,17	Pasture	IPCC 2006, v4, c10
pregnancy			
Cpregnancy	0,1	Cattle and Buffalo	IPCC 2006, v4, c10
coeficientes para gestión de estiércol			

Bo(T)	0,13	maximum methane producing capacity for manure produced by livestock category <i>T</i> , m ³ CH ₄ kg ⁻¹ of VS excreted	IPCC 2006, v4, c10
Ash	0,1	Fraction	IPCC 2006, v4, c10
parámetro de emisión de fermentación entérica			
Ym	6,5	CH ₄ conversion factor	IPCC 2006, v4, c10

Tabla A2. Parámetros emisiones efluentes y estiércol (IPCC 2006, v4, c10)

Manure Management System	Table 10.17: methane conversion factors	Table 10.21: Default emission factors for direct N₂O emissions from MM (EF3)	Table 10.22: Default values for nitrogen loss due to volatilization of NH₃ and NO_x from MM	Table 10.23: N loss mms
Pad-ran-pas	1,5			
Anaerobic lagoon	75	0	35	0,77
Liquid/Slurry	23,5	0	40	0,4
Pit storage	3	0,002	28	0,28
Dry lot	1,5	0,02	20	0,3
Solid storage	4	0,005	30	0,4
Daily spread	0,5	0	7	0,22

Tabla A3. Parámetros emisiones óxido nitroso. IPCC 2006, v4, c11)

T 11.1: DEFAULT EMISSION FACTORS TO ESTIMATE DIRECT N₂O EMISSIONS FROM MANAGED SOILS	
Emission factor	Default value
EF1 for N additions from mineral fertilizers, organic amendments and crop residues, and N mineralized from mineral soil as a result of loss of soil carbon [kg N ₂ O–N (kg N)-1]	0,01
EF3PRP , CPP for cattle (dairy, non-dairy and buffalo), poultry and pigs [kg N ₂ O–N (kg N)-1]	0,02
IPCC 2006, v4, c11	
11.3: DEFAULT EMISSION, VOLATILISATION AND LEACHING FACTORS FOR INDIRECT SOIL N₂O EMISSIONS	
Factor	Default value
EF4 [N volatilization and re-deposition], kg N ₂ O–N (kg NH ₃ –N + NO _x –N volatilized)-1 22	0,01
EF5 [leaching/runoff], kg N ₂ O–N (kg N leaching/runoff) -1 23	0,0075
FracGASF [Volatilization from synthetic fertilizer], (kg NH ₃ –N + NO _x –N) (kg N applied) –1	0,1
FracGASM [Volatilization from all organic N fertilizers applied and dung and urine deposited by grazing animals], (kg NH ₃ –N + NO _x –N) (kg N applied or deposited) –1	0,2

FracLEACH-(H) [N losses by leaching/runoff for regions where Σ (rain in rainy season) - Σ (PE in same period) > soil water holding capacity, OR where irrigation (except drip irrigation) is employed], kg N (kg N additions or deposition by grazing animals)-1	0,3
IPCC 2006, v4, c11	

Tabla A4. Parámetros emisiones manufactura de fertilizantes

Fertilizante	factor (gramos CO2 eq/ k producto)	
Fosfato Diamónico 18-46-46-0	866	Davis y Haglund
Fosfato Monoamónico 12-52-52-0	703	Davis y Haglund
20-40-40-0	866	estimado a partir de Davis y Haglund
7-40-40-0 +5S	703	jb x similitud
34-18-18-0	784	jb x similitud
25-33-33-0	784	jb x similitud
Triple quince 15-15-15-15	1124	Davis y Haglund
9-25-25-25 +3S	1124	jb x similitud
4-30-30-10 +5S	1124	jb x similitud
Superfosfato 0-18-20-0 +12S	221	Davis y Haglund
Superconcentrado 0-40-40-0 +3S	520	Davis y Haglund
Fosforita 0-10-29-0	221	jb x similitud
Fosforita con azufre 0-9-27-0 + 10S	221	jb x similitud
Urea 46-0-0-0	1848	Davis y Haglund
Urea azufrada 40-0-0-0 + 6S	1848	jb x similitud
UAN 32-0-0-0	1844	Davis y Haglund
UAN azufrado 28-0-0-0 + 5S	1844	jb x similitud
Sulfammo 26-0-0-0 + 11S	1844	jb x similitud
Cloruro Potasio 0-0-0-60	390	CIPIL
Acondicionador de suelo (Ca ó Mg)	770	CIPIL
Encalado con Calcita o Dolomita	860	CIPIL

Estimación de emisiones de CH₄ de la Fase Industrial

1. Objetivo del indicador

Cuantificar mediante la determinación de indicadores, la intensidad de emisiones de GEI, para la producción nacional de carne y leche.

2. Descripción

Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas provienen de:

- a. **Frigoríficos:** emisiones de metano asociadas a la degradación anaerobia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales
- b. **Industria láctea:** emisiones de metano asociadas a la degradación anaerobia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

3. Relevancia

La determinación de este indicador permite cuantificar las emisiones generadas por la fase industrial y su contribución al calentamiento global.

4. Nivel/es y alcance

Se pretende determinar la intensidad de emisiones GEI por rubro industrial y por unidad de producto, en tres estratos:

- 4.1. Nivel 1: Nacional
- 4.2. Nivel 2: Por establecimiento

5. Metodología de cálculo

- Se consideraron los sistemas de tratamiento de industrias lácteas y cárnicas que cuentan con unidades de tratamiento anaerobio, especialmente el relevamiento realizado para la consultoría asociada a la posibilidad de recuperación de metano de sistemas de aguas residuales industriales, realizada por el Ing. Alberto Hernández en 2021.
- La estimación de estas emisiones, consiste en utilizar los factores establecidos en el IPCC 2006, a partir de las remociones de DQO estimadas para los tratamientos de efluentes, a partir de los datos de vertido y caracterización bruta correspondiente al año en estudio, así como las eficiencias esperables a partir de las PTE operativas, para los rubros cárnicas y lácteas.
- Se utilizaron los datos de efluentes provenientes de los Informes Ambientales de Operación (IAO), para el año 2019.
- El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Estimación de emisiones en PTE industrial con sistema anaeróbico

$CH_4 = \sum (Bo \times MCF) \times (TOW - S) - R$		
CH ₄	emisiones de CH ₄ durante el año del inventario	kg. de CH ₄ /año
TOW	Total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario.	kg DQO/año
S	componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario (POR DEFECTO CERO)	kg DQO/año
R	Recuperación de metano (POR DEFECTO CERO)	Kg de CH ₄ /año
Bo	capacidad máxima de producción de CH ₄	0,25 kg de CH ₄ /kg. de DQO
MCF	factor corrector para el metano	0,8

$TOW_i = DQO_i \times 10^{-3} \times Q_i \times \text{eficiencia}$		
TOW _i	total de la materia degradable de manera orgánica en las aguas residuales de la planta i	Kg DQO/año
Q _i	Caudal de efluente de la planta i	m ³ /año
DQO _i	Carga orgánica al ingreso al sistema de tratamiento	ppm
Eficiencia	Eficiencia global del sistema de tratamiento	adimensional

- La eficiencia del tratamiento, se estimó para cada planta, utilizando los datos disponibles a partir de los proyectos de ingeniería de SADI de las empresas.

6. Fuente de datos

- Para los datos de producción del rubro lácteo, se utilizó la remisión de leche informada en las Declaraciones Juradas de Residuos, correspondientes al año 2019.
- Para los datos de producción del rubro cárnico, se utilizó la producción declarada semestralmente en los IAO en cabezas faenadas, de bovinos y ovinos, considerando un peso vivo de 479kg para bovinos, y 41 kg para ovinos.

Fuentes de información

- Proyectos de Ingeniería asociados a las Solicitudes de Autorización de Desagüe Industrial, MA.
- Informes Ambientales de Operación presentados ante el MA.
- Declaraciones Juradas de Residuos presentadas ante el MA
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero, año 2019.

7. Limitaciones

Según la huella ambiental ganadera realizada en el año 2013, las emisiones de Gases de efecto invernadero provenientes de la fase industrial de la producción de carne y leche, aportan menos de un 10% del total asociado a la producción de estos productos. Asimismo y considerando este valor, las emisiones son procedentes en primer lugar de la degradación anaerobia del efluente tratado por estos establecimientos, y en segundo lugar, por las derivadas del uso de energía para la industria, agrupado en transporte y quema de combustibles fósiles para obtención de energía según aportes decrecientes respectivamente.

El alcance de la cuantificación de las emisiones a incorporar a la huella ambiental en esta oportunidad⁹, se limita a la porción que proviene de las emisiones de metano asociadas a la degradación anaerobia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales (mayor porción de las mismas).

Obs: quedan excluidas, las aguas residuales procedentes de los criaderos de animales y tambos, por no pertenecer estrictamente al rubro industrial, pero eventualmente, podría ampliarse el alcance para abarcar estas actividades agropecuarias, en coordinación con los alcances establecidos para el sector AFOLU, cuantificados por el MGAP.

8. Indicadores asociados

Intensidad de emisiones GEI generadas por los rubros industriales de producción de carne y leche, e intensidad de emisiones de GEI por unidad de producto.

9. Bibliografía

MGAP-LATU-INIA. 2013. Primer estudio de la huella de carbono de tres cadenas agroexportadoras del Uruguay: carne vacuna, láctea y arroceras. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3485/1/Primer-estudio-huella-de-carbono-Uruguay-2013.pdf>

Ministerio de Ambiente-PNUD. 2020. Consultoría para caracterización de sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales industriales y análisis de barreras y necesidades para la recuperación de metano, para el cumplimiento de la meta establecida en la CDN de Uruguay. <https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/comunicacion/noticias/recuperacion-metano-generado-sistemas-tratamiento-aguas-residuales>

Base de datos SIA, Informes Ambientales de Operación y Declaraciones Juradas:

<https://www.ambiente.gub.uy/INFAMBIENTAL-WEB/clients/public/SofisFormLoginClient.iface>

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 5, Waste. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol5.html>

⁹ En una segunda etapa y acorde a los datos disponibles, se plantea integrar las emisiones provenientes de la quema de combustibles fósiles para obtención de energía, y luego, las asociadas al transporte de insumos.

Determinación de intensidad de emisiones GEI por superficie de pastoreo

1. Objetivo

Cuantificar, mediante la determinación de indicadores, la intensidad de emisiones GEI por superficie de pastoreo para el rodeo vacuno y ovino nacional con destino a producción de carne y lana.

2. Descripción

- La unidad funcional corresponde a un kilogramo carne equivalente del rodeo vacuno y ovino nacional.
- Las emisiones determinadas son las siguientes:
 - Directas provenientes de los procesos biológicos involucrados en la fase de producción, o “porteras adentro”. Para ello se consideran las emisiones de CH₄ de la fermentación entérica y del manejo del estiércol.
 - Directas e indirectas de N₂O originadas por deposición de heces y orina sobre pasturas.
- Las exclusiones y otras consideraciones relativas a los cálculos se detallan en el acápite 5.

3. Relevancia

La determinación de este indicador permite cuantificar a nivel desagregado el impacto en el componente aire de la producción ganadera y su contribución al calentamiento global.

4. Niveles y alcance

Se pretende determinar la intensidad de emisiones GEI por unidad de superficie bajo pastoreo, en tres estratos:

- Nivel 1: Nacional
- Nivel 2: Zona agroecológica
- Nivel 3: Sección Policial

5. Metodología de cálculo

A continuación, se describen las consideraciones y supuestos para la determinación del indicador.

Procedimiento

Emisiones

El cálculo de las emisiones para ganado vacuno y ovino se realizó basándose en la metodología descrita en las fichas metodológicas del indicador de Intensidad de emisiones de GEI por unidad de producto para ganado vacuno y ovino.

Superficie de pastoreo

La superficie de pastoreo fue determinada empleando una herramienta de monitoreo basada en el análisis de imágenes satelitales de alta resolución desarrollada por FAO y Google (Collect Earth). Las áreas para cada categoría de uso de suelo surgen de un relevamiento a nivel nacional de usos de la tierra y cambios en el uso de la tierra para el período 2000-2019, que consistió en un muestreo sistemático con una grilla de 24.789 parcelas fijas de 0,5 ha cada una (con 49 puntos de control), 19.563 de dichas parcelas situadas a una distancia de 3 km entre sí, cubriendo la totalidad del territorio nacional. La asignación de un uso de la tierra a cada parcela fue establecida por el uso dominante de cada parcela (% de la parcela), que luego fue extrapolado a un área de 900 ha. La categoría de uso de la tierra “Pastizales” (P), incluye campo natural, campo natural mejorado, praderas artificiales plurianuales y pasturas exóticas y/o con historia de siembra), siempre que no caigan dentro de la definición de tierra de cultivo. También abarca sistemas con vegetación leñosa y otro tipo de vegetación con arbustos que no cumplen con los valores límites para clasificarla como tierra forestal. La categoría “tierras de cultivo” comprende perennes (huertos, viñedos, frutales), cultivos anuales, rotación arroz-pastizal y rotación de cultivos de secano-pastizal. Las clases de cobertura consideradas fueron: 100% de área cubierta por Campo Natural, otras pasturas, y pasturas implantadas; 60% de rotación arroz-pastizal, y 50% de la rotación de cultivos de secano-pastizal.

6. Fuente de datos para los indicadores

- Datos proporcionados por SNIG provenientes de las Declaraciones Juradas de Existencias de DI.CO.SE 2018-2019.
- Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), 2019.
- Datos de pesaje de ganado de remates en pantalla.
- Pesos de faena provenientes de Instituto Nacional de Carnes (INAC).

7. Limitaciones

- No se considera el aporte de energía de suplementación en la determinación de la dieta de los animales por falta de información.
- A efectos de los cálculos no se consideraron los vacunos de establecimientos de engorde a corral, los que representan aproximadamente el 1% del rodeo nacional.
- Para ovinos se emplearon factores de emisión por defecto únicos para todo el país, lo que impide ver la variabilidad del efecto de las zonas, tanto en calidad de la dieta como otros parámetros que determinan las emisiones.
- No se incluyó en la superficie de pastoreo, ningún área asociada a la superficie de bosque nativo.

8. Bibliografía

- SNRCC, 2017. Tercer Informe Bienal de Actualización a la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Uruguay.
- Aguirre, E. (2018). Evolución reciente de la productividad ganadera en Uruguay (2010-2017). Metodología y primeros resultados. Anuario OPYPA, 457-470. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/ProductividadGanadera.pdf>.
- SNRCC, 2021. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero 1990-2019.



Erosión

El equipo que trabajó en este indicador fue integrado por el Ing. Agr. Andrés Beretta (DGRN, MGAP) y Bach. Fernando Fontes (DGRN, INIA).

1. Objetivo del indicador

Estimar el proceso de erosión hídrica ocurrido durante la producción de carne y leche.

2. Descripción

Durante la producción a campo del alimento para el ganado (para producción de leche y/o carne) ocurre erosión hídrica, tanto sea ésta producción a base de cultivos como en campo natural. El proceso de erosión hídrica es el de mayor importancia en Uruguay, y se consideran despreciable otros procesos (erosión eólica, antrópica, etc.). En este proceso el agua de precipitaciones rompe la estructura del suelo, luego el agua de escurrimiento transporta las partículas de suelo hasta otro sitio donde ocurre su sedimentación. En Uruguay se ha ajustado a nivel experimental el modelo USLE/RUSLE para estimar la erosión en sistemas productivos de diferente intensidad productiva agrícola, y actualmente se cuenta con la información necesaria para estimar dicho proceso a nivel nacional.

Al poder estimar la potencial erosión hídrica promedio anual de todo el Uruguay, se podrá adjudicar a los procesos de producción de carne y leche, un valor resultante de la contribución de cada sistema de producción de alimento para el ganado de carne o leche.

3. Relevancia

En el proceso de erosión ocurre degradación de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo, en función de que dicha pérdida sea superior a la máxima pérdida tolerable. En consecuencia, se pierde sostenibilidad del sistema productivo. Otro impacto significativo de la erosión es la generación de sedimentos que pueden llegar a los cauces de agua pudiendo alterar negativamente su composición.

4. Nivel/es y alcance

Este indicador podrá estimarse para los sistemas de producción tipo (nivel 2) y para nivel nacional (nivel 1).

5. Metodología de cálculo

Se estimará la erosión hídrica potencial [1] con base al modelo USLE/RUSLE, validado en Uruguay por García-Préchac (1992), García-Préchac y Duran (1998) y García-Préchac et al. (2013). La estimación se realizará para toda la superficie de Uruguay. Luego de tener los valores de A promedio de cada sistema productivo, se ponderará la participación de cada sistema en la producción de carne y leche.

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad [1]$$

Donde A es la pérdida media de suelo, expresada en Mg. (ha.año)⁻¹ acorde a Foster et al. (1981); R es la erosividad de la lluvia y se expresa en (MJ.mm) (ha.h.año)⁻¹; K es

el factor erodabilidad del suelo, se expresa en (t.ha.h) (ha.MJ.mm) ⁻¹; L es el factor de longitud de la pendiente, no tiene unidad de medida; S es el factor inclinación de la pendiente, no tiene unidad de medida; C es el factor de manejo del suelo, no tiene unidad de medida; y P es el factor correspondiente en caso de realizar medida de apoyo al control de la erosión, no tiene unidad de medida.

5.1. Consideraciones y supuestos para cálculo:

5.1.1. Pérdida de sedimentos en el sistema de producción de alimento

Factor LS

Para la estimación de ambos factores, L y S, se utilizará el modelo de terreno publicado por la U.S. Geological Survey (USGS) con tamaño de píxel de 90 m de lado. A partir de la capa raster de pendiente se elabora la dirección y acumulación de flujo de agua, y se estima el factor L con la metodología propuesta por Foster et al (1977) y modificada por Desmet y Govers (1996). Se limita el factor L a un máximo de longitud de 120 m. El factor S se estima acorde a Mc Cool et al (1989).

Factor R

Se utilizará la capa raster actualizada para el país por Pérez et al. (2017), actualmente incorporada en los PUMRS.

Factor K

Para adjudicar el valor K se utilizará la cartografía nacional a escala 1:1 millón y 1:40 mil donde haya información. En las chacras agrícolas que hayan presentado PUMRS se utilizará el coeficiente K asignado en el plan.

Factor C

Para la estimación del factor C es necesario identificar las clases de uso del suelo, para lo cual se utilizarán las clases identificadas por Petraglia et al. (2018): suelo desnudo; cuerpos de agua; humedales; forestación; campo natural; agricultura de secano; agricultura extensiva con riego; arroz; Horticultura/Fruticultura; montes forestales nuevos y con alta tecnología.

Para la agricultura el valor de factor C se adjudicará acorde a los valores aportados en los PUMRS, y en los cultivos exentos de presentar plan se adjudicará acorde a Dell'Acqua y Beretta (2020), para el período 2014 - 2018.

