

# Ganadería Sostenible en el Cono Sur: Estado del arte

Presentación de las instituciones  
Resultados del Proyecto FTG/PROCISUR  
Informe Comparativo



## Ganadería Sostenible en el Cono Sur: estado del arte

### DISERTACIONES PRESENTADAS EN EL DOCUMENTO

Este documento fue elaborado por las personas referentes de los INIA e IICA integrantes del Grupo de Trabajo en Ganadería Sostenible, en el marco de la Línea Estratégica de Cambio Climático de PROCISUR. Conforman esta publicación las disertaciones de: Mauricio Álvarez, Alejandro Costantini, INTA Argentina; Alexandre Berndt, EMBRAPA Brasil; Ignacio Beltrán, INIA Chile; Silvia Vanessa Chirife, IPTA Paraguay; Elly Navajas, de INIA Uruguay.

### REFERENTES DEL GRUPO DE TRABAJO DE GANADERÍA SOSTENIBLE DEL PROCISUR

Al cierre de contenidos de esta edición, el Grupo de Trabajo de Ganadería Sostenible de PROCISUR está integrado por: Mauricio Álvarez y Claudia Faverin, de INTA Argentina; Alexandre Berndt, de EMBRAPA Brasil; Camila Muñoz e Ignacio Beltrán, de INIA Chile; Maura Ortiz, de IPTA Paraguay; Elly Navajas (coordinadora del Grupo de Trabajo) y Verónica Ciganda, de INIA Uruguay.



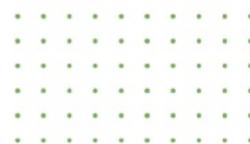
El documento “Ganadería Sostenible en el Cono Sur: estado del arte” se encuentra publicado bajo Licencia Creative Commons Atribución/Reconocimiento y CompartirIgual 4.0 Deed (CC-BY-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

El Programa promueve el uso justo de este documento, así como el tratamiento de los datos personales de acuerdo con la normativa del PROCISUR vigente.

Se solicita que se garantice el derecho de toda persona a la protección de sus datos personales.

Este documento debe ser citado apropiadamente cuando corresponda, conforme a la norma ISO 960 para referencias bibliográficas: PROCISUR. 2023 .Ganadería Sostenible en el Cono Sur: estado del arte. Montevideo, Uruguay. Disponible en formato electrónico (PDF) en el sitio web institucional, [procisur.org.uy](http://procisur.org.uy).

Montevideo, Uruguay. 2023.





## GLOSARIO

<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo	<b>INT</b>	Pastos intensivos
<b>C</b>	Carbono	<b>IPCC</b>	Panel Intergubernamental para el Cambio Climático
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano	<b>IPTA</b>	Instituto paraguayo de tecnología agraria
<b>CyT</b>	Ciencia y Tecnología	<b>LFS</b>	sistemas silvopastoriles
<b>DDGS</b>	Granos secos de destilería con solubles	<b>MPCS</b>	Mesa Paraguaya de Carne Sostenible
<b>DMI</b>	Consumo de materia	<b>MtCO<sub>2</sub>e q</b>	Megatoneladas de dióxido de carbono equivalente
<b>EMBRA PA</b>	Empresa brasileña de investigación agropecuaria	<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso
<b>FAO</b>		<b>NH<sub>3</sub></b>	Amoníaco
<b>FDN</b>	Fibra Detergente Neutra	<b>ODS</b>	Objetivos del Desarrollo Sostenible
<b>FE</b>	Factores de Emisión	<b>PEI</b>	Planes Estratégicos Institucionales
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero	<b>PI097</b>	Proyecto de INTA "Emisiones de GEI y captura de carbono en sistemas agropecuarios y forestales"
<b>GS</b>	Ganadería Sostenible	<b>PPN</b>	Producción Primaria Neta
<b>I+D+i</b>	Investigación, Desarrollo e Innovación	<b>RFI</b>	Eficiencia de conversión
<b>IICA</b>	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura	<b>SF<sub>6</sub></b>	Hexafluoruro de azufre
<b>ILPF</b>	Integración cultivos-ganadería-bosques	<b>TMR</b>	Dietas
<b>INIA</b>	Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria	<b><sup>15</sup>N</b>	Isótopo estable de nitrógeno