Para el Campo Natural (CN) y la Horticultura/Fruticultura (H/F), se estima primeramente el NDVI [4], luego, con dichos valores se estima el índice de cobertura vegetal (ICV) [5] (Paruelo y Oyarzabal, 2011) y por último los valores del factor C se calcularon a partir del ICV con el modelo [6] para CN y el modelo [7] para H/F. El ráster de valores medios anuales de NDVI se confeccionará a partir de lecturas de satélite MODIS, desde el año 2014 al 2020. En el ajuste de los modelos [6] y [7] se utilizaron factores de corrección de la estimación de factor C a partir del ICV, con el objetivo de que el factor C del CN promedie 0,02 acorde a Clerici y Garcia Préchac (1992) y que el valor del factor C de la categoría H/F promedie 0,106 acorde a Hill et al. (2014).

$$\text{NDVI} = (\text{banda Infra Roja} - \text{banda Roja}) / (\text{banda Infra Roja} + \text{banda Roja}) \quad [4]$$

$$\text{ICV} = 1,7207 * (\text{NDVI}) - 0,2042 \quad [5]$$

$$\text{FC (C.Natural de Uruguay)} = (10\text{E}-5 * \text{ICV}^2 - 0,0088 * \text{ICV} + 0,4302) / 2,1 \quad [6]$$

$$\text{Factor C(Horticultura /Ganadería)} = (10\text{E}-5 * \text{ICV}^2 - 0,0088 * \text{ICV} + 0,4302) * 2,6 \quad [7]$$

A la categoría de uso del suelo arroz y caña de azúcar, se les asignará valor constante de 0,059, acorde a Clerici y Molfino (1999).

Para la forestación en general se utilizará un valor fijo $C = 0,006$, salvo para las implantaciones de montes nuevos y con alta tecnología, donde se utilizará un valor $C = 0,05$.

Los valores del factor C se presentarán con una resolución de 250 x 250 m.

Factor P

Se considerará un valor de coeficiente P igual a uno para todas las categorías de usos del suelo.

5.1.2. Contribución del sistema de producción de alimento a la producción de carne

Para ponderar la cantidad generada de sedimentos de cada sistema de producción de alimento en la producción de carnes se utilizará los sub-sistemas de producción sugeridos en la publicación “Primer estudio de la huella de carbono de tres cadenas agroexportadoras del Uruguay: carne vacuna, lácteos, arroz” (2013); y en el caso de poseerse información más actualizada se procede a los ajustes necesarios (cuadro 1).

Cuadro 1. Sub-sistemas de producción ganaderos

Sistema	Tiempo (meses)	Asignación dieta	GPD (kg PV/día)	consumo diario Materia seca (kg.día-1)
Cria	12	95% CN, 5% CNm ⁽¹⁾	0,411 ⁽²⁾	9,2
Recría corta	17	47% CN, 53% CNm	0,386	8,6
Recría Larga	24	100% CN	0,274	8,6
Invernada CN	16	100% CN	0,274	8,6
Invernada P+S	6	87,6 % P, 12,4 % S	0,743	8,6
Invernada FeedLot	4	57 % S, 9 % SP, 17 % HG, 2 % HS, 14 % F, 1 % U	1,115	17,6
Invernada Vacas	4	100 % CNm	0,570	8,6

(1) CN_ campo natural, CNm_campo natural mejorado, P_ pasturas artificiales y verdes de invierno, S_suplemento (concentrados energéticos, se consideró 35% grano maíz, 35% grano sorgo; 10% silo; 10% fibra; y el restante 10% de materias primas importadas), SP_ silo planta entera, HS_ harina soja, HG_ harina girasol, F_ fibra, U_ urea; (2) dato estimado acorde a 150 kg al final de cría/365 días del año.

Es necesario contar con valores de rendimiento (en materia prima o harinas) promedio de los diferentes sistemas de producción de alimentos, los cuales se enlistan en el cuadro 2.

Alimento	rendimiento	harina o ración
	kg.ha ⁻¹ .año ⁻¹	
Maiz	5966 ⁽¹⁾	5966 ⁽²⁾
Sorgo	4253	4253
Soja	2026	1611
Girasol	1152	609
Silo planta entera	9000	
Campo Natural	3.607 ⁽³⁾	
Campo Natural Mejorado	3968	
Pastura implantada y verdes (fibra)	5400	

(1) Los rendimientos de maíz, sorgo, soja y campo natural, se extrajeron de anuario DIEA promedio de estadísticas de 2019/20 y 2020/2021; el rendimiento de girasol se adjudicó por rendimiento promedio de estadísticas 2005 a 2013; el rendimiento de campo natural mejorado se consideró 10% superior a campo natural; los rendimientos de pasturas implantadas y verdeo, y de silo planta entera, fueron adjudicados según opinión de expertos. (2) los rendimientos de harina se adjudicaron según opinión de experto. (3) para campo natural y campo natural mejorado, se consideró un aprovechamiento del 70% del rendimiento total, mientras para pasturas implantadas se consideró un aprovechamiento del 90%

Posteriormente a la estimación de pérdida de cada sistema productivo de carne, se pondera el aporte de estos sistemas a la producción total de carne nacional, acorde al sistema de producción de carne hasta el peso de faena y edad de los animales (el cuadro 3). Para la elaboración de esta información se utilizó la composición de los sistemas abordados en la Huella de Carbono (2013), la edad de los animales y la composición de la faena, por edad, aportada por INAC (www.inac.uy: [Estadísticas de Faena en Uruguay](#))

Ej. de cálculo

1° estimar la superficie necesaria para alimentar a un animal en feed lot.

Acorde al cuadro 1, un animal de feedlot consume 17,6 kg.día⁻¹ de MS, compuesta por: 10,032 kg suplemento energético, 1,584 kg de silo planta entera, 2,992 kg de harina de girasol, 0,352 kg harina de soja, 2,464 kg de fibra (se consideran henos) y 0,176 kg Urea.

2° estimar la superficie necesaria para producir las cantidades de alimentos requeridas para producir esta cantidad de alimento durante los 4 meses que dura el encierro en feedlot se necesitan cultivar:

superficie= (kg diarios*días de consumo)/rendimiento (kg.ha-1)

El rendimiento se expresa en kg grano o harina en una hectárea.

en el caso de ración sería:

superficie (ha): $(17,5 \text{ kg.día}^{-1} * 0,57) / (\text{rendimiento promedio maiz} * 0,5 + \text{rendimiento promedio sorgo} * 0,5) = 0,2389 \text{ ha.}$

3° se debe adjudicar un valor de pérdida de sedimento a esa superficie

en este caso la pérdida promedio de sedimentos para sistemas agrícolas es de 3060 kg.(ha.año)⁻¹ suelo por lo cual la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica sería de : erosión hídrica potencial= $3059 \text{ kg.}(\text{ha.año})^{-1} * (4 \text{ meses}/12 \text{ meses}) * 0,2389 \text{ ha} = 731 \text{ kg de suelo en los 4 meses.}$

Este mismo razonamiento se emplea para todas las fuentes de alimentos que ocupen un área de suelo.

4° estimación de potencial pérdida de suelo por erosión hídrica para producir un kg carne en el sub-sistema de producción.

Luego de obtener la pérdida adjudicable a cada sistema de producción de alimento involucrado en la producción, se suman las pérdidas y dividen entre la ganancia total de peso vivo del animal (cuadro 1, corregido por el peso de faena del año 2021)

$\text{kg suelo.}(\text{kg}^{-1} \text{ carne}) = \sum \text{sedimento}/\text{kg carne total producidos corregido.}$

corrección de ganancia de peso= kg totales promedio producidos por un sistema (cuadro 3)/kg promedio de faena reportada por INAC.

La corrección de producción de peso fue de 1,05, ya que acorde la información del cuadro 3 los novillos se faenarían con un peso promedio de 485 kg, pero INAC reportó un peso promedio de faena de 510,7 kg. La corrección de peso de faena se aplica por igual para cada sub-sistema de producción de carne.

En el ejemplo de feed lot la pérdida de suelo para producir un kg de carne es:

$\text{kg suelo.}(\text{kg}^{-1} \text{ carne}) = 1171 \text{ kg suelo}/142,8 \text{ kg carne} = 8,2 \text{ kg suelos}/\text{kg carne}$

5° adjudicar la pérdida de cada sub-sistema de producción de carne a cada sistema y a la producción nacional

Luego de hacer el procedimiento como se describe en los pasos 1 a 4, para cada sub-sistema de producción de carne, se deben sumar las pérdidas totales de sedimentos y dividir entre los kg totales producidos.

ej. Sistema de cria CN/recria larga/invernada FL novillos (cuadro 3)

$\text{kg pérdida}/\text{kg carne} = (\text{pérdida cria CN} + \text{pérdida recria larga} + \text{pérdida invernada FL novillos}) / (\text{kg totales producidos}).$

$\text{kg pérdida.}(\text{kg}^{-1} \text{ carne}) = (2224 \text{ kg suelo} + 8353 \text{ kg suelo} + 1171 \text{ kg suelo}) / 510 \text{ kg carne} = 23,04 \text{ kg suelo.}(\text{kg}^{-1} \text{ carne}).$

6° acorde al sistema de producción de carne y la edad de los animales que produce, se pondera su participación en la producción nacional total.

6. Fuente de datos

Factor C presentado en los PUMRS

Lecturas de NDVI obtenidas con la herramienta google engine

Raster de factor LS a partir de modelo digital de terreno, provisto por SIG-DGRN

Raster de factor R, provisto por SIG-DGRN.

Raster de factor K, provisto por SIG-DGRN.

Ponderación de participación de cada sistema de producción de alimento en la producción de carne y leche, se obtiene de OPYPA o estimación de huella de carbono del año 2014.

7. Limitaciones

Aunque se obtenga un valor promedio de cada sistema de producción de alimento, éste no debe utilizarse independientemente de la distribución geográfica, ya que la erosión depende del sitio. En caso de querer estimar la erosión a nivel de predios (nivel 2 pero no como sub-sistema tipo) debe utilizarse el valor obtenido del predio y no un valor promedio nacional del sistema productivo de alimento.

El valor obtenido no puede adjudicarse directamente a la producción ya que no se evalúa la condición de no producción.

8. Indicadores asociados:

Parte de la información aquí utilizada es necesaria para la estimación de P-Index y de Balance de P

9. Referencias y bibliografía:

Clerici y Molfino (1999).

Dell'Acqua M y Beretta A. 2020. Estimación del impacto de la implementación de la política de Planes de Uso y Manejo Responsable del Suelo en la reducción de las pérdidas de los suelos por erosión hídrica. Oficina de Planificación y Política Agropecuaria ISBN: ISSN 1510-3943. 475-483

Desmet PJJ y Govers G. 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation* 51(5):427-433.

Foster et al (1977)

Foster et al. (1981)

Renard, and W.C. Moldenhauer. 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. *J. Soil Water Conserv.* 36(6):355–359.

García-Préchac, F. 1992. Guía para la toma de decisiones en conservación de suelos: 3a. aproximación. INIA Uruguay, Montevideo, Uruguay

García-Préchac, F., and A. Durán. 1998. Propuesta de estimación del impacto de la erosión sobre la productividad del suelo en Uruguay. *Agrociencia. Uruguay* 2(1):26–36.

García-Préchac, F., M. Hill, and C. Clericí. 2013. Erosión: modelo de estimación de erosión de suelos en Uruguay y región sur de la Cuenca del Plata (programa informático). Departamento de Suelos y Aguas, Facultad de Agronomía, Universidad de la República - Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca - Banco Mundial, Montevideo, Uruguay.

Hill, Mariana, Clérici, Carlos, Mancassola, Victoria, & Sánchez, Gabriela. (2015). Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay. *Agrociencia (Uruguay)*, 19(1), 94-101. Recuperado en 03 de agosto de 2022, de http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482015000100011&lng=es&tlng=es

INAC (Instituto Nacional de Carnes). 2021. Uruguay INAC info. Recuperado el 3 de agosto de 2022 de: <https://www.inac.uy/inac/diae/faena.html>

McCool, D. K., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1989). Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 32(5), 1571-1576.

Oyhantcabal W, Becoña G, Astigarraga L, Saizar C. 2013. PRIMER ESTUDIO DE LA HUELLA DE CARBONO DE TRES CADENAS AGROEXPORTADORAS DEL URUGUAY: CARNE VACUNA, LÁCTEA, ARROCERA. Informe Final, mayo 2013. 61 p

Mariano Oyarzabal M, Bustamante L y Paruelo JM. 2011. Estimación del índice de cobertura vegetal (ICV) en campos ganaderos de los pastizales del Río de la Plata. Recuperado el 3 de agosto de: https://pastizalesdelsur.files.wordpress.com/2013/07/icv_ndvi_informe-final.pdf

Pérez Bidegain M, PiaggioJM, Baethgen W y García PréchacF. (2017). Actualización del factor erosividad de la lluvia en Uruguay. Rainfall Erosivity Factor Update in Uruguay

Petraglia C, Dell'Acqua M, Pereira G y Yussim E. (2018). MAPA INTEGRADO DE COBERTURA/USO DEL SUELO DEL URUGUAY AÑO 2018. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/comunicacion/publicaciones/mapa-integrado-coberturauso-del-suelo-del-uruguay-ano-2018>

U.S. Geological Survey (USGS)

Índice de fósforo

El equipo que trabajó en este indicador fue coordinado por el Ing. Agr. Andrés Beretta (DGRN, MGAP); Dr. Ing. Pablo Reali (DINACEA, MA); Ing. Luis Reolón (DINACEA, MA), Dr. Ing. Agr. Andrés Quincke (INIA), y Bach. Fernando Fontes (DGRN, INIA).

1. Objetivo del indicador

En este indicador se evaluará la potencial pérdida difusa de P desde el suelo, ocurrida en el proceso de producción de alimento para el ganado vacuno para producción de carne y leche.

2. Descripción

La pérdida de P desde el suelo ocurre principalmente por tres mecanismos: pérdida directa desde el fertilizante o enmienda orgánica en sistemas productivos que fertilizan; pérdida de P disuelto en el agua de escorrentía; y pérdida de P asociado al material particulado perdido durante el proceso de erosión.

3. Relevancia

La pérdida de fósforo desde el suelo contribuye a los valores de P en agua, pudiendo distorsionar las comunidades bióticas provocando deterioro de la calidad de los cuerpos de agua. A medida que los sistemas productivos se intensifican por el aumento de ciclos de cultivos y consumo de P, es esperable que las pérdidas de P desde el suelo aumenten. Es necesario evaluar estas pérdidas para tomar medidas de mitigación.

4. Nivel/es y alcance:

Este indicador podrá estimarse para los sistemas de producción tipo (nivel 2) y para nivel nacional (nivel 1).

5. Metodología de cálculo:

Para estimar la pérdida de P se utiliza la metodología propuesta para estimar el P-index. Luego de obtener el valor promedio de cada sistema de producción de alimento se ponderará la participación de cada sistema en la producción de carne y leche.

5.1. Consideraciones y supuestos para el cálculo:

5.1.1. Pérdida directa desde fertilizantes y abonos orgánicos

En esta pérdida se considera que se pierden 0,02 kg de P por cada un kg de P aportado por fertilización con fertilizante no orgánico (Perdomo, 2016) y se desprecia la posible fertilización con abonos orgánicos.

Al no poseer datos de cantidad de fertilizantes aplicados en cada cultivo, se puede asumir una fertilización promedio estimada a partir de la división de kg P importado anualmente en fertilizantes (FAOSTAT, 2020) entre la superficie anual potencialmente fertilizada en Uruguay (DIEA 2014 y 2020) y a esta cantidad se estima el 2% de pérdida. Esta pérdida se asume solo para sistemas de producción de alimentos que llevan fertilización (cultivos agrícolas, pasturas, verdeos, campo natural mejorado, etc).

[1] P fertilizante (kg.ha-1)= (importación de fertilizante/superficie fertilizada)*0,02

En campo natural se asumió una pérdida de P directa desde las heces en 0,25 kg.ha-1.año-1, acorde al aporte de P desde las heces animales [2] y la pérdida de 0,02 kg de P por cada un kg de P aportado

[2] P abono= (30 kg.día-1.UG-1*365* 0,600 kg.kg-1 materia seca*0,65 UG.ha-1*0,0029 kg.kg-1 P)*0,02

Donde P_abono es la pérdida directa desde las heces animales; 30 kg.día es la producción de heces de una animal acorde a Kvolek (2018); 600 g.kg-1 materia seca es el contenido de materia seca acorde a Barbazan (et al, 2009); 0,65 UG.ha-1 es la carga animal promedio en Uruguay acorde a DIEA (2022); y 2,9 g.kg-1 P es el contenido de P de las heces bovinas acorde a Barbazan (et al, 2009).

5.1.2. Pérdida por enriquecimiento del agua de escurrimiento

La estimación de esta pérdida se realiza con base a la información generada por Perdomo (2016; 2019). A partir del valor de P Bray en los primeros 15 cm de suelo (P_Bray15) se estima el coeficiente de estratificación [2], y con dicho valor se estima la concentración de P esperable en los primeros 2,5 cm de suelo (P_Bray2,5) al multiplicar al valor de estratificación por el valor P_Bray15 [3]. El P presente en estos primeros centímetros de suelo enriquecerá el P en agua de escorrentía acorde a la relación entre P Bray I y el P extractable en agua [4], propuesta por Perdomo (2019). Al valor de P extractable en agua se lo multiplica por el volumen en litros de agua de escurrimiento en el suelo, para obtener los kg.(ha.año)-1 de P que se exportan por esta forma [5]. El escurrimiento anual se estima con el modelo de Témez (MVOTMA, 2011) a nivel de cuencas hidrográficas nivel 4 (MVOTMA –DINAMA). Las precipitaciones para dicha simulación se obtienen del satélite TRMM con Google Engine; y el almacenaje de agua del suelo se extrae de la cartografía de suelos sugerida para grupos CONEAT 1:40000 acorde a Molfino (2009). Los valores de ETP se extraen de MVOTMA (2011).

[2] $CE=13,974 * P_Bray_{15}^{-0,536}$

Donde CE es el Coeficiente de Estratificación y P_Bray15 es el valor del contenido de P extractable con extractante Bray I (Bray y Kurtz, 1945). En los usos del suelo donde se fertiliza (campo natural mejorado, verdeos, praderas, agricultura, lechería, hortifruticultura y arroz), se asume un valor promedio igual al promedio de muestras analizadas en el laboratorio de INIA-La Estanzuela, donde el último valor promedio es del año 2017. Para el resto de las situaciones productivas (forestación y campo natural) se utiliza un valor constantes de 5 mg.kg-1

[3] $P_Bray_{2,5}= P_Bray_{15} * CE$

Donde $P_{\text{Bray}2,5}$ es la cantidad de P Bray I esperable a una profundidad de 2,5 cm, y por lo tanto susceptible de solubilizarse en agua y perderse por escorrentía.

$$[4] P_{\text{H}_2\text{O}} = (0,0066 * P_{\text{Bray}2,5} - 0,003).$$

Donde $P_{\text{H}_2\text{O}}$ es el P extractable en agua, con una relación suelo:agua de 1:100 y mediante agitación durante 2 horas a temperatura ambiente.

$$[5] P_{\text{escurrimiento}} = P_{\text{H}_2\text{O}} * \text{Escurrimiento}$$

Donde $P_{\text{escurrimiento}}$ es el P exportado ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) vía escurrimiento superficial. Escurrimiento es la cantidad de agua ($\text{L} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$) que escurre en un año.

5.1.3. Pérdida por erosión

Esta pérdida de P ocurre con la pérdida de material particulado, en el proceso de erosión. Se utiliza el modelo USLE/RUSLE para estimar los $\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{año})^{-1}$ de pérdida promedio de suelo. Para estimar el contenido de P total del suelo se utiliza la propuesta de Hernandez et al. (1995) [6], se calcula P Total superficial acorde a una estratificación de 50 % más en superficie y se le suma una cantidad adicional debido al contenido de P-Bray, de esta forma se estima el P total en superficie [7]. Al multiplicar la pérdida de suelo por el contenido de P del suelo, se obtiene la pérdida de P por erosión [8].

$$[6] P_{\text{T Hernandez}} (\text{kg} \cdot \text{Mg}^{-1}) = 7,0432 * \% \text{ arcilla} + 78,845$$

Donde $P_{\text{T Hernandez}}$ es el P total esperable en el horizonte superficial de un suelo sin fertilización previa. El contenido de arcilla se obtiene de la cartografía CONEAT con suelos modales sugerida por Molfino (2012).

$$[7] P_{\text{T superficie}} = P_{\text{T Hernandez}} * 1,5 + (P_{\text{Bray}} - 5) * 3$$

Donde el $P_{\text{T superficie}}$ es el contenido de P total esperable en la superficie del suelo de una chacra fertilizada, y susceptible de perderse por erosión hídrica. El coeficientes 1,5 surge de promediar los datos aportados por Perdomo (2019); el valor de 5 corresponde al contenido promedio ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) de P extraído con solución Bray I (Bray y Kurtz, 1945) de un suelo sin fertilizar; y el coeficiente 3 se debe a la relación entre P total/P-Bray I sugerida por Perdomo (2019).

$$[8] P_{\text{erosión}} = P_{\text{T superficie}} * A \text{ (USLE/RUSLE)}$$

Donde $P_{\text{erosión}}$ son los $\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{año})^{-1}$ totales de P que se pierden en el proceso de erosión hídrica. El valor A (USLE/RUSLE) es la pérdida anual de suelo ($\text{Mg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{año})^{-1}$) estimada a partir del modelo USLE/RUSLE.

5.1.4. Pérdida total de P

Los tres mecanismos de pérdida de P se suman y de esa forma se obtienen los $\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{año})^{-1}$ P totales que se pierden del sistema [9]

$$[9] P_{\text{PT}} = P_{\text{erosión}} + P_{\text{escurrimiento}} + P_{\text{fertilizante}}$$

Donde P_{PT} es la pérdida total anual de fósforo.

5.1.5. Contribución del sistema de producción de alimento a la producción de carne

Aquí se seguirá el procedimiento de cálculo explicado en la Ficha metodológica: EROSIÓN

6. Fuente de datos

Raster de contenido de arcilla del suelo, se obtiene de la cartografía propuesta por Molfino

raster de contenido de agua del suelo, se obtiene de la cartografía de Molfino

raster de erosión, se obtiene del indicador

raster de uso del suelo, se obtiene de SIG-DGRN

datos de lluvia mensual desde satélite TRMM, se obtiene con google engine

valores promedio de fertilización estimados a partir de estadística de importación de FAOSTAT y áreas de uso del suelo de DIEA

valores promedio de P-Bray, se obtiene de base de datos de INIA del año 2017

Ponderación del aporte de cada sistema de producción de alimentos a la producción de carne y leche, se obtiene de OPYPA o estimación de huella de carbono del año 2014.

7. Limitaciones

Aunque se obtenga un valor promedio de cada sistema de producción de alimento, éste no debe utilizarse independientemente de la distribución geográfica, ya que la erosión depende del sitio y el contenido de P total del suelo también. En caso de querer estimar la pérdida de PT de predios (nivel 2 pero no como sistema tipo) debe utilizarse el valor obtenido del predio y no un valor promedio nacional del sistema productivo de alimento.

Debido a que la metodología se basa en la estimación de erosión por USLE/RUSLE, aplican las limitaciones de esta última (ver ficha metodológica de EROSIÓN). Una de las limitaciones es que la pérdida de suelo (y por tanto de P), no es necesariamente una pérdida a los cursos de agua, pues puede ocurrir re-deposición de sedimentos en el paisaje.

El valor obtenido no puede adjudicarse directamente a la producción ya que no se evalúa la condición de no producción.

8. Indicadores asociados

Parte de la información aquí utilizada es necesaria para la estimación de Balance de P y de exportación de fósforo al agua.

Anexo

Resultados

En el cuadro siguiente se muestran las pérdidas de fósforo generadas por cada sub-sistema de producción de carne. Se considera indistinta la producción de hembras o machos, la diferencia se considera en los sistemas productivos.

Cuadro Anexo 1.

Sub-sistema	pérdida total de fósforo
	kg
Cría	2,3
Recría Corta	4,9
Recría Larga	8,3
Invernada CN	3,7
Invernada P + S	0,5
Invernada FeedLot	1,1
Invernada Vacas	0,3

(1) en la faena de terneros con 18 meses se consideró solo 6 meses de recría.

En el siguiente cuadro se enlistan las pérdidas totales de fósforo (PPT) atribuibles a cada sistema productivo y la pérdida total nacional expresada en kg P.kg⁻¹ carne producido a faena (en primera balanza).

Cuadro Anexo 2.

Sistema produccion de carne	kg P.kg carne ⁻¹
cria/recría ternero	0,015
cria/invernada FL novillos	0,012
cria/recría/invernada novillo	0,025
cria CN/recría larga/invernada P+S novillo	0,022
cria CN/recría larga/invernada FL novillos	0,023
cria CN/recría corta/invernada FL novillos	0,016
cria CN/recría corta/invernada P+S novillo	0,015
cria/recría/invernada vaca	0,028

cría/recría corta/ invernada P+S vaquillona	0,018
cría/recría corta/ invernada FL vaquillona	0,019
cria/recria Larga/invernada P+S vaca	0,024
cria/recria corta/ invernada FL vaca	0,018
Promedio Nacional	0,022

Para la estimación de los resultados del cuadro Anexo 2 se utilizó la información de los sistemas productivos expuesta en la Ficha metodológica: EROSIÓN

9. Referencias y bibliografía

Barbazán M., del Pino A., Moltini C., Hernández J., Rodríguez J. 2011. Caracterización de materiales orgánicos aplicados en sistemas agrícolasintensivos de Uruguay. Agrociencias

Becoña, G., Oyantcabal, W., Astigarraga, L., Roel, A., Saizar, C. 2013. Primer estudio de la huella de carbono de tres cadenas agroexportadoras del Uruguay: carne vacuna, lácteos y arroz.

Bray RH y Kurtz LT. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. SoilSci. 59: 39-45.

MGAP (MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA), URUGUAY; DIEA (DIRECCION DE ESTADISTICAS AGROPECUARIAS), URUGUAY. (2014). Anuario Estadístico de DIEA 2014. Montevideo (UY): DIEA, 2014. Recuperado el 3 agosto de 2022 de: <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Documentos%20compartidos/Anuario2014/Die-Anuario%202014-Digital01.pdf> .

MGAP (MINISTERIO DE GANADERIA AGRICULTURA Y PESCA), URUGUAY; DIEA (DIRECCION DE ESTADISTICAS AGROPECUARIAS), URUGUAY. (2021). Anuario Estadístico de DIEA 2021. Montevideo (UY): DIEA, 2020. Recuperado el 3 agosto de 2022 de: <https://descargas.mgap.gub.uy/DIEA/Anuarios/Anuario2021/LIBRO%20ANUARIO%202021%20Web.pdf>

FAOSTAT (2020) Comparar Datos, <https://www.fao.org/faostat/es/#compare> Accessed 1/12/2021

Hernandez J., Otegui, O. y Zamalvide, J.P. 1995. Formas y contenido de fósforo en algunos suelos del Uruguay. Bolentin de investigaciones N43. Facultad de Agronomía

KVOLEK, C.M. 2018. Gestión ambiental pecuaria. Aspectos teóricos y prácticos en el manejo de efluentes y uso agronómico de estiércol y efluentes. Editorial ORIENTACIÓN. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina. 152p

Mallarino, A.P., Stewart, B.M., Baker, J.L., Downing, J.D., Sawyer, J.E., 2002. Phosphorus indexing for cropland: overview and basic concepts of the Iowa phosphorus index. *Journal of Soil and Water Conservation* 57:440-447

Molfino JH .2009. Estimación del Agua Potencialmente Disponible en los Grupos CONEAT. as Grupos CONEAT (MGAP). INIA – GRASS. Recuperado el 3 agosto de 2022 de: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/4925/1/Molfino-J.H.-2009.-Estimacion-del-agua....pdf>

Molfino, J.H. 2012. Características Grupos CONEAT (MGAP). INIA – GRASS. Recuperado el 3 agosto de 2022 de: <http://sig.inia.org.uy/sigras>

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Media Ambiente (MVOTMA). 2011. Manual de diseño y construcción de pequeñas presas. Volumen 1: Diseño Hidrológico/Hidráulico. Versión 1.01. Montevideo. 103pp

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Media Ambiente (MVOTMA, DINAMA). Geoservicios. Disponible en <https://www.dinama.gub.uy/geoservicios/> . Verificado el 7/10/2020.

Perdomo. 2016. Pérdidas de fósforo desde suelos agrícolas hacia aguas superficiales: resultados preliminares para Uruguay y posibles medidas de manejo para mitigar los riesgos. [Diapositiva de Power Point]. Recuperado el 13 de julio de 2021 de: <http://www.sucs.org.uy/pdf/Encuentro2016/Perdomo.pdf>

Perdomo. 2019. Niveles críticos ambientales de P en el suelo para la Cuenca del Río Santa Lucía. http://www.inia.uy/Documentos/P%C3%BAblicos/INIA%20Las%20Brujas/Sustentabilidad/FPTA%20medio%20ambiente/6.%20Perdomo_FPTA301.pdf . Verificado el 1 de octubre de 2020.

Ward Good, L., J. Panuska, and P. Vadas. 2010. Current calculations in the Wisconsin P Index. Disponible en: http://wpindex.cals.wisc.edu/wp-content/uploads/2011/10/PIndexCalc_11_18_20101.pdf

Exportación de nutrientes desde fuente difusa

El equipo que trabajó en la exportación de NT y PT por fuentes difusas fue coordinado por el Dr. Ing. Pablo Reali (DINACEA, MA) e integrado por Ing. Luis Reolón (DINACEA, MA), Ing. Agr. Andrés Beretta (DGRN, MGAP), Dr. Ing. Agr. Andrés Quincke (INIA), Bach. Fernando Fontes (DGRN, INIA), y Dr. Bioq. Leónidas Carrasco (INIA)

1. Objetivo del indicador

Brindar información sobre los aportes de nutrientes de origen difuso que por escorrentía superficial llegan a los cuerpos de agua superficiales del país.

2. Descripción

Mediante la Metodología de los Coeficientes de Exportación, que se explicará seguidamente, se estimaron las cargas de Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT), transportados por la escorrentía superficial, que ingresan a los cuerpos de agua desde los suelos asociados a cada cuenca del país. El valor que presenta el indicador es una estimación anual, en Kg/ha/año de cada nutriente, que no considera las características meteorológicas del año que fueron calculadas. Las dos fuentes de información que se requieren para el cálculo son (1) la cantidad de hectáreas dedicadas a las diferentes clases de usos de suelo del país, y (2) los coeficientes de exportación asignados para cada clase de uso.

También en el cálculo se considerarán el escurrimiento por pluviales de ciudades y zonas pavimentadas, pero obviamente no los vertidos correspondientes al saneamiento de dichos centros poblados, parques industriales, etc.

3. Relevancia

Dada la importancia económica y territorial de la producción agropecuaria en Uruguay, es necesario evaluar la carga de nutrientes que representan y que potencialmente puede alcanzar los cursos de agua de las cuencas correspondientes. Los aportes difusos de nutrientes pueden generar procesos de eutrofización que en determinadas condiciones favorecen el crecimiento descontrolado de cianobacterias y microalgas, fenómeno conocido como floraciones algales o *blooms*, que alteran el funcionamiento normal de los ecosistemas acuáticos. Estas cianobacterias al morir pueden liberar cantidades significativas de toxinas y otros metabolitos que encarecen la potabilización del agua y restringen otros usos de los sistemas acuáticos. Estas floraciones de cianobacterias fueron identificadas en diversos cuerpos de agua de nuestro país, tanto lóticos (Río Santa Lucía, Río Uruguay, Río San Salvador, Río Negro, etc.) como lénticos (Laguna del Sauce, Laguna Castillos, embalses de represas

hidroeléctricas sobre el Río Negro, etc.), registrándose variadas especies entre las dominantes de los eventos (Bonilla, 2015¹⁰).

Por ejemplo, en el informe sobre el Control de la Contaminación y Gestión de la Calidad de Agua en la Cuenca del Río Santa Lucía, realizado por un equipo de expertos JICA en colaboración con el MVOTMA (JICA-DINAMA, 2011¹¹) se indicó textualmente que "...El aporte de las cargas contaminantes de fuentes difusas representa cerca del 80 % de las cargas totales de DBO, NT, y PT, según el Método del Coeficiente de Exportación...". Dicho estudio representó la primera aproximación a la evaluación de las fuentes difusas de contaminación de los cursos superficiales en el país JICA-DINAMA. (2011).

4. Nivel/es y alcance

Este indicador se realizará a Nivel 1 (Nacional) y se extrapolará a Nivel 3 (unidad funcional: Kg de peso vivo de animales entrando a frigorífico) asociándose a dicha producción global para el año que se realice la estimación.

El nivel 2 del indicador se hará como promedio nacional y por sistema de producción de carne.

5. Metodología de cálculo

Consideraciones y supuestos para cálculo:

Según Perdomo (2013¹²), de las metodologías de estimación de la contaminación difusa más aceptadas y validadas internacionalmente, el Método de los Coeficientes de Exportación es el único disponible para zonas donde no existe una cantidad de información básica suficiente que permita el uso de metodologías más sofisticadas, como la utilización del Índice de Fósforo o a partir de simulaciones del ciclo hidrológico a través de modelos como SWAT, SPARROW, EPIC, etc. El Método de los Coeficientes de Exportación, es uno de los más utilizados en el mundo, y especialmente en EE.UU. ha sido utilizado desde la década de los 80 (Rast y Lee, 1983; Lin, 2004; Endreny y Wood, 2003; Jeje 2006).

El método de cálculo: La cantidad de carga de un nutriente que llega a un curso de agua, desde determinado uso del suelo existente en el país, es igual al producto de la cantidad de hectáreas (afectadas por ese uso determinado) por un coeficiente de

¹⁰ Bonilla, Sylvia (1)(2), Haakonsson, Signe (1)(2), Somma, Andrea (1)(2), Gravier, Ana (3), Britos, Anamar (3), Vidal, Leticia (1)(3),. (2015). Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *INNOTEC*, 10 - ISSN 1688-3691, 9-22.

¹¹ JICA-DINAMA. (2011). Informe Final *Informe de Consultoría*. <http://www.mvotma.gub.uy/images/informes%20calidad%20ambiental/JICA%20CALIDAD%20DE%20AGUA%20001.pdf>.

¹² Perdomo, C. (2013). Documento con la metodología/s para la estimación de cargas contaminantes derivadas a los cursos de agua y agua subterránea a consecuencia del transporte de contaminantes en suelo, distinguiendo entre distintos tipos de contaminantes, suelos y otras condiciones. *Informe de Consultoría*.

exportación calculado de forma empírica para ese uso en concreto. De la sumatoria de todas estas multiplicaciones realizadas para todos los usos de suelo por sus correspondientes coeficientes de exportación, se puede obtener la carga total de ese nutriente aportado a todas los cuerpos de aguas superficiales del país.

Se utilizaron los valores de exportación de aquellos sistemas de producción de alimento para ganado según la asignación de su dieta (cuadro 1) y estimó al valor de exportación de NT y PT al agua, para cada sub-sistema de producción de carne. Posteriormente se sumó cada sub-sistema que interviene en cada sistema (cuadro 2) hasta llegar al animal pronto para faena, acorde a la Ficha metodológica: EROSIÓN.

Los valores de pérdida de N y P, hacia el agua, de cada sistema de producción de alimento se asignaron acorde al cuadro de la sección 6 de esta ficha. En el caso del P, se asignó el máximo valor de pérdida hacia el agua.

Cuadro 1. Sistema de producción de alimentos

Sistema	Tiempo (meses)	Asignación dieta
Cria	12	95% CN, 5% CNm ⁽¹⁾
Recría corta	17	47% CN, 53% CNm
Recría Larga	24	100% CN
Invernada CN	16	100% CN
Invernada P+S	6	87,6 % P, 12,4 % S
Invernada FeedLot	4	57 % S, 9 % SP, 17 % HG, 2 % HS, 14 % F, 1 % U
Invernada Vacas	4	100 % CNm

(1) CN_ campo natural, CNm_ campo natural mejorado, P_ pasturas artificiales y verdeos de invierno, S_ suplemento (concentrados energéticos, se consideró 35% grano maíz, 35% grano sorgo; 10% silo; 10 % fibra; y el restante 10% de materias primas importadas), SP_ silo planta entera, HS_ harina soja, HG_ harina girasol, F_ fibra, U_ urea

Cuadro 2. Sistema de producción de carne

Sistema producción	meses
cría/recría ternero	12
cría/invernada FL terneros	10
cría/recría/invernada novillo	43
cría/recría larga/invernada P+S novillo	36
cría/recría larga/invernada FL novillos	34
cría/recría corta/invernada FL novillos	27
cría/recría corta/invernada P+S novillo	29
cria/recria/invernada vaca	>60
cría/recría corta/ invernada P+S vaquillona	29
cría/recría corta/ invernada FL vaquillona	27
cria/recria Larga/invernada P+S vaca	34
cria/recria corta/ invernada FL vaca	34

6. Fuente de datos

Usos de suelo: Mapa de usos de suelos 2020-2021 generado por la Dirección General de Recursos Naturales del MGAP.

Cuadro 3. Coeficientes de exportación según usos del suelo

CLASE propuesta por la DGRN	Denominación de los coeficientes propuestos por Perdomo	NT (kg/ha/año)	PT* (kg/ha/año)	Fuente
Zonas Urbanas	Zonas Urbanas	9.97	0.24	U.S Army Corps of

				Engineers, (2004)
Canteras, minas a cielo abierto	Bosques naturales y tierras improductivas	0.44	0.01	U.S.EPA, (2002)
Playas, Dunas	Bosques naturales y tierras improductivas	0.44	0.01	U.S.EPA, (2002)
Bañados, humedales	Bosques naturales y tierras improductivas	0.44	0.01/0.51	U.S.EPA, (2002)/DRGN(*)
Bosque Nativo	Bosques naturales y tierras improductivas	0.44	0.01/0.6	U.S.EPA, (2002) DGRN zonas de alta erosión por topografía
Bosque Plantado al año 2021	Bosque Artificial	1.85	0.29/0.56	Barreto, P. (2008) Uruguay/DGRN
Bosque Plantado nuevo, rebrote, tala	Rastrojo	3.20	1.10	Jones et al., (1985)
Campo Natural	Campo Natural	1.33	0.24/0.70	Adaptado de Drewry et al., 2006/Investigaciones realizadas por la DGRN (Indice de P x 0.3 corrido en varias cuencas del país)

Campo Natural regenerado	Pasturas (cultivos forrajeros, praderas, artificiales, campo natural en cobertura y campo natural fertilizado).	6.92	1.16/0.7	Reckhow et al., (1980) 0.7 para DGRN campo regenerado no esta fertilizado en los últimos 20 años, etc.
Caña de Azucar	Arroz y Caña de azúcar	1.10	0.75/1.26	CEPIS, (2005) citado por Limpus, A. (2008)/DGRN
Citrus	Frutales (cítricos, viñedos y otros)	4.50	0.22/0.94	Wood, G. (1986)/DGRN
Olivares	Frutales (cítricos, viñedos y otros)	4.50	0.22/0.93	Wood, G. (1986)/DGRN
Agricultura de secano, verano	Cultivos de verano (maíz, sorgo, soja, girasol, maní, etc).	15.40	4.11/1.1	Marston et al. (1995)/DGRN
Rastrojos de rec.forr. invierno, past. anuales.	Rastrojo	3.20	1.10	Jones et al., (1985)/DGRN
Rastrojos de cultivos cereal.invierno	Rastrojo	3.20	1.10	Jones et al., (1985)/DGRN
Pivotes	Cultivos de verano (maíz, sorgo, soja, girasol, maní, etc).	15.40	4.11/1.16	Marston et al. (1995)/DGRN
Arroz	Arroz y Caña de azúcar	1.10	0.75	CEPIS, (2005) citado por Limpus, A. (2008)
Rastrojos de Arroz	Rastrojo	3.20	1.1/1.06	Jones et al.,

				(1985)/DGRN
Zona Hortifrutivícola	Horticultura	26.00	2.7/1.35	Wood, G. (1986)/DGRN
Mezcla CN, pasturas,rastrojos	Pasturas (cultivos forrajeros, praderas, artificiales, campo natural en cobertura y campo natural fertilizado).	6.92	1.16/0.67	Reckhow et al., (1980)/DGRN la idea seria prorratear por CN.
Campo natural y Horticultura	Campo Natural	1.33	1.16/0.67	Reckhow et al., (1980)/DGRN la idea seria prorratear por CN.
Arbustos	Bosques naturales y tierras improductivas	0.44	0.01/0.66	U.S.EPA, (2002)/DGRN
Otros frutales	Frutales (cítricos, viñedos y otros)	4.50	0.22/0.85	Wood, G. (1986)/DGRN
Campo Natural y Palmares	Campo Natural	1.33	0.24/0.48	Adaptado de Drewry et al., 2006/DGRN

*En los cálculos, cuando se disponen dos valores de coeficientes de exportación, se asumió el promedio . ** DGRN-MGAP ha generado valores de pérdida de P desde el suelo acorde a lo presentado en la Ficha metodológica: Pérdida difusa de Fósforo desde el suelo, y considera que el 32% se mide como P total en agua.

7. Limitaciones

7.1 Produce un valor anual en Kg/ha/año, que no es posible de subdividir de forma lógica.

7.2 No está asociado a las condiciones meteorológicas del año de estudio. Es de suponer que en los períodos lluviosos habrá más aportes difusos de nutrientes, del suelo al agua, vehiculizados por la escorrentía superficial y lo contrario ocurriría en períodos secos, pero a priori y sin estudios que lo soporten, no es posible realizar esa

ponderación de aportes, considerando las precipitaciones de determinado período sobre determinada área.

7.3 Existen errores desconocidos asociados a la utilización de cada coeficiente de exportación. Para el cálculo de este indicador se utilizaron dos tipos de coeficientes:

7.3.1 Los provistos por la bibliografía internacional, fueron calculados mediante cierre de microcuencas con un uso predominante de suelo. Estos coeficientes fueron probados y aceptados mundialmente y cada uno tiene su ficha de cálculo (nivel de precipitaciones, escorrentía, tipo de manejo de suelo, etc., que se buscó fueran los más homologables posibles a las condiciones nacionales) pero no fueron calculados con cierre de cuencas a nivel nacional, a excepción del seleccionado para forestaciones artificiales.

7.3.2 Los coeficientes de exportación calculados por la DGRN se estimaron a partir de cálculos de Índice de Fósforo (ver ficha) al que se lo multiplicaba por un factor de transferencia genérico de 0.32

8. Indicadores asociados

Índice de Fósforo, Erosión, Balance de NT y PT y Proporción de Campo Natural en la Ganadería.

9. Consideraciones y supuestos

9.1 No se pudo calcular, ni para nivel 1 y 3 la carga de exportación de nutrientes de origen difuso para la producción láctea. Lamentablemente con la información cartográfica de usos de suelo que se dispone, no es posible calcular la cuota parte de cultivos, pasturas, etc, dedicadas exclusivamente a la producción láctea.

9.2 Salvo para algunos usos de suelo típicamente ganaderos (ej: campo natural), no toda el área es utilizada en la cría y engorde de ganado. En el Anexo 2 se presentan todos los supuestos realizados en el cálculo, para cada uso de suelo.

10. Referencias y bibliografía

Barreto W. P. 2008. Efectos iniciales de la aforestación sobre la calidad del agua de escurrimiento en una cuenca del río Tacuarembó. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía 64p. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1847/1/0021bar1.pdf>

Bonilla, Sylvia (1)(2), Haakonsson, Signe (1)(2), Somma, Andrea (1)(2), Gravier, Ana (3), Britos, Anamar (3), Vidal, Leticia (1)(3),. (2015). Cianobacterias y cianotoxinas en ecosistemas límnicos de Uruguay. *INNOTEC, 10 - ISSN 1688-3691*, 9-22.

CEPIS, 2005

Salas, H. & Martino, P. 2001. Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. Programa Regional CEPIS/HEP/OPS 1981-1990. Lima, CEPIS.

Dirección General de Recursos Naturales del MGAP. Mapa de usos de suelos 2020-2021

Drewry, J. J.; Newham, L. T. H.; Greene, R. S. B.; Jakeman A. J; Croke, B. F. W. A. 2006. A review of nitrogen and phosphorus export to waterways: context for catchment modeling. *Marine and Freshwater Research* 58, 757–774. Disponible en: <http://crcleme.org.au/Pubs/Articles%20and%20papers/Drewry%202006%20MFR%20Oreview%20of%20N%20and%20P%20and%20catchment%20modelling.pdf>

Endreny, T. A., & Wood, E. F. (2003). Watershed weighting of export coefficients to map critical phosphorous loading areas 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 39(1), 165-181.

JICA-DINAMA. (2011). Informe Final *Informe de Consultoría*.

<http://www.mvotma.gub.uy/images/informes%20calidad%20ambiental/JICA%20CALIDAD%20DE%20AGUA%2001.pdf>.

Jones et al., (1985) citado por Marston et. al 1995

Limpus, A. 2008. Estudio de las fuentes de nutrientes al Embalse Salto Grande. Sin publicar.

Lin, 2004. Marston, F.; Young, W.; Davids, R. 1995. Nutrient generation rates Data book. CMSS CSIRO. 2da edición.

Perdomo, C. (2013). Documento con la metodología/s para la estimación de cargas contaminantes derivadas a los cursos de agua y agua subterránea a consecuencia del transporte de contaminantes en suelo, distinguiendo entre distintos tipos de contaminantes, suelos y otras condiciones . *Informe de Consultoría*.

Rast y Lee, 1983;

Reckhow K. H., Beaulac M.N and Simpson J. T. 1980. Modeling phosphorus loading and lake response under uncertainty: a manual and compilation of export coefficients. U. S. EPA, Washington, DC. EPA 440/5-80-011. Disponible en : <https://www.academia.edu/download/30617179/00001kwe.pdf>

U.S Army Corps of Engineers, (2004)

U.S.EPA, (2002). Methods for Evaluating Wetland Condition: Land-Use Characterization for Nutrient and Sediment Risk Assessment. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. EPA-822-R-02-025.

Wood, G. (1986) citado por Marston et. al 1995

Exportación de nutrientes y materia orgánica desde fuentes puntuales

El equipo que trabajó de este indicador fue Ing. Agr. María José Alegrette, Ing. Agr. Sebastián Rosas , Téc. Agrop. Nicolás Barolín, Dra. Quim Viviana Haguaburu Bekcredi, Francis Costa Chucarro, e Ignacio Di Pascua (INAC)

1. Objetivo del indicador

Cuantificar mediante la determinación de indicadores, las cargas brutas de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y materia orgánica por establecimiento lecheros (tambos), Establecimientos de Ganado en Confinamiento (EGC¹³), industrias cárnicas¹⁴ y lácteas.

2. Descripción

Las cargas puntuales para los diferentes rubros considerados, provienen de:

- a. **Tambos:** Los efluentes que se generan del lavado de las instalaciones relativas a la rutina de ordeño y a playa de alimentación (comedero) que culminan en cursos de agua por ausencia de un Sistema de Gestión de Efluentes (SGE).
- b. **EGC:** Las aguas de escorrentía provenientes de áreas sucias (corrales, playa de alimentos, zona de acopio de estiércol, entre otras) que culminan en cursos de agua por ausencia de un Sistema de Gestión de Efluentes (SGE).
- c. **Frigoríficos:** Los efluentes que se originan por la limpieza de las instalaciones relativas a la faena y el procesamiento, que por el tipo de disposición final previsto en su Planta de Tratamiento de Efluentes (PTE) o por ausencia de gestión, llegan a cursos de agua. Estos efluentes tienen alto contenido de materia orgánica, fósforo y nitrógeno. Proceden principalmente de la sangre y el contenido intestinal durante la etapa de faena, y de los lavados de los cortes y sub-productos en las etapas subsiguientes; y del estiércol y suelo procedente de la limpieza de las reses previo a la faena, corrales de espera y camiones de transporte de ganado.
- d. **Industria láctea:** los efluentes líquidos compuestos de sueros y aguas de lavado de tanques, y residuos sólidos de características variables de acuerdo con el producto que se elabore, que por el tipo de disposición final previsto en su PTE o por ausencia de gestión, llegan a cursos de agua. Entre los componentes más importantes se encuentran leche diluida, grasas, sólidos suspendidos, nitrógeno y lactosuero.

¹³ Por EGC se entiende establecimiento de engorde a corral (EEC) y establecimientos cuarentenarios.

¹⁴ Corresponde a Frigoríficos y mataderos

Las cargas a determinar, según los supuestos descritos en el acápite 5, son las siguientes:

- Nitrógeno: nitrógeno total presente en el efluente.
- Fósforo: fósforo total presente en el efluente.
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)¹⁵ como indicador de la carga orgánica vertida por efluentes de aguas residuales (DINAMA 2013).

3. Relevancia

A través de los años, se han implementado en estos rubros diferentes PTE/SGE, los cuales han permitido gestionar (total o parcialmente) las cargas de nutrientes y materia orgánica que llegan a los cursos de agua. Estos indicadores pretenden estimar las cargas brutas generadas por los emprendimientos descritos en el acápite 2 y aquellas que por diferentes motivos, llegan a curso de agua.

4. Niveles y alcance

Se pretende estimar las cargas puntuales que llegan a cursos de agua para 3 niveles:

- Nivel 1: Huella Ambiental del sector ganadero a nivel nacional,
- Nivel 2: Huella Ambiental por establecimiento (tambo y EGC) e industria (láctea y cárnica),
- Nivel 3: Huella ambiental por producto (leche y carne).

5. **Metodología de cálculo:** A continuación se describen las consideraciones y supuestos para la determinación de los indicadores.

a. Tambos

● Datos

- Carga bruta de NT generada por vaca por día: 0,218 kg/vaca/día¹⁶
- Carga bruta de PT generada por vaca por día: 0,091 kg/vaca/día⁴
- Carga bruta de DBO₅ generada por vaca por día: 0,912 kg/vaca/día⁴
- Para hacer la estimación de la carga que se genera en el ordeño, se considera que 12 horas al día las vacas excretan, ya que 12 horas son asumidas para descanso. Por lo tanto, las cargas de NT, PT y DBO₅ serán expresadas por días de 12 horas y no de 24 horas.
- Tiempo de permanencia en el tambo 14% del día⁴.
- El número de vacas en ordeño de los establecimientos que se postularon para el proyecto DACC, y su subdivisión por departamento, se extrajeron de la Planilla Excel enviada por MGAP con el estado de situación de los proyectos del 23/07/2019.

● Supuestos

- El tiempo de permanencia utilizado para determinar las cargas de nutrientes y materia orgánica del rodeo nacional fue de 14%. Exclusivamente para la determinación de las cargas de nutrientes y materia orgánica que no llega a cursos de agua debido a la

¹⁵ Es un parámetro mediante el que se determina en laboratorio, la cantidad de oxígeno consumido por los microorganismos en la oxidación química de la materia orgánica contenida en la muestra de efluente, durante un intervalo de tiempo específico (5 días) y a una temperatura determinada (20°C ± 1). Cuanto mayor sea la DBO₅, mayor es la cantidad de materia orgánica degradable en el efluente

¹⁶ Fuente bibliográfica: CONAPROLE, IMFIA, DINAMA, 2008

existencia de SGE para los tambos de más de 500 vacas en ordeño, se asume que 25 % del día se encuentran en el ordeño (3 horas diarias).

- Se considera que aquellos establecimientos que poseen SGE, cuentan con una adecuada gestión de los efluentes y la disposición de éste es 100% al terreno. En estos casos, la carga puntual de nutrientes y materia orgánica a cursos de agua será 0.
- Los datos de producción de leche y de número de vacas en ordeño, a escalas nacional y departamental, se obtuvieron del visualizador público disponible, a partir del procesamiento de las Declaraciones Juradas de DICOSE de 2021.
- El total de vacas en ordeño de los sujetos de control, contempladas en los Proyectos de Ingeniería presentados ante DINACEA, fue determinado a partir de la capacidad máxima de las salas de ordeño según lo aprobado en los trámites de SAD y/o PGRS, según corresponda.
- Aquellos establecimientos lecheros que no son sujetos de control ni se postularon al Proyecto DACC, se asume que 100% de la carga bruta generada de nutrientes y materia orgánica son aportes puntuales a los cursos de agua.

● **Procedimiento**

- Se obtienen los datos de producción de leche y del número de vacas en ordeño informados en las Declaraciones Juradas de DICOSE 2021¹⁷, permitiendo obtener esta información a nivel nacional y a nivel departamental.
- Determinación de cargas puntuales al curso de agua a nivel 1: se dispone de la carga de nutrientes y DBO₅ generado por una VO por día, lo que, ajustado para el tiempo de permanencia en las instalaciones de ordeño, y multiplicado por el número de animales que constituyen el rodeo lechero nacional, permitirá determinar las cargas brutas totales generadas por la lechería en el Uruguay. Posteriormente, a partir de la capacidad máxima de ordeño de las salas de los sujetos de control previstas en los trámites de SAD, y de las vacas en ordeño promedio de aquellos establecimientos que se postularon al proyecto DACC, se determinan las cargas brutas que no llegan al curso de agua, las que se restan a las cargas brutas totales del rodeo lechero nacional. De este modo, se obtendrán los kilogramos de cargas puntuales de nutrientes y DBO₅ que llegan a cursos de agua, a nivel nacional.
- Para la determinación de cargas puntuales a nivel 2 que llegan a cursos de agua, se utilizan las cargas brutas de nutrientes y DBO₅ determinadas para las vacas en ordeño de cada departamento según la información de las Declaraciones Juradas de DICOSE⁵ y posteriormente se descuentan las cargas brutas de nutrientes y DBO₅ generadas por las vacas en ordeño de los sujetos de control de DINACEA¹⁸, y de los tambos que se postularon a la convocatoria del DACC.
- Determinación de cargas puntuales a nivel 3: para los aportes de cargas puntuales determinadas a nivel nacional, a las que se le descontaron las cargas de los sujetos de control y los establecimientos lecheros que poseen SGE por la convocatoria del Proyecto DACC, se dividen entre la totalidad de litros de leche generadas (independientemente de su destino) para el año 2021.
- Se asume que para aquellos establecimientos lecheros que se presentaron a la convocatoria del Proyecto de Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático de “Plan de

¹⁷<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibjRhMjVhMWItZmYyNS00M2UzLTg1MjEtNDRhMmMOZTIwZWY4IiwidCI6IjNlY2RjZTkxLWUwOTctNDdjYy1iMwUzLWJiOWIzNjExNGI1NSIsImMiOjR9>

¹⁸ Determinadas por la capacidad máxima de las salas en ordeño indicadas en los trámites de SAD.

lechería sostenible en la cuenca del Río Santa Lucía” del Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca para tambos de menos de 300 VO, las cargas de nutrientes y materia orgánica que llegan a cursos de agua será 0. Es decir, se asume que implementaron SGE y no existen vertidos directos a cursos de agua.

b. EGC

Datos

- Las cargas de nutrientes y materia orgánica por cada kilogramo de estiércol base seca, son:
 - a. N: 2,19% o 0,022 kg N/kg de MS estiércol
 - b. P: 0,83% o 0,0083 kg P/kg MS de estiércol
 - c. MO: 12% de CO, o 0,21 g MO/kg MS de estiércol
- Se determinarán las toneladas de estiércol generadas por año en base seca, de acuerdo con la siguiente ecuación⁷:

$$PAE = PV (PDH \times MSH + PDO \times MSO) \times MSE^{-1} \times ERE \times EUF \times AN \times D$$

- Para la determinación de los factores de corrección, a efectos de cuantificar las cargas gestionadas que no llegan a curso de agua, se realizó un procesamiento tomando los sujetos de control del Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA) y se los agrupó según las características del Sistema de Gestión de Efluentes (SGE).
- Se promedió la duración del ciclo productivo de cada establecimiento (desde que ingresan hasta que salen los animales), obteniéndose una duración de 300 días, dato que se incluyó en la ecuación de Pordomingo para determinar el volumen de excretas.

Supuestos

- Se asumió un 60% de ocupación para cada establecimiento, y un 100% de eficiencia de recolección.
- Se consideró un peso vivo promedio de 440 kg, siendo 350 kg el peso de ingreso de los animales al establecimiento de engorde a corral, y 530 kg su peso de salida.

Procedimiento

- Se extrajeron de las bases de datos disponibles en el Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA), los sujetos de control correspondientes a engordes a corral para Cuota 481 y Cuarentenas. Para cada uno de los sujetos de control, se identificó sección policial y departamento de emplazamiento, capacidad máxima instantánea y duración del ciclo. Según el Sistema de Gestión de Efluentes existente, se los agrupó según el criterio que se describe a continuación, a efectos de definir factores de corrección cuando se realicen los cálculos de las cargas que efectivamente no llegan a curso de agua:
 - a. Presencia de laguna/s y sistema de aplicación de efluentes al terreno
 - b. Presencia de laguna/s, sin sistema de aplicación de efluentes al terreno,
 - c. Ausencia de unidades de sedimentación, laguna/s y sistema de aplicación.
- Los factores de corrección definidos fueron los siguientes: 1 para aquellos establecimientos agrupados según criterio definido en a); 0,5 para los agrupados según b) y 0,2 para los establecimientos del grupo c).

- En función de las capacidades máximas instantáneas y los demás supuestos, se determinaron¹⁹ los kilogramos de MS de excretas, a partir de los cuales se calcularon los kilogramos de N, P y MO que se generan por estas actividades.
- Para la determinación de las cargas puntuales para nivel 1 (por nivel de producto), se procede de la siguiente forma:
 - a. Determinación de las cargas brutas para la totalidad de los establecimientos de engorde a corral y cuarentenas que son sujetos de control de DINACEA. .
 - b. Según la cantidad de existencias de los establecimientos que se encuentran comprendidos en cada grupo de acuerdo a las características del SGE, se determinaron las cargas de N, P y MO que son retenidas en las unidades o derivan o escurren a terreno, y que no llegan a curso de agua. Por lo tanto, estas cargas se descuentan de las cargas brutas.
- Para la determinación de las cargas puntuales para el nivel 2 (seccional policial y departamento) , se realiza el procedimiento anterior, pero a partir de los animales encerrados por los sujetos de control a nivel de cada Sección Policial, y el detalle de la información antes mencionada a ese mismo nivel
- Para la determinación de las cargas puntuales para el nivel 3 (por unidad de producto), se dividirán las cargas puntuales a nivel nacional entre los kilogramos de carne de peso vivo de todos los animales encerrados para los sujetos de control, considerándose un peso vivo promedio de 440 kg.

Limitantes

Si bien se dispone de la información de las existencias bovinas encerradas (cuarentena y Cuota 481) a nivel nacional y departamental, con el detalle de sección policial, obtenida a partir del procesamiento de las Declaraciones Juradas de existencias 2020 (información pública del MGAP), no se posee el detalle de cuáles establecimientos de los sujetos de control estuvieron operativos, ni las categorías que encerraron. Por tanto, se incurrirá en el error de descontar más cargas de las efectivamente generadas por la actividad de los engordes a corral durante el 2020. Además, al desconocerse la categoría encerrada, se estiman las cargas a partir de 440 kg por animal en promedio, lo cual sobreestima las cantidades de N, P y MO que no llegan a cursos de agua, cuando en realidad, hay categorías menores (terneros, vaquillonas sin entorar, entre otros) que por su peso vivo generan menos estiércol, y por tanto, menos N, P y MO. Sin perjuicio de lo anterior, dada la falta de información para estimar específicamente las cargas según cada categoría, se consideró un peso promedio del animal.

c. Industria frigorífica e industria láctea

Datos

- Para determinar DBO₅ (mg O₂/L), NT (mg N/L) y PT (mg P/L) del vertido de los frigoríficos, mataderos e industria láctea, se consideraron las medidas de concentración reportadas en los IAO (Informe Ambiental de Operación)²⁰. Existen 3 tipos de IAO de acuerdo al caudal vertido por el emprendimiento que determina la frecuencia de análisis que están obligados a reportar anualmente. En el caso de empresas que presentan IAO mínimo se reporta al menos un valor anual de caudal y de concentración de cada contaminante.

¹⁹ Pordomingo, A. J. (2003). Gestión ambiental en el feedlot. *Guía de buenas prácticas*. INTA Anguil, 90

²⁰ Reportados por DINACEA en el año 2019.

Para IAO anuales o semestrales se reporta caudales promedios diarios en el bimestre y concentración de cada contaminante al menos con frecuencia mensual.

Para el caso de IAO anuales o semestrales, se considera que el caudal promedio diario ($\text{m}^3/\text{día}$) es el mismo para el bimestre correspondiente. Para el caso de IAO mínimos el caudal reportado (único valor en un año), se toma como válido para todos días del período.

Procedimiento de cálculo

1. Se calculan las cargas para las industrias cárnicas (frigoríficos y mataderos de bovinos y ovinos) e industrias lácteas, que vierten a curso de agua.
2. Se dejan por fuera del cálculo las empresas que están inactivas durante el año que se realiza la estimación de las cargas.
3. Se indica el número de enlace de la empresa a la que se estima la carga.
4. Se indica el tipo de la empresa a la que se estima la carga (cárnica o láctea).
5. En columnas separadas se señala el año y mes que se está calculando.
6. Se inserta el caudal ($\text{m}^3/\text{día}$) que la empresa indica en el IAO (descarga de efluentes, caudal medio diario del bimestre (m^3/d)).
7. En los días vertidos, en caso que el IAO sea semestral o anual se indican los días del mes que corresponde, que deben coincidir con los “Días de vertido totales en el bimestre” que registran en el IAO.
8. En caso que no se viertan todos los días del mes, se divide en los números de días del bimestre.
 - a. En caso que el IAO sea mínimo, se divide en los 12 meses
 - b. En una nueva columna se calcula el caudal m^3/mes (multiplicando el caudal por los días vertidos).
9. En columnas individuales se ingresa el dato de concentraciones (mg/L) de los parámetros DBO5, PT, NH_4 , NT, NTK y NO_3 que las empresas reportan en los IAO.
 - a. En caso de tener más de una muestra por mes, se utiliza el valor promedio.
 - b. En caso de no tener un dato de muestra por mes, se promedian las concentraciones del mes más cercano anterior y siguiente de que se tengan datos. Dicho calculo debe verse reflejado en la hoja de cálculo, es decir, se debe poner la formulación de donde se obtuvo el promedio (ejemplo =+PROMEDIO(H12;H14)).
 - c. Si no hay vertido en el mes no se calculan las cargas.
 - d. Si no están informados Nitrógeno Total (NT) y Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), se estima uno a partir del otro (siempre que se tengan los datos de NO_3):
$$\text{NT} = \text{NTK} + \text{NO}_3 \quad \text{NTK} = \text{NT} - \text{NO}_3$$
10. En columnas individuales se calcula la carga (multiplicando el caudal m^3/mes por la concentración de cada parámetro y dividiendo entre mil para que el resultado quede expresado en Kg/mes).
11. Se realiza la sumatoria de cargas mensuales para obtener el valor de carga para ese año ($\text{Kg}/\text{año}$). Se determina carga total por sector: Lácteas o Cárnicas.
12. A las cargas anuales se divide entre 365 para obtener el valor de carga diaria ($\text{kg}/\text{día}$).

6. Fuente de datos para los indicadores

Los datos correspondientes a tambos y EGC provienen de las siguientes fuentes:

- Ministerio de ambiente: Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA) de la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA)
- INIA
- Recopilación de datos de BIOVALOR

Los datos correspondientes a los vertidos de las industrias fueron procesados por el ACDA de DINACEA-MA; provienen de los datos reportados por las empresas en los Informes Ambientales de Operación (IAO), así como de los muestreos realizados en inspecciones de ACDA para el año en estudio.

7 Indicadores asociados:

Exportación por fuente difusa.

8 Referencias y Bibliografía:

BIOVALOR 2020, "Efluentes de Tambos en Uruguay: Antecedentes bibliográficos nacionales e información generada en Uruguay", <https://www.inale.org/wp-content/uploads/2021/04/Recopilacion-efluentes-junio-2020.pdf>

CONAPROLE, IMFIA, DINAMA, 2008, "Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros: diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de efluentes", <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29446/1/50073.pdf>

del Campo, M. J., 2015, "Reducción de cargas de nitrógeno y fósforo en los vertidos de las industrias prioridad 1 de la cuenca del río Santa Lucía". Disponible en: <https://aidis.org.uy/wp-content/uploads/2020/10/I-14-delCampo.pdf>

INAC, 2019. Anuario Estadístico 2019. Disponible en: https://www.inac.uy/innovaportal/file/18355/1/inac_anuario2019.pdf

INALE, 2022. Remisión a planta y composición de la leche. Disponible en: <https://www.inale.org/estadisticas/remision-a-planta/>

MGAP-DIEA, 2020. Anuario Estadístico Agropecuario 2020. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/anuario-estadistico-agropecuario-2020>

Pordomingo, A. J. (2003). Gestión ambiental en el feedlot. *Guía de buenas prácticas*. INTA Anguil, 90.

SNA, 2018. "Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía" Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/PLAN_DE_ACCION_RIO_SANTA_LUCIA_-_MEDIDAS_DE_2da_GENERACION.pdf

Generación de residuos

El equipo que trabajó en este indicador fue Ing. Agr. María José Alegrette, Ing. Agr. Sebastián Rosas, Téc. Agrop. Nicolás Barolín, Dra. Quim Viviana Haguaburu Bekcredi, Ing. Amb. Jessica Fernández Rico, Francis Costa Chucarro

1. Objetivo del indicador

Cuantificar la generación de residuos por establecimiento lecheros (tambos), Establecimientos de Ganado en Confinamiento (EGC²¹), industrias cárnicas²² y lácteas.

2. Descripción

Los residuos generados para los diferentes rubros considerados, provienen de:

- a. **Tambos:** Excretas gestionadas a partir de su retención en las unidades de separación de sólidos (pasiva y mecánica).
- b. **EGC:** Excretas retiradas de los corrales que son aplicadas al terreno.
- c. **Frigoríficos:** Los residuos se originan en la faena y el procesamiento, y corresponden a:
 - Restos de faena: huesos y recortes de carne (cabezas y patas)
 - Sangre
 - Grasa, carne, coágulos (sebo)
 - Sólidos del tratamiento de efluentes de aguas verdes: estiércol, contenido ruminal e intestinal (rumen prensado)
 - Sólidos del tratamiento de efluentes de aguas rojas (residuos del tornillo de desbaste)
- d. **Industria láctea:** Los residuos se originan en el procesamiento de la leche, y corresponden principalmente a grasa, suero. Otros residuos no derivados directamente del animal o sus productos no son considerados en este análisis (ej. chatarra, aceites lubricantes, envases, etc.)

3. Relevancia

A través de los años, se han implementado en estos rubros diferentes sistemas de gestión de residuos, los cuales han permitido gestionar (total o parcialmente) los residuos generados.

4. Niveles y alcance

Se pretende estimar los residuos generados para los diferentes rubros considerados, para tres niveles:

- Nivel 1: Huella Ambiental del sector ganadero a nivel nacional,
- Nivel 2: Huella Ambiental por establecimiento (tambo y EGC) o planta industrial (láctea y cárnica),

²¹ Por EGC se entiende establecimiento de engorde a corral (EEC) y establecimientos cuarentenarios.

²² Corresponde a frigoríficos y mataderos

- Nivel 3: Huella ambiental por producto (volumen de leche y peso vivo).

5. Metodología de cálculo

A continuación se describen las consideraciones y supuestos para la determinación de los indicadores.

a. Tambos

● Datos y supuestos

- Se extrajeron datos de gestión de toneladas de MS estiércol de tambos de los establecimientos lecheros que presentaron Declaraciones Juradas de Residuos Sólidos (DJRS) para el 2020.
- Se filtraron los datos de gestión de estiércol reportados en las DJRS que se encuentran por encima del valor de generación previsto en la bibliografía, y aquellos que se encuentran por debajo del 80% de dicho valor. El promedio de los 6 datos de gestión de estiércol fue de 1,653 kg MS/VO/día.
- Los datos fueron procesados, realizando una comparación del valor reportado en cada DJRS respecto a la generación diaria de estiércol de una VO de 15 kg de producción de leche y 4 horas de permanencia en la sala de ordeño, según ecuación²³ $\text{kg BF/VO/día} = [(\text{kg de leche} \times 0,616) + 46,2] \times 0,167 = 9,25$.
- Generación diaria de estiércol en materia seca para una VO de 15 kg de producción de leche y 4 horas de permanencia en la sala de ordeño, considerando 20% de materia seca según bibliografía de referencia: 1,85 kg MS/VO/d²⁴
- Se asume que los tambos que son sujetos de control y que se postularon a la convocatoria DACC, gestionaron en su totalidad el estiércol, el cual se calculó a partir del promedio de excretas diarias generadas de los establecimientos que presentaron DJRS.
- Los tambos que no cumplen con los criterios antes establecidos, se asume que no gestionan el estiércol.
- El indicador reporta los kilogramos de MS/año de estiércol que fueron estimados, según datos de las DJRS, que se gestionaron en el 2020.
- Los litros de leche considerados para determinar el indicador a nivel III se corresponde a la totalidad de litros de leche reportados en las DJ de DICOSE a nivel nacional.

● Procedimiento

- Se obtuvo el dato de gestión de estiércol en kg m.s. por VO/día a partir de los datos obtenidos de las DJRS.
- Los datos fueron contrastados respecto a la tasa de generación de estiércol teórica por VO/día, a efectos de descartar aquellos *outliers* que no deberían ser considerados en el promedio de gestión de estiércol a determinar. El criterio utilizado fue, descartar aquellos datos de gestión de estiércol reportados en las DJRS que se encuentren por debajo del 80% del valor teórico y por debajo del 100% de dicho valor. Es decir, si el dato declarado en la DJRS corresponde a 79% o 101% del valor teórico de generación para una vaca lechera según los supuestos detallados en “Datos y supuestos”, se excluye en la determinación de las excretas gestionadas m.s./VO/año.

²³ <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/12504/1/Cuenca-v.-5-n.-27-p.-50-51-2014-La-Manna.pdf>

²⁴ “CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES COMO POTENCIALES MEJORADORES DE SUELO”. XXII Congreso Latinoamericano de Ciencias del Suelo. Montevideo, 7 al 11 de octubre de 2019

- Se obtuvo un promedio de kilogramos de MS de estiércol gestionados VO por año, a partir de los datos de 6 tambos.
- A partir de este promedio de gestión de estiércol en kg MS/VO/día obtenido de las DJRS, se obtuvo el dato de cuántos kg MS de estiércol deberían gestionarse por los departamentos que poseen sujetos de control o tambos que se presentaron en la convocatoria DACC para el año 2020. El valor utilizado fue 1,653 kg MS/VO/día, que equivale a 603,5 kg MS/VO/año.
- Los niveles de determinación fueron los siguientes:
 - Nivel I: estiércol gestionado por los sujetos de control y tambos presentados en la convocatoria DACC. Aquellos tambos que no se encuentran en estos grupos, no están contemplados en este indicador.
 - Nivel II: estiércol gestionado en los departamentos en que existen sujetos de control y tambos que se postularon a la convocatoria DACC.
 - Nivel III: estiércol gestionado por litro de leche.

Limitantes

- El dato de gestión de estiércol reportado en las DJRS, es un dato que cada establecimiento determina según sus propios criterios, por lo que existirá error inferido por la humedad, densidad y forma de determinación del volumen de cada empresa.

b. EGC

Datos y supuestos

- Se extrajeron los datos de gestión de estiércol en Toneladas de Materia Seca, para 33 establecimientos que presentaron Declaración Jurada de Residuos Sólidos (DJRS) de acuerdo con lo establecido en el Decreto 182/013, para el año 2020.
- La cantidad de animales promedio por año que generaron las excretas se extrajeron de las DJRS.
- Los 33 establecimientos corresponden a 27% de los establecimientos que se encuentran como sujetos de control de DINACEA.
- Los establecimientos que no presentaron DJRS, pero que por normativa debían presentarla, se asume a efecto de los cálculos, que igualmente presentaron actividad durante el año 2020.
- El total de kilogramos de peso vivo, corresponde al producto entre la cantidad de animales de capacidad máxima instantánea de cada sujeto de control, y un peso vivo promedio de 440 kg.
- Los porcentajes de humedad y las densidades asumidas en la determinación de las excretas generadas que se reportaron en las DJRS, son datos que no fueron corroborados con bibliografía de referencia, ya que las empresas lo reportan incluido en los cálculos, sin indicar fuente de datos.
- Hay un porcentaje que se atribuye a pérdida de carbono como CO₂ debido a respiración, lo cual explicaría parcialmente la diferencia entre generación y gestión de estiércol.

Procedimiento de cálculo

- Se extrajeron los datos de gestión de excretas para 33 establecimientos de engorde a corral que presentaron DJRS a través de la Base de Datos del Sistema de Información Ambiental (BDSIA).
- Se realizó la determinación de las toneladas de MS de estiércol declaradas por los 33 establecimientos, mediante la suma de las cantidades informadas.
- Se dividió las toneladas de MS de estiércol declaradas por los 33 establecimientos, entre la suma de los animales promedio de cada establecimiento, para obtener el dato de toneladas MS de estiércol, por año y por animal que se gestiona por los establecimientos.
- A partir de las capacidades máximas instantáneas de los establecimientos sujetos de control, y de la tasa de estiércol gestionada según las DJRS por animal por año, se determina los volúmenes gestionados para diferentes niveles:
 - o Nivel I: kg MS de estiércol gestionados
 - o Nivel II: kg MS de estiércol gestionados por Sección Policial y Departamento
 - o Nivel III: kg MS de estiércol gestionados por kg de peso vivo promedio
- La diferencia entre la generación de estiércol estimada por la Ecuación de Pordomingo y la gestión de estiércol declarado en las DJRS por los 33 establecimientos, es de 28%, lo cual se atribuye a los siguientes errores inferidos:
 - o Densidad asumida,
 - o Porcentaje de humedad,
 - o Forma de determinación del volumen gestionado,
 - o Pérdida de C como CO₂ por respiración.

c. Industria frigorífica e industria láctea

Datos

Para determinar los residuos generados en los frigoríficos, mataderos e industria láctea, se consideraron los datos reportados en las DJR (Declaración Jurada de Residuos)²⁵. Las empresas reportan a DINACEA los volúmenes (m³) y peso (ton) de cada categoría o línea de residuo generada anualmente. Así mismo, se reportan los datos de residuos gestionados para cada empresa.

Procedimiento de cálculo

1. Se ingresan los residuos generados por categoría (en toneladas/año) para las industrias cárnicas (frigoríficos y mataderos de bovinos y ovinos) e industrias lácteas a partir de las DJR.
2. Se dejan por fuera del cálculo las empresas que están inactivas durante el año que se realiza la estimación de residuos.
3. Se indica el tipo de la empresa a la que se estiman el residuo (cárnico o lácteo).
4. Se identifica a la empresa con el número de enlace que corresponde al número asignado dentro del Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA).
5. Se realiza la sumatoria de residuos generados por planta industrial (de acuerdo al número de enlace) y por tipo de residuo generado (línea de residuo) para obtener el valor de residuos para ese año (ton b.s./año). Se determinan los residuos totales por sector: Lácteas o Cárnicas.

²⁵ Reportados a DINACEA anualmente.

6. Los tipos de residuos de cada sector se dividen por el total de leche remitida en el año correspondiente (sector lácteo) o por el total de peso vivo faenado para ese año (ton), para obtener los residuos generados en el nivel 3 (por litro de leche o tonelada de carne)

Fuente de datos para los indicadores

Los datos correspondientes a tambos y EGC provienen de las siguientes fuentes:

- Ministerio de ambiente: Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA) de la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA)
- INIA
- Recopilación de datos de BIOVALOR

Los datos correspondientes a frigoríficos y lácteas provienen de las siguientes fuentes:

- Ministerio de ambiente: Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA) de la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA)
- INAC
- INALE

Los datos correspondientes a los residuos generados por las industrias fueron procesados por el ACDA de DINACEA-MA; provienen de los datos reportados por las empresas en las Declaraciones Juradas de Residuos (DJR) para el año en estudio.

Limitaciones:

No contar con las DJR correspondientes para el año de estudio de todas las industrias y/o emprendimientos a abarcar.

Se toma para el cálculo de los indicadores los siguientes códigos de residuos:

- 1011
 - 01 Sólidos del tratamiento de efluentes de aguas rojas
- 1011
 - 02 Restos de faena: huesos y recortes de carne
- 1011 Sólido del tratamiento de efluentes de aguas verdes: estiércol,
 - 03 contenido ruminal e intestinal.
- 1011
 - 04 Lodos biológicos del tratamiento de efluentes
- 1011 Barros grasos de tratamiento de efluentes provenientes del
 - 05 desengrasador
- 1011
 - 10 Grasa, carne, coágulos
- 1011
 - 11 Sangre
- 1410
 - 4 Excretas (Estiércol y orina)

- 1050 Barros grasos de tratamiento de efluentes provenientes del
- 02 desengrasador
- 1050
- 03 Lodos biológicos del tratamiento de efluentes
- 1050
- 05 Suero de leche

6. Indicadores asociados:

Exportación por fuente difusa.

7. Referencias y bibliografía:

BIOVALOR 2020, "Efluentes de Tambos en Uruguay: Antecedentes bibliográficos nacionales e información generada en Uruguay", <https://www.inale.org/wp-content/uploads/2021/04/Recopilacion-efluentes-junio-2020.pdf>

CONAPROLE, IMFIA, DINAMA, 2008, "Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros: diseño, operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de efluentes", <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/29446/1/50073.pdf>

del Campo, M. J., 2015, "Reducción de cargas de nitrógeno y fósforo en los vertidos de las industrias prioridad 1 de la cuenca del río Santa Lucía". Disponible en: <https://aidis.org.uy/wp-content/uploads/2020/10/I-14-delCampo.pdf>

INAC, 2019. Anuario Estadístico 2019. Disponible en: https://www.inac.uy/innovaportal/file/18355/1/inac_anuario2019.pdf

INALE, 2022. Remisión a planta y composición de la leche. Disponible en: <https://www.inale.org/estadisticas/remision-a-planta/>

MGAP-DIEA, 2020. Anuario Estadístico Agropecuario 2020. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/anuario-estadistico-agropecuario-2020>

MVOTMA-DINAMA, 2013, "Informe del Estado del Ambiente", División Calidad Ambiental.

Pordomingo, A. J. (2003). Gestión ambiental en el feedlot. *Guía de buenas prácticas*. INTA *Anguil*, 90.

SNA, 2018. "Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía" Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/PLAN_DE_ACCION_RIO_SANTA_LUCIA_-_MEDIDAS_DE_2da_GENERACION.pdf

Consumo de agua

El equipo que trabajó en este indicador fue Ing. Agr. María José Alegrette, Ing. Agr. Sebastián Rosas, Téc. Agrop. Nicolás Barolín, Francis Costa Chucarro, Jessica Fernández Rico, Valeria Uriarte

1. Objetivo del indicador

Cuantificar el agua consumida en el proceso productivo llevado a cabo en los establecimientos lecheros (tambos), establecimientos de ganado en confinamiento (EGC²⁶) e industria.

2. Descripción

El agua consumida para los dos rubros considerados, provienen de:

- a. **Tambos:** agua de limpieza de las unidades de ordeño (sala de ordeño, máquina de ordeñar, corral de espera, entre otras) y el agua directamente consumida como alimento, sin considerar el agua contenida en los alimentos que conforman la dieta.
- b. **EGC:** agua consumida directamente por los animales en los establecimientos de ganado en confinamiento, sin considerar el agua contenida en los alimentos que conforman la dieta.

3. Niveles y alcance

Se pretende estimar el consumo de agua para 3 niveles:

- Nivel 1: Huella Ambiental del sector ganadero a nivel nacional,
- Nivel 2: Huella Ambiental por establecimiento (tambo y EGC)
- Nivel 3: Huella ambiental por producto (leche y carne).

4. Metodología de cálculo

A continuación se describen las consideraciones y supuestos para la determinación de los indicadores.

- a. **Tambos**
 - **Datos**
 - Las existencias bovinas se obtuvieron del visualizador de procesamiento de las Declaraciones Juradas de Existencias de DICOSE correspondiente al año 2021.
 - Respecto al consumo de agua por vaca (38-110 L/VO/d), fue considerado el promedio, de 74 L/VO/d. "Uso del Agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte I)" de Ing. Agr. Emilio Duarte.
 - No se consideró el consumo de agua para riego, dado que se considera despreciable. El 6,9% de la superficie bajo riego es utilizada en montes frutales, vid, cultivos hortícolas, cerealeros e industriales, cultivos forrajeros, praderas y siembras en cobertura. La fuente de información

²⁶ Por EGC se entiende establecimiento de engorde a corral (EEC) y establecimientos cuarentenarios.

utilizada fue "Informe sobre riego en Uruguay. DIEA - MGAP (noviembre, 2018)"

- Los datos de producción de leche nacional y departamental fueron obtenidos del visualizador de procesamiento de las Declaraciones Juradas de Existencias de DICOSE correspondiente al año 2021. Se extrajo el consumo promedio de agua para limpieza de instalaciones de ordeño y por vaca en ordeño por día de la "Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros" CONAPROLE, DINAMA, IMFIA, 2008²⁷. El valor utilizado fue de 50 L/VO/día. No se dispone de la información de productividad por hectárea de los establecimientos lecheros, sino que se conoce la producción de leche por año y a escala departamental.

- **Supuestos**

El total de vacas en ordeño de los sujetos de control, contempladas en los Proyectos de Ingeniería presentados ante DINACEA, fue determinado a partir de la capacidad máxima de las salas de ordeño según lo aprobado en los trámites de SAD y/o PGRS, según corresponda.

- **Procedimiento**

- Consumo de agua del rodeo lechero para el nivel I: a partir de las existencias bovinas, obtenida del visualizador de procesamiento de las Declaraciones Juradas de Existencias de DICOSE correspondiente al año 2021 (315.471), y en función del promedio de agua utilizada para el lavado de zonas sucias, reportada en Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros" CONAPROLE, DINAMA, IMFIA, 2008 (promedio de 50 lts/VO/día), se arribó al consumo nacional de agua para lavado (5.757.346 M³/año). Utilizando la misma fuente de información para las existencias bovinas, y utilizando el promedio de consumo de agua para alimento reportado por el Ing. Agr. Emilio Duarte, en su trabajo, "Sistema de abrevadero (Parte I)" (74 lts/vo/día) se obtuvo el total a nivel nacional, de agua para consumo como alimento (8.520.872 M³/año). La sumatoria de ambos consumos totalizan el agua consumida por el rodeo lechero nacional (14.278.217 M³/año). Consumo de agua nivel II: no se contó con la información al momento de realizar este trabajo.
 - Consumo de agua nivel III: para la determinación del consumo de agua por unidad de producto, se realizó el cociente entre el consumo de agua del rodeo lechero a nivel nacional (14.278.217 M³/año) y la producción de leche nacional del 2021, extraída del visualizador de procesamiento de las Declaraciones Juradas de Existencias de DICOSE (14.278.217 M³/año). El valor obtenido fue 6.27 lts agua/lit de leche.

b. EGC

- **Datos**

- Se utilizó el valor de máxima capacidad de albergue de animales de las existencias de bovinos de los engordes a corral y cuarentenas sujetos de

control (325.603 cabezas; n=73) y una duración promedio del ciclo de 300 días (extraído de los Registros de EEC).

- Se utilizó el peso promedio por animal (440 kg), obtenido como la media estimada de peso de ingreso de los animales al encierro y de salida del mismo (350 kg y 530 kg, respectivamente).
- Se consideró un consumo de 17,6 kg de MS de alimento para una ganancia de peso de 1,115 kg/animal/día, para una dieta tipo de Engorde a Corral. "Primer estudio de huella de carbono en Uruguay" (2013).
- Para el consumo de agua como alimento se consideraron 10,5 litros cada 100 kg de peso vivo para bovinos de carne, extraído de (Csiro, 1994). "Uso de sobra y agua" Plan Agropecuario

Supuestos

- Se consideró la cantidad de animales correspondientes a las máximas capacidades de albergue de engordes a corral declarados en los Registros de EEC según Decreto 178/010, totalizando 325.603 cabezas de ganado.
- Se consideró una duración de 300 días promedio de permanencia de los animales en los corrales, según el promedio de duración de los ciclos de los sujetos de control considerados.
- - Se utilizó el consumo de materia seca de una dieta tipo de un animal en feedlot, según bibliografía "Primer estudio de huella de carbono en Uruguay" (2013)"
- Se despreció el agua de los cultivos y consumo de agua para riego dado que se considera despreciable (6,9% de la superficie de montes frutales, vid, cultivos hortícolas, cerealeros e industriales, cultivos forrajeros, praderas y siembras en cobertura se encuentran bajo riego). "Informe sobre riego en Uruguay. DIEA - MGAP (noviembre, 2018)"

- **Procedimiento**

Consumo de agua de bovinos en encierro a corral para el nivel I: a partir del total de existencias de bovinos en encierro a corral para Cuota 481 y cuarentena de la base de datos disponible en el Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA), que son sujetos de control (325.603) y el peso promedio considerado por animal (440 kg), se obtuvo el total de toneladas de PV (143.265 tt). A partir del consumo de agua de 10.5 lt/100 Kg de PV se obtuvo el consumo de agua para el peso promedio de animales (440 Kg), dando como resultado 46.2 lts de agua por día para animales de dicho peso promedio. Multiplicando este valor por los 300 días de duración de ciclo considerado, se llega a un consumo de agua por ciclo de 13.860 litros/animal/año. Por último se multiplicó el total de existencias (325.603) por el consumo de agua por animal (13.86 M³/animal/año), llegando al consumo de agua para alimento a nivel nacional de 4.512.857 M³ anuales.

Consumo de agua de bovinos en encierro a corral para el nivel II: no se contó con la información al momento de realizar este trabajo.

Consumo de agua de bovinos en encierro a corral para el nivel III:

Para obtener el valor de consumo de agua para alimento a nivel de producto se procedió a realizar el cociente entre el consumo de agua a nivel nacional (4.512.857 M³) y el total de Kg PV de las existencias bovinas en encierro a corral para Cuota 481 y cuarentena sujetos de control (143.265.320), obteniendo como resultado 31.5 litros de agua por kg PV.

Limitantes

Si bien se dispone de la información de las existencias bovinas encerradas (cuarentena y Cuota 481) a nivel nacional y departamental, con el detalle de sección policial, obtenida a partir del procesamiento de las Declaraciones Juradas de existencias 2020 (información pública del MGAP), no se posee el detalle de cuáles establecimientos de los sujetos de control estuvieron operativos, ni las categorías que encerraron. Por tanto se incurrirá en ese error al desconocerse la categoría encerrada. Este aspecto conlleva a utilizar el peso promedio de 440 kg por animal (resultado de promediar un peso de ingreso de los animales al encierro y de salida del mismo de, 350 kg y 530 kg, respectivamente), lo cual podría estar sobrestimando el agua consumida. Siendo que en realidad se encierran categorías menores (terneros, vaquillonas sin entorar, entre otros).

c. Consumo de agua en la industria frigorífica e industria láctea

Metodología de cálculo:

Para el cálculo de los indicadores asociados al consumo de agua, se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

1. los consumos y las fuentes de agua, reportadas por las empresas en los Informes Ambientales de Operación (IAO) correspondiente al año 2019.
2. Las fuentes de agua consideradas fueron: agua superficial, subterránea y agua de la red de OSE.
3. Se identificó cada industria por el número de enlace que le es asignado en el SIA. Se filtró de la base de datos las industrias correspondientes al rubro cárnico (matadero de ovino y bovinos) y lácteo.
4. Se procedió a realizar las conversiones correspondientes por cada fuente de consumo informada, para expresar los valores de consumo en m³.
5. Para estimar el indicador de consumo de agua a nivel país (nivel I) por sector industrial, se sumaron los volúmenes anuales obtenidos de cada empresa, para luego totalizar los consumos correspondientes a cada sector.
6. En lo que respecta al indicador nivel II, como se mencionó anteriormente las empresas fueron identificadas por número de enlace y por rubro, lo que permitió realizar fácilmente la sumatoria de los consumos de agua que cada una tuvo para el año 2019.
7. Para el cálculo del indicador nivel III, fue segregado los consumos de agua para la faena de ovinos y bovinos. En ambos casos, se tomó el dato de peso vivo

faenado en ton, reportado por el INAC para el año 2019. Luego se dividió el consumo de agua anual obtenido para la faena de ovino y bovino sobre el peso vivo de cada especie en tonelada, de forma independiente.

8. Para este mismo indicador, pero para el sector lácteo, se procedió a realizar el cálculo de la misma manera que para el sector cárnico, solo que teniendo en cuenta la sumatoria total de los m³ de leche remitida que reportaron las industrias para el año mencionado.

Consideraciones:

- Como valor de referencia de consumo de agua por peso vivo faenado, se relevó el consumo de agua (m³) por unidad de producción reportado en las Solicitudes de Autorización de Desagüe Industrial (SADI) de los sujetos de control del ACDA, resultando para bovinos un consumo entre 2.5 y 3.5 m³ de agua y para ovinos.
- De acuerdo con el consumo de agua por unidad de producción informado en las SADI de los emprendimientos de faena de ovinos, se espera un consumo promedio de 0.6 m³ por ovino. Este fue utilizado como valor de referencia a la hora de la determinación del indicador de consumo de agua por peso vivo de ovino faenado.
- Se consideraron como datos de consumo de agua válidos para los ovinos, aquellos que se encontraban entre 0.15 y 1.05 m³ por ovino, límites calculados como el valor de referencia más o menos sigma 75% del valor de referencia, según corresponda.
- Se estableció el criterio del 75% a los efectos de poder considerar mayor parte de los emprendimientos sujetos de control (67%).
- Para el cálculo del consumo de agua del sector lácteo se tomó en cuenta del total de los sujetos de control, aquellos que presentaron IAO y el reporte de los m³ de materia prima procesada en la DJR para el año 2019, representando un 83% del total de la leche remitida.

Total de m³ de leche remitidos 2019 de acuerdo INALE	1.970.028
Total de m³ de leche remitidos por los sujetos de control del ACDA considerados 2019	1.643.698

- Se utilizó para la verificación del indicador de consumo de agua del sector lácteo, el indicador de referencia determinado en las Mejores Técnicas Disponibles en España, entre 1-6 m³ de agua/ton leche remitida, filtrando aquellas que se encontraran por encima o por debajo de dicho rango.
- Del mismo modo para este indicador de consumo de agua del sector lácteo, se utilizó como valor comparativo y de verificación datos, lo reportado en la “Memoria anual – 2021” publicado por Conaprole, cuyo manual recoge datos de los últimos 3 años de operación de todas las plantas. Para nuestro caso tuvimos en cuenta el indicador determinado para el año 2019.

- Se realizó el cálculo del indicador de consumo de agua por cabeza, ya que la información disponible y consultas bibliográficas se encontraban expresadas de esta forma, sirviendo como una medida de comparación y verificación de datos.

Limitaciones

Solo se tuvieron en cuenta las empresas que presentaron Informes Ambientales de Operación y Declaraciones Juradas de Residuos para el año 2019.

La información al ser tomada de los reportes realizados por las mismas empresas puede tener errores de digitación o en algunos casos errores en los cálculos y/o estimaciones del profesional competente encargado de la presentación de los informes y declaraciones juradas.

5. Fuente de datos para los indicadores

Los datos correspondientes a tambos y EGC provienen de las siguientes fuentes:

- Ministerio de ambiente: Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA) de la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA)
- INIA

6. Referencias y bibliografía:

MGAP 2021:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiaNjRhMjVhMWItZmYyNS00M2UzLTg1MjEtNDRhMmM0ZTlwZWY4IiwidCI6IjNlY2RjZTkxLWwEwOTctNDdjYy1iMWUzLWJiOWIzNjExNGI1NSIsImMiOjR9>

Uso del Agua en establecimientos agropecuarios. Sistema de abrevadero (Parte I)" de Ing. Agr. Emilio Duarte.

https://www.planagropecuario.org.uy/publicaciones/revista/R139/R_139_52.pdf

Informe sobre riego en Uruguay. DIEA - MGAP (noviembre, 2018)"

https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/sites/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/files/documentos/publicaciones/informe_riego_en_uruguay_1.pdf

Guía de gestión integral de aguas en establecimientos lecheros" CONAPROLE, DINAMA, IMFIA, 2008

<https://es.scribd.com/document/389170655/2-Guia-de-Gestion-Integral-de-Aguas-en-Establecimientos-Lecheros>(Csiro, 1994). "Uso de sobra y agua" Plan Agropecuario

http://www.planagropecuario.org.uy/docs/Uso_del_agua_y_sombra.pdf

Base SIA: Informes Ambientales de Operación, año 2019. DINACEA.

Conaprole, Memoria Anual, 2021. Disponible en:
https://www.conaprole.uy/conaprole_memoria_anual_2021_es/

Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector Lácteo, 2015. Disponible en:
<https://prtr-es.es/Data/images/>

INAC, 2019. Anuario Estadístico 2019. Disponible en:
https://www.inac.uy/innovaportal/file/18355/1/inac_anuario2019.pdf

INALE, 2022. Remisión a planta y composición de la leche. Disponible en:
<https://www.inale.org/estadisticas/remision-a-planta/>

Consumo de energía fósil

1. Objetivo del indicador

Cuantificar la energía fósil consumida en el proceso productivo de establecimientos lecheros (tambos), establecimientos de ganado en confinamiento (EGC²⁸) y la industria.

2. Descripción

La energía consumida para los dos rubros considerados, provienen de:

- a. **Tambos:** energía consumida en la producción de alimentos, alimento comprado, energía eléctrica y equipos de maquinaria reportados en la tesis de Llanos García²⁹.
- b. **EGC:** promedio del consumo de energía eléctrica reportada en los Informes Ambientales de Operación para el año 2020.

3. Relevancia

Reducir el consumo de energía fósil y aumentar la eficiencia energética de los establecimientos agropecuarios puede presentar ventajas ambientales y económicas. Estos indicadores pretenden cuantificar el consumo de energía de los emprendimientos descriptos en el acápite 2.

4. Niveles y alcance

Se pretende estimar la energía consumida para 3 niveles:

- Nivel 1: Huella Ambiental del sector ganadero a nivel nacional,
- Nivel 2: Huella Ambiental por establecimiento (tambo y EGC)
- Nivel 3: Huella ambiental por producto (leche y carne).

5. Metodología de cálculo

A continuación, se describen las consideraciones y supuestos para la determinación de los indicadores.

a. Tambos

- **Datos.**
- Los datos de producción de leche fueron extraídos del visualizador de MGAP que posee la información del procesamiento de las Declaraciones Juradas de Existencias de DICOSE del año 2021³⁰.

²⁸ Por EGC se entiende establecimiento de engorde a corral (EEC) y establecimientos cuarentenarios.

²⁹ LLANOS GARCÍA, E. "Eficiencia energética en sistemas lecheros del Uruguay". Tesis de Maestría, Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía, 2011.

³⁰<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoibjRhMjVhMWItZmYyNS00M2UzLTg1MjEtNDRhMmM0ZTlwZWY4IiwidCI6IjNlY2RjZTkxLWUwOTctNDdjYy1iMWUzLWJiOWIzNjExNGI1NSIsImMiOiR9>

- Se extrajo el valor de uso de energía fósil por litro de leche producido, del promedio de valores reportados para los predios lecheros del Uruguay, presentados en la Tesis para obtener el título de Magister de Eduardo Llanos.
- No se dispone de la información de productividad por hectárea de los establecimientos lecheros, sino que se conoce la producción de leche por año y a escala departamental.

Supuestos

- El total de vacas en ordeño de los sujetos de control, contempladas en los Proyectos de Ingeniería presentados ante DINACEA, fue determinado a partir de la capacidad máxima de las salas de ordeño según lo aprobado en los trámites de SAD y/o PGRS, según corresponda.

Procedimiento

- Se obtienen los datos de producción de leche informados en las Declaraciones Juradas de DICOSE 2021, permitiendo obtener esta información a nivel nacional y a nivel departamental.
- Se extrae el promedio de uso de energía fósil (MJ/l) de los tres estratos de 30 tambos relevados en la tesis de Maestría de Llanos García.
- Se utilizó la unidad expresada en Toneladas Equivalentes de Petróleo (1MJ=41870 tep), extraída del Ministerio de Industria, Energía y Minería, informe de "Industria 2020".
- Se determinó el consumo de energía para el nivel 1: realizando la sumatoria de uso de energía fósil por departamento para arribar al valor país en MJ. Luego se realizó el cociente entre este total y el equivalente en tep (1 MJ=41870 tep) obteniendo así el valor de 178334 tep de energía fósil consumidos para la lechería a nivel nacional
- Determinación de la energía consumida para el nivel 2: no se contó con la información al momento de realizar este trabajo.
- Determinación de la energía consumida para el nivel 3: se dividió el total de leche producida a nivel nacional sobre el total de energía fósil consumida a nivel país obteniéndose así dicho parámetro por unidad de producto (0.0783 tep/M³ leche).

b. EGC

Datos

Se consideraron la cantidad de animales correspondientes a las máximas capacidades de albergue de engordes a corral declarados en los Registros de EEC según Decreto 178/010, totalizando 325.603 cabezas de ganado.

Se extrajo el promedio de consumo de energía eléctrica de los establecimientos de engordes a corral que presentaron Informe Ambiental de Operación para el año 2020. El promedio de 8 datos fue de 36,83 kwh/animal/año. Este valor se utilizó para convertir a Toneladas Equivalentes de Petróleo (Tep). Se extrajo el valor del Ministerio de Industria, Energía y Minería, informe de "Industria 2020". (0,00317 tep/animal/año).

- Se utilizó el consumo de Gas Oil de 7 establecimientos de engorde a corral que presentaron Informe Ambiental de Operación, para determinar el promedio de

consumo por animal por año (0,00850 m³/animal/año) y se pasaron las unidades a tep/animal/año (0.00708).

Supuestos

Se consideraron las capacidades máximas de albergue de los establecimientos registrados, dado que se desconoce si los establecimientos operan a su máxima capacidad.

Procedimiento

Determinación de Energía Eléctrica Nivel I: a partir del total de existencias de bovinos en encierro a corral para Cuota 481 y cuarentena de la base de datos disponible en el Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA), que son sujetos de control (325.603; n=73), se identificó sección policial, departamento de emplazamiento, y capacidad máxima instantánea. Con el promedio de consumo de energía eléctrica de los establecimientos de engordes a corral que presentaron Informe Ambiental de Operación para el año 2020 (36,83 kwh/animal/año) se obtuvo el total de consumo de energía eléctrica (11.991.898 Kwh/año) y se lo convirtió a tep/año (1034). Se repitió el procedimiento para arribar al cálculo de gasoil consumido para lo cual se multiplicó el total de existencias (325.603) por el promedio de consumo de gasoil por animal por año (0,00850 m³/animal/año), obteniéndose el total de 2768 M³/año que equivalen a 2306 tep/año.

Determinación de Energía Eléctrica Nivel II: no se contó con la información al momento de realizar este trabajo.

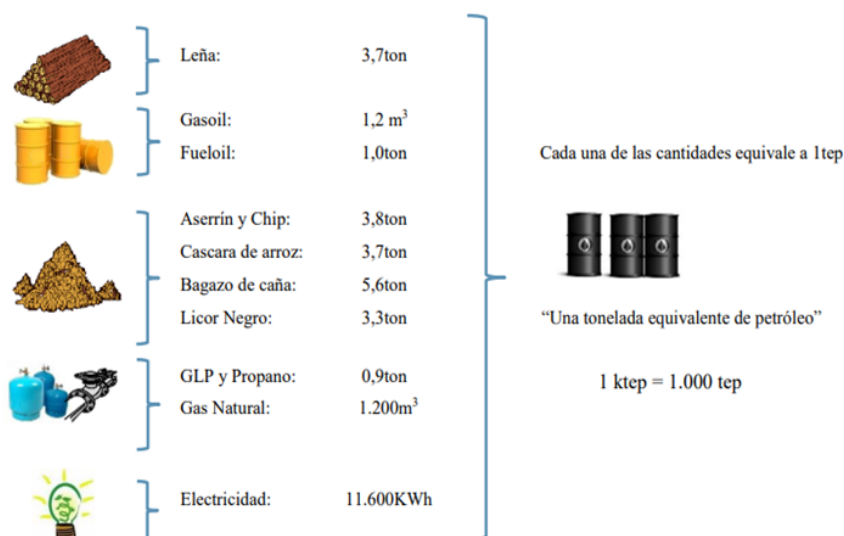
Determinación de Energía Eléctrica Nivel III: a partir del total de existencias de bovinos en encierro a corral para Cuota 481 y cuarentena que son sujetos de control (325.603; n=73) y el promedio de peso vivo por animal (440 Kg), se obtuvo el consumo de energía en kwh/kg PV y tep/TPV (0.0837 y 0.07, respectivamente). Para el cálculo de consumo de gasoil, se procedió de igual manera, obteniéndose el valor de 0.019M³/ton PV, resultante de dividir el consumo de gasoil (2768 M³/año) entre el PV del rodeo nacional (143.265 ton). Dicho resultado se expresa también en tep/ton Pv, siendo este valor de 0.016.

c. Consumo de energía de la Industria frigorífica y láctea:

Datos y supuestos

- Para estimar este indicador se utilizó la información presentada por las empresas de la industria láctea y frigorífica, en los Informes Ambientales de Operación (IAO), correspondiente al año 2019 ante el Departamento de Control Ambiental de Actividades (DCAA) de DINACEA y las Declaraciones Juradas de Residuos (DJR).
- Estos IAO son presentados de manera online, mediante el Sistema de Información Ambiental (SIA) o formato papel. Las DJR ingresan todas tanto online como en papel.
- Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos para el cálculo de los diferentes indicadores:

- Cada industria se identificó con el número de enlace que se le asigna en el SIA y en el DCAA (DINACEA, MA), y se filtró por rubro los sectores cárnicos y lácteos.
- Se tomó en cuenta las diferentes fuentes de consumo de cada industria, entre ellas: energía eléctrica, gas, fuel oil y leña.
- Se utilizó la unidad Tep (tonelada equivalente de petróleo), para la unificar las unidades de combustión y poder ser cuantificadas.
- Para cada industria, se realizó la sumatoria del consumo de energía anual por tipo de fuente y se dividió por la unidad equivalente a 1 tep. La conversión se puede ver en la siguiente figura.



- Luego de haber convertido los totales de energía de cada fuente de consumo a tep, se procedió a la sumatoria total, pudiéndose obtener el indicador de consumo anual de energía a nivel nacional (nivel I).
- Para el cálculo del indicador del nivel II, se tomó en cuenta 36 industrias cárnicas y 30 industrias lácteas. Comprendidos allí los sujetos de control por el DCAA más importantes e identificando cada industria con su correspondiente número de enlace.
- En el caso del sector lácteo, para el cálculo del indicador nivel III, se procedió a dividir entre el consumo de energía total en el año sobre los m3 de leche remitida para el año 2019 obteniéndose el indicador de consumo energético por m3 de leche remitida (0.05).
- Para el cálculo del indicador nivel III del sector cárnico, se procedió a cuantificar en primer lugar la cantidad de ovinos y bovinos faenados en función de la información presentada por las empresas en sus IAO, correspondientes al año 2019.

- Luego se determinó el indicador de consumo de energía por cabeza faenada, dividiendo el total de energía anual consumida para el sector cárnico sobre el total de animales faenados.
- Para el cálculo del indicador de consumo de energía por peso vivo de ovinos y bovinos faenados, se realizó la conversión de cabeza faenada a peso vivo utilizando la información reportada para el año 2019 por el INAC, resultado en 0.479 ton/ bovino y para el caso de los ovinos fue de 0.041 ton/ ovino. Luego se determinó el indicador de la misma manera que el mencionado en el punto anterior, solo que se sustituyó el dato de cabezas faenadas por el total de peso vivo faenado en toneladas calculado.

Limitaciones

- Solo se tomaron en cuenta los sujetos de control que presentaron tanto IAO y DJR del año 2019.
- Del sector cárnico sólo se tuvieron en cuenta los mataderos de bovinos y ovinos, no - considerando chacinerías, abastos, triperías, entre otros. Para el sector lácteo sólo se tomaron en cuenta las industrias que procesan leche, no comprendiendo a aquellas que solo fabrican quesos.
- Para el sector lácteo, en el cálculo del indicador nivel III, solo se tomaron en cuenta las industrias que para el año 2019, reportaron en sus Declaraciones Juradas de Residuos DJR, los m3 de leche remitida, siendo un total de 17 industrias (de las 30 consideradas para el cálculo del indicador nivel 2).

Limitantes

Si bien se dispone de la información de las existencias bovinas encerradas (cuarentena y Cuota 481) a nivel nacional y departamental, con el detalle de sección policial, obtenida a partir del procesamiento de las Declaraciones Juradas de existencias 2020 (información pública del MGAP), no se posee el detalle de cuáles establecimientos de los sujetos de control estuvieron operativos, ni las categorías que encerraron. Por tanto se incurrirá en ese error al desconocerse la categoría encerrada. Este aspecto conllevo a utilizar el peso promedio de 440 kg por animal (resultado de promediar un peso de ingreso de los animales al encierro y de salida del mismo de, 350 kg y 530 kg, respectivamente), lo cual podría estar sobrestimando la energía consumida. Siendo que en realidad se encierran categorías menores (terneros, vaquillonas sin entorar, entre otros).

6. Fuente de datos para los indicadores

Los datos correspondientes a tambos y EGC provienen de las siguientes fuentes:

- Ministerio de ambiente: Área de Control y Desempeño Ambiental (ACDA) de la Dirección Nacional de Calidad y Evaluación Ambiental (DINACEA)
- INIA
- Recopilación de datos de BIOVALOR

Limitaciones

- No es posible determinar los consumos de energía a nivel 3 por N° de DICOSE o predial, dado que es información privada, a la cual no tenemos acceso.
- No tenemos el detalle de las existencias bovinas ni Unidades Ganaderas a nivel departamental que se corresponden a establecimientos de engorde a corral. Es por ello, que se determinó el consumo de energía por la actividad, a partir de la capacidad máximas instantáneas de albergue de los sujetos de control, quedando fuera: engordes y cuarentenas que no quedan comprendidos por el Decreto 178/010, o que hoy, se encuentren omisos en la presentación de los trámites.

8. Indicadores asociados

Exportación por fuente difusa.

9. Bibliografía

BIOVALOR 2020, "Efluentes de Tambos en Uruguay: Antecedentes bibliográficos nacionales e información generada en Uruguay", <https://www.inale.org/wp-content/uploads/2021/04/Recopilacion-efluentes-junio-2020.pdf>

MGAP 2021
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNjRhMjVhMWItZmYyNS00M2UzLTg1MjEtNDRhMmMOZTIwZWY4IiwidCI6IjNlY2RjZTkxLWUwOTctNDdjYy1iMWUzLWJiOWIzNjExNGI1NSIsImMiOjR9>

INAC, 2019. Anuario Estadístico 2019. Disponible en: https://www.inac.uy/innovaportal/file/18355/1/inac_anuario2019.pdf

MGAP-DIEA, 2020. Anuario Estadístico Agropecuario 2020. Disponible en: <https://www.gub.uy/ministerio-ganaderia-agricultura-pesca/datos-y-estadisticas/estadisticas/anuario-estadistico-agropecuario-2020>

MVOTMA-DINAMA, 2013, "Informe del Estado del Ambiente", División Calidad Ambiental.

Pordomingo, A. J. (2003). Gestión ambiental en el feedlot. *Guía de buenas prácticas*. INTA Anguil, 90.

SNA, 2018. "Plan de Acción para la Protección de la Calidad Ambiental y la Disponibilidad de las Fuentes de Agua Potable en la Cuenca del Río Santa Lucía" Disponible en: https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/documentos/publicaciones/PLAN_DE_ACCION_RIO_SANTA_LUCIA_-_MEDIDAS_DE_2da_GENERACION.pdf

Base SIA: Informes Ambientales de Operación, año 2019. DINACEA.

INAC, 2019. Anuario Estadístico 2019. Disponible en:

https://www.inac.uy/innovaportal/file/18355/1/inac_anuario2019.pdf

INALE, 2022. Remisión a planta y composición de la leche. Disponible en:

<https://www.inale.org/estadisticas/remision-a-planta/>

Conaprole, Memoria Anual, 2019. Disponible en:

MEMORIA-CONAPROLE-2019-comprimido2.pdf

DNE, Balance Energético Nacional 2019. Disponible en:

<https://www.gub.uy/ministerio-industria-energia-mineria/sites/ministerio-industria-energia-mineria/files/documentos/noticias/Presentacio%CC%81n%20BEN2019%20FINAL.PDF>

Impacto de plaguicidas³¹

El equipo que trabajó en este indicador fue Ing. Agr. Sebastián Falco, BQ. Leonidas Carrasco-Letelier, Ing. Quím. Federico Souteras

1. Objetivo del indicador

Expresar en unidades estandarizadas el impacto global de los plaguicidas (o sustancias químicas) utilizados directamente en la producción ganadera y lechera y en sus cadenas de suministro.

2. Descripción

Para el cálculo se seguirá la estructura sugerida por la norma ISO 14044 para análisis de ciclo de vida y la metodología para cálculo de la huella ecotoxicológica.

En este análisis el aspecto ambiental a evaluar es el uso de plaguicidas (o sustancias químicas).

El impacto de los plaguicidas en la producción cárnica y láctea deriva de los cultivos como por ejemplo soja, sorgo, maíz y girasol, destinados a la dieta de los animales. Esto significa que el impacto se genera en los establecimientos agrícolas y no en los predios ganaderos. Es decir, que pueden ser ex situ del área de análisis. La figura siguiente muestra las regiones agropecuarias del Uruguay en base al Censo Agropecuario 2011, nótese la localización de las zonas ganaderas y las zonas de agricultura de secano.

³¹ Plaguicidas se usará como término aceptado por FAO para describir a las sustancias químicas para controlar las plagas y, según del Diccionario de la Real Academia Española, posee un significado similar a pesticida, agrotóxico y abarcando más que fitosanitario.

Por el contrario, el término agroquímico -según la RAE - abarca todas las sustancias usadas en la producción agrícola; es decir, abarca más que los plaguicidas.

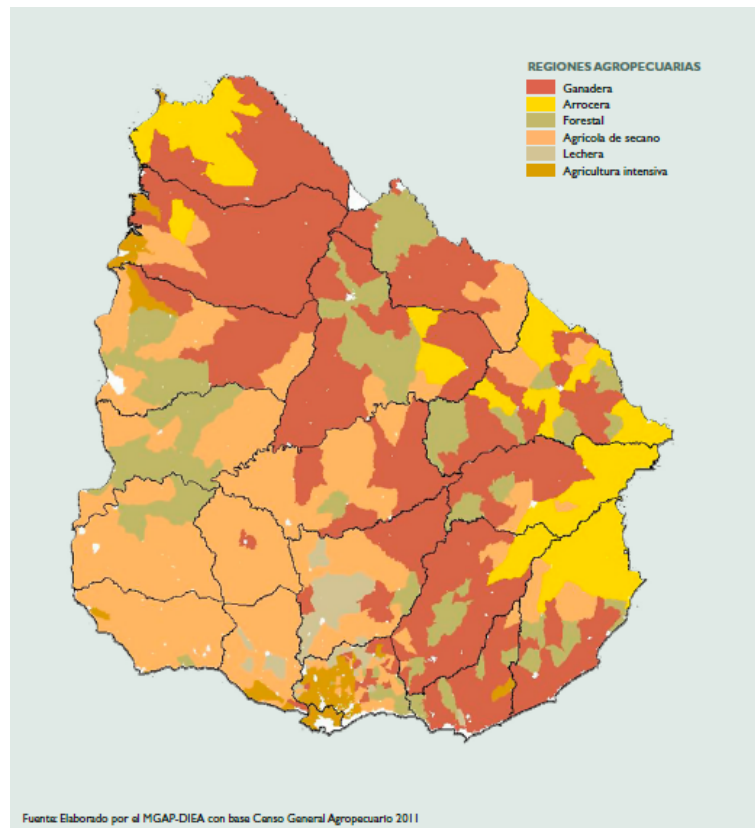


Figura 1 - Regiones agropecuarias según Censo Agropecuario 2011.

3. Relevancia

Este estudio nunca se ha realizado en el país y el análisis de este indicador en sus distintos niveles de agregación (nacional; productor; producto) permitirá tomar decisiones en distintos ámbitos y niveles. Entre ellos se identifica:

- incluir los principios activos y/o metabolitos en monitoreos y controles ambientales;
- solicitar a INIA y MGAP el desarrollo de propuestas para reducir el impacto de la suma global (expresada en unidades equivalentes) de la huella ecotoxicológica; ya sea a través del reemplazo de plaguicidas por alternativas de eficiencia equivalente y menor toxicidad y/o complementación con prácticas de manejo agronómico (ej. manejo de enrolado, uso puentes verdes con densidades de siembra, etc.)
- La información relevada permitirá priorizar qué ingredientes activos deberían ser priorizados en su estudio de impacto ambiental, basado en su aporte al impacto global de cada cadena de producción. Ya que, el criterio basado en la masa de compuesto usado o su DL50 no sistematizan de forma clara la información para definir los impactos relevantes en el ecosistema o en humanos (ej. compuestos de amplio uso y baja toxicidad y/o de bajo uso y alta toxicidad) .

4. Niveles y alcance

Alcance:

Temporal: - rotación de cultivos o productivo.

- existencias de animales de producción cárnica faenados en un año y los subsistemas productivos involucrados.
- existencias de animales asociados a la producción lechera anual.

Fronteras del sistema: producción ganadera y lechera y sus cadenas de suministro hasta la finalización de la primera industrialización de los principales productos de la ganadería.

En términos generales cubre las principales etapas: producción de alimentos fuera de la unidad productiva (ración, heno, silo húmedo, etc.), los procesos ocurridos dentro de la unidad productiva; el transporte de animales a la instalación de procesamiento primario. incluyendo las etapas de procesamiento desde la cuna hasta la primaria del ciclo de vida de los principales productos de la ganadería.

Niveles:

Se propone la estimación de la huella ecotoxicológica de la siguiente forma:.

- **Nivel 1 (agregado a nivel nacional)** se establece el impacto acumulado asociado a los animales de ganadería cárnica faenados en el año o animales en producción lechera, según corresponda. Este valor es una variable extensiva que depende de la cantidad de animales.
- **Nivel 2 (por hectárea de producción cárnica o láctea)**, o sea unidad productiva,
Como se mencionó anteriormente el impacto por plaguicidas se deriva de la producción de cada uno de los alimentos (sorgo, soja, girasol, maíz), que componen la dieta de los animales. Es decir que los impactos se dan en los predios donde se cultiva cada uno de los alimentos y no en los predios destinados a la ganadería cárnica o lechera.
- **Nivel 3 (unidad funcional de producto)**, asociada a unidad de producto (kilos de carne, cabeza faenada en el año, litros de leche).

5. Metodologías de cálculo

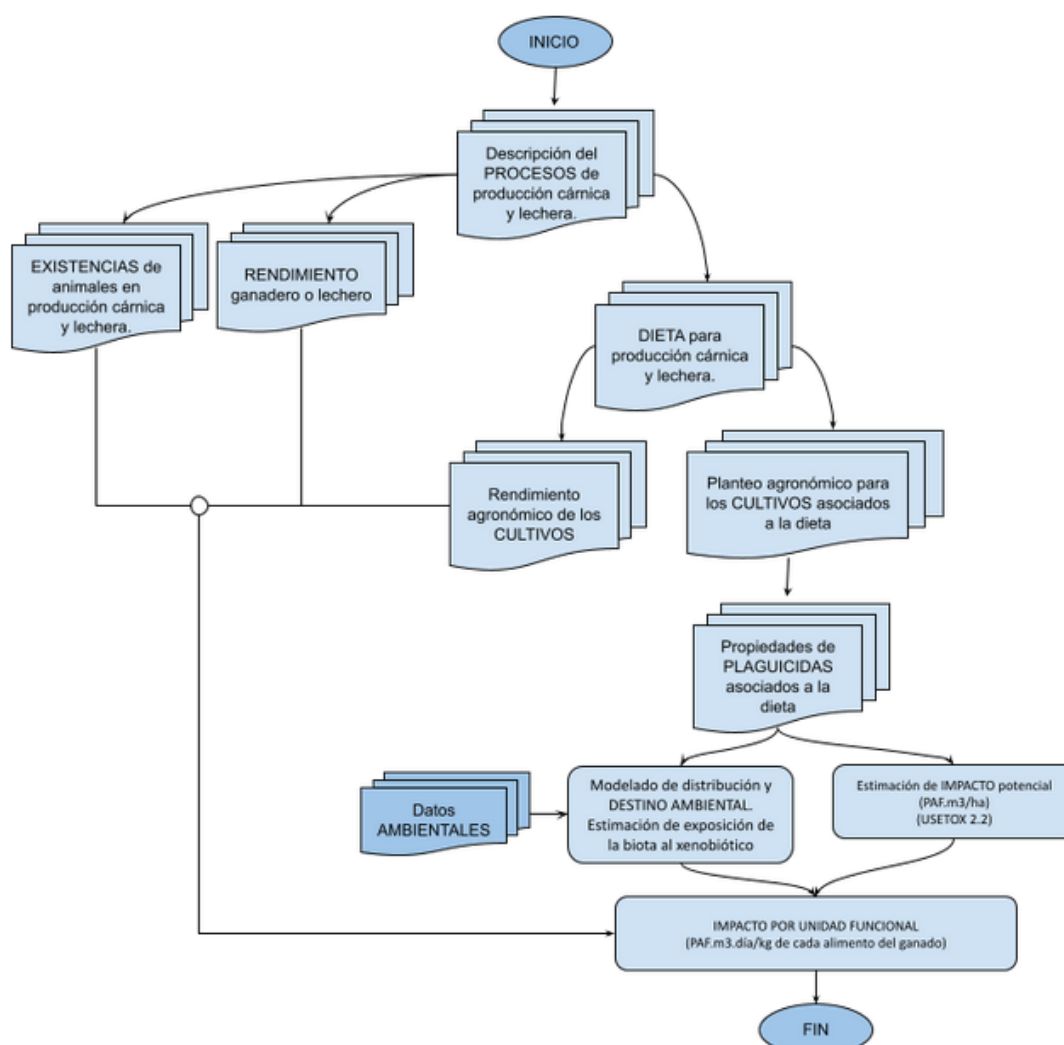


Figura 2 - Esquema general del proceso de cálculo.

Para el cálculo se seguirá la estructura sugerida por la norma ISO 14044 para análisis de ciclo de vida y la metodología para cálculo de la huella ecotoxicológica.

Para el cálculo se hará:

(a) la estimación del impacto en unidades equivalentes para cada principio activo, usando el modelo UseTox 2 (por abarcar la mayor cantidad de productos usados por Uruguay). Además este modelo, en su versión más reciente, incluye la modelación de la distribución y destino final del principio activo incluyendo tasas de degradación, basadas en constantes fisicoquímicas de consenso internacional. Lo que permite estimar el impacto ecotoxicológico por **emisiones directas al agua e indirectas del suelo al agua**, vinculadas a la producción de cada kilogramo de alimento que pueda consumir el animal (sorgo, maíz, soja, arroz). Valores que serán prorrateados a la tabla de alimentación de ganado publicada por MGAP (2014). Para el cálculo se asumirá la ausencia de degradación de los compuestos y el mayor re-transporte de los pesticidas

por la erosión al agua. Este sería el peor escenario lo cual como primera aproximación sería conservador.

Proceso de estimación

El proceso de cálculo a seguir es:

1. Definir las etapas típicas en el PROCESO de producción cárnica (Ej.: cría/recría ternero, cría/recría corta/ invernada feedlot vaquillona) y producción lechera.
2. Obtener valores de EXISTENCIAS de ganado para producción cárnica faenado en un año y existencias de ganado lechero según los sistemas y/o etapas del proceso productivo. Nótese que la duración del ciclo desde el nacimiento a la faena, es decir la edad del animal faenado, varía según la secuencia de subsistemas productivos empleados.
3. Establecer la DIETA para la producción ganadera y producción lechera según los sistemas y/o etapas del proceso productivo. (Ej.: sorgo, maíz).
4. Especificar el planteamiento agronómico para cada uno de los CULTIVOS asociados a la dieta, detallando producto comercial, compuesto activo, porcentaje típico de principio activo, dosis empleada y frecuencia o momento en que se aplica.
5. Rendimientos agronómicos de cada CULTIVO.
6. Incluir los datos AMBIENTALES representativos de Uruguay o un proxy razonable para ser utilizados en el modelo de UseTox 2.1.
7. Obtener los valores de referencia para las propiedades de los PLAGUICIDAS en la Universidad de Hertfordshire (<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>), para los plaguicidas no incluidos por el listado que posee el modelo UseTox 2.1.
8. Obtener los coeficientes de IMPACTO (PAF.m3.día/kg p.a. emitido) (potentially affected fraction of species) de cada ingrediente activo sobre agua dulce o sobre suelo. Los coeficientes a ser utilizados podrán provenir de las bases de datos: TRACI 2.0 (US-EPA) o ILCD 2011 (UE) o USeTox 2.0.
9. Mediante los datos de dosis y frecuencia de las aplicaciones, convertir los PAF.m3.día/kg p.a. emitido a PAF.m3/ha cultivada. Nótese que estos impactos se generan en donde se da el cultivo. Es decir, que pueden ser ex situ del área de análisis.
10. Mediante los rendimientos agronómicos de cada cultivo convertir los PAF.m3/ha cultivada a PAF.m3/kg alimento.
11. Mediante los rendimientos y duración del ciclo productivo, convertir los PAF.m3/kg alimento a valores de impacto PAF.m3/kg peso vivo y PAF.m3/cabeza faenada.
12. Mediante los rendimientos convertir los PAF.m3/kg alimento a valores de impacto PAF.m3/kg peso vivo.ciclo o PAF.m3/litro de leche.año.

6. Fuente de datos

Las fuentes para los datos de entrada para el cálculo del indicador son:

1. Etapas típicas en el PROCESO de producción cárnica y producción lechera según MGAP.
2. EXISTENCIAS de ganado lechero se toman del informe de zonas agropecuarias del MGAP y ganado para producción cárnica se toman los valores aportados por MGAP para el cálculo del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. Para la elaboración de esta información se utilizó la composición de los sistemas abordados en la Huella de Carbono (2013), la edad de los animales y la composición de la faena, por edad, aportada por INAC ([Estadísticas de Faena en Uruguay](#))
3. DIETA ganadera matriz de alimentación de MGAP (2014) y para producción lechera según juicio de experto.
4. Planteamientos agronómicos en base a juicio de experto.
5. Rendimientos agronómicos de cada CULTIVO en base a juicio de experto.
6. Datos AMBIENTALES para Uruguay se aproximan a los datos de Argentina disponibles para el modelo USEtox 2.1.
7. Propiedades “Pesticide, Bio-Pesticide and Veterinary Substances properties databases” Universidad de Hertfordshire que posee una actualización de los valores consensuados por las sociedades de ecotoxicología. Sin embargo los valores de sensibilidad ecotoxicológica (DL50, etc.) solo se deben considerar como una aproximación, porque no corresponden a organismos representativos de nuestros ecosistemas.
(<http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/>).

Coefficientes de IMPACTO:

- TRACI 2.0 (US-EPA)
(<https://www.epa.gov/chemical-research/tool-reduction-and-assessment-chemicals-and-other-environmental-impacts-traci>)
- USEtox 2.0.

7. Limitaciones

1. En este momento la base de datos de coeficientes de impacto sugeridas (TRACI 2.0, ILCD 2011 y USEtox 2.0) logra abarcar la mayor cantidad de los ingredientes activos usados en Uruguay. Dado que el país usa ingredientes activos prohibidos en Europa y/o EEUU, por lo cual las bases de datos no los consideran.
2. Una segunda limitante, es que algunos de los plaguicidas usados en Uruguay, no poseen su información fisicoquímica completa en la base de datos de la Universidad de Hertfordshire. Por dos razones, la constante fisicoquímica no se puede determinar (ej. el producto antes de fusionarse se descompone) o porque nunca se determinó.

3. La tercera limitante es que los factores de impacto están desarrollados para compuestos puros, y no consideran acciones sinérgicas o antagónicas de los procesos toxicológicos en campo.
4. Finalmente, la información toxicológica para organismos de referencia se debe tomar como una aproximación al impacto posible, dado que los valores están calibrados para especies de referencia del hemisferio Norte y aún no se han validado para ecosistemas de Uruguay. Por la carencia de estudios ecotoxicológicos (ej. DL50, DE50) en especies nativas que se hayan usado para calibrar modelos de impacto. Podría existir alguna información de interés en Rio Grande del Sur (Brasil), que ha trabajado en impactos ecotoxicológicos como en el de modelos desde el 2011 con apoyo de US-EPA.

8. Referencias y bibliografía

Berthoud, A., Maupu, P., Huet, C., Poupart, A., 2011. Assessing freshwater ecotoxicity of agricultural products in life cycle assessment (LCA): a case study of wheat using French agricultural practices databases and USEtox model. *Int J Life Cycle Assess* 16, 841. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0321-7>

Laurent, A., Lautier, A., Rosenbaum, R.K., Olsen, S.I., Hauschild, M.Z., 2011. Normalization references for Europe and North America for application with USEtox™ characterization factors. *Int J Life Cycle Assess* 16, 728. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0285-7>

Mackay, D., 2001. Multimedia environmental models: the fugacity approach, Second edition. ed. Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca Raton, Florida, USA.

Rosenbaum, R.K., Bachmann, T.M., Gold, L.S., Huijbregts, M.A.J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H.F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T.E., Payet, J., Schuhmacher, M., Meent, D. van de, Hauschild, M.Z., 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *Int J Life Cycle Assess* 13, 532–546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>

Rosenbaum, R.K., Huijbregts, M.A.J., Henderson, A.D., Margni, M., McKone, T.E., van de Meent, D., Hauschild, M.Z., Shaked, S., Li, D.S., Gold, L.S., Jolliet, O., 2011. USEtox human exposure and toxicity factors for comparative assessment of toxic emissions in life cycle analysis: sensitivity to key chemical properties. *Int J Life Cycle Assess* 16, 710–727. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0316-4>

ANEXO 1 - Datos para modelo de fugacidad nivel I

Los datos de entrada son:

Propiedades químicas

- Nombre químico
- Número CAS
- Peso molecular (g/mol)
- Datos de temperatura
- sustancias químicas tipo I
 - Solubilidad en Agua (g/m³)
 - Presión de Vapor (Pa)
 - Constante de reparto octanol agua (log Kow)
 - Punto de fusión (°C)
- Sustancias Tipo 2 y 3
 - coeficientes de partición
 - Constante de Henry (Pa·m³/mol)

Datos ambientales

Fracciones

- Aerosoles en Aire
- Partículas Suspendidas en agua
- Peces en Agua

Volúmenes

- Aire (m³)
- Agua (m³)
- Suelo (m³)
- Sedimento (m³)

Fracción Lipídica

- Peces (g/g)

Carbono Orgánico

- Partículas Suspendidas (g/g)
- Suelo (g/g)
- Sedimento (g/g)

Densidad

- Aire (kg/m³)
- Aerosol (kg/m³)
- Agua (kg/m³)
- Partículas suspendidas (kg/m³)
- Peces (kg/m³)
- Suelo (kg/m³)
- Sedimento (kg/m³)

Salidas del modelo

para cada uno de los medios aire, aerosol, agua, partículas suspendidas, peces, suelo y sedimentos el modelo entrega:

- Coeficientes de partición (Tipe 1)
- Valores Z
- Fugacidad del sistema
- Cantidades (mol, kg, %) y concentraciones (mol/m³, g/m³, ng/L) en cada compartimiento
- Diagrama resumen

ANEXO 2 - Datos de existencias.

Producción cárnica

sistema ganado	Edad (meses)	dientes faena	animales faenados	Ponderación (extensivo/FL)	Animales faenados 2021
cria/recria ternero	18	--	149.018	0,884	131.732
cria/invernada FL terneros	16	--		0,116	17.286
cria/recria/invernada novillo	49	8 dientes	268.561	1	268.561
cria CN/recria larga/invernada P+S novillo	42	6 dientes	181.048	0,973	176.160
cria CN/recria larga/invernada FL novillos	40	6 dientes		0,027	4.888
cria CN/recria corta/invernada FL novillos	33	2-4 dientes	618.783	0,332	205.436
cria CN/recria corta/invernada P+S novillo	35	2-4 dientes		0,668	413.347
cria/recria/invernada vaca	49	8 dientes	904.236	1	904.236
cria/recria corta/ invernada P+S vaquillona	35	2- 4 dientes	331.204	0,81	267.944
cria/recria corta/ invernada FL vaquillona	33	2- 4 dientes		0,191	63.260
cria/recria Larga/invernada P+S vaca	40	6 dientes	76.145	0,994	75.688
cria/recria corta/ invernada FL vaca	40	6 dientes		0,006	457

Fuente: A. Beretta en base a datos del observatorio de INAC para el año 2021 y la ponderación de proporción de animales desde feedlot o campo, fue extraída de un trabajo de OPYPPA.

Producción lechera

	Existencias 2021
Toros	3.327,00
Vacas en ordeño	192.289,00
Vacas secas	59.253,00
Vaquillonas de mas de 2 años sin entorar	17.309,00
Vaquillonas de 1 o 2 años	43.041,00
Terneros de menos de 1 año	32.859,00
Terneras de menos de 1 año	77.187,00
TOTAL EXISTENCIAS	425.265,00

ANEXO 3 - Mejoras para próximas iteraciones del cálculo.

A continuación se presenta un listado de potenciales mejoras a la estimación de impacto de sustancias en la producción cárnica (bovina y ovina) y lechera. Entre paréntesis se identifican potenciales fuentes de información a explorar.

- **Existencias** de los sistemas y subsistemas producción cárnica (bovina y ovina) y lechera a escala de sección policial. (MGAP, INALE, INAC)
- **Dietas típicas** para producción cárnica (bovina y ovina) y lechera para cada uno de los sistemas y subsistemas productivos.
- **Planteos agronómicos** para la producción de alimentos que sean más representativos de la práctica en campo. (MGAP, FUCREA)
- **Planteos veterinarios** para los distintos sistemas y subsistemas de producción cárnica (bovina y ovina) y lechera.
- Completar **datos faltantes de UseTox** para principios activos de pesticidas usados en Uruguay (INIA, MGAP, MA)
- Forma de aplicación de productos veterinarios, caracterización de residuos o efluentes (Ej.: baños de ganado) y descripción de las vías de **excreción y degradación /absorción**.
- Valores de **referencia de impacto** por unidad funcional para los cultivos asociados y para la producción cárnica (bovina y ovina) y lechera.
- Datos ambientales de **Uruguay**.