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. PRESENTACIÓN DE LAS INSTITUCIONES PARTICIPANTES	10
II. 1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Argentina	10
II. 2. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Brasil	14
II. 3. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) – Chile	18
II. 4. Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) – Paraguay	24
II. 5. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) – Uruguay	25
III. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL PROYECTO CONSENSUADO FTG/PROCISUR	34
IV. INFORME COMPARATIVO	42
V. BIBLIOGRAFÍA	44

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Líneas de investigación del proyecto PI097 en INTA Argentina	10	<b>Figura 23</b>	Variables según dieta	28
<b>Figura 2</b>	Líneas de investigación relacionadas con las emisiones de metano y óxido nítrico de heces y orina de INTA Argentina	11	<b>Figura 24</b>	Bovinos en comederos automáticos	29
<b>Figura 3</b>	Desarrollo de prototipos mejorados para la medición de emisiones de metano con la técnica de SF <sub>6</sub> , INTA Argentina	12	<b>Figura 25</b>	Registro de consumo y acumulación en ovinos	30
<b>Figura 4</b>	Efecto de niveles crecientes de adopción de tecnología en sistemas tradicionales y tecnificados, INTA Argentina	13	<b>Figura 26</b>	Modelo de regresión lineal	30
<b>Figura 5</b>	Informes presentados en relación a la sostenibilidad de la ganadería, reserva de carbono orgánico en suelos forestales y mapas de stock de carbono en suelo de Argentina	13	<b>Figura 27</b>	Correcciones de variables evaluadas	31
<b>Figura 6</b>	Esquema de pilares tecnológicos en GS de EMBRAPA	15	<b>Figura 28</b>	RFI, emisiones y consumo en ovinos	31
<b>Figura 7</b>	Integración cultivos ganadería-bosques	16	<b>Figura 29</b>	Matriz de parámetros genéticos	32
<b>Figura 8</b>	Producción de maderas y secuestro de C- Imagen de Pezzopane et. al. 2021	16	<b>Figura 30</b>	Simulación según la media genética del rebaño	33
<b>Figura 9</b>	Evaluación en suelos ILPF- Imagen de Pezzopane et. al. 2021	17	<b>Figura 31</b>	Stock de C en 10 años	35
<b>Figura 10</b>	Balace de C- Imagen de Oliveira et.al. 2020	17	<b>Figura 32</b>	Stock de C, muestreo Uruguay	36
<b>Figura 11</b>	Esquema de líneas de investigación sostenible INIA Ch.	18	<b>Figura 33</b>	Ejemplo Bahía, Brasil, pastoras Brachiaria	36
<b>Figura 12</b>	Metodología medición metano	18	<b>Figura 34</b>	Ejemplo pastura mixta- 16 años	37
<b>Figura 13</b>	Proyecciones acumulación gas	20	<b>Figura 35</b>	Potencial de mitigación por promoción de Lotus Genius. Argentina	37
<b>Figura 14</b>	Cámaras abiertas	21	<b>Figura 36</b>	Árbol de regresión	38
<b>Figura 15</b>	Esquema investigación de algas en la mitigación de emisiones	22	<b>Figura 37</b>	Mediciones de muestreo de invierno	38
<b>Figura 16</b>	Guía INIA	22	<b>Figura 38</b>	Mediciones en sistemas pastoriles y de corral. Córdoba	39
<b>Figura 17</b>	Imágenes obtenidas con drones y satélites	23	<b>Figura 39</b>	Mediciones en campo natural y campo natural mejorado. Uruguay	39
<b>Figura 18</b>	Líneas de investigación en GS de INIA Uruguay	26	<b>Figura 40</b>	Mediciones con diferenciación de posturas. Brasil	40
<b>Figura 19</b>	Esquema evaluación	26	<b>Figura 41</b>	Evaluación de orina y urea. Chile	40
<b>Figura 20</b>	Emisión de metano según la dieta	27	<b>Figura 42</b>	Evaluaciones de metano por animal y por ha. Brasil	41
<b>Figura 21</b>	Emisiones según dieta recría y engorde	28	<b>Figura 43</b>	Metano por tipo de Pastura. Brasil	41
<b>Figura 22</b>	Estrategias de evaluación	28			

## I. INTRODUCCIÓN

El **Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR)** es un mecanismo de integración y articulación de los **Institutos Nacionales de Investigación Agropecuaria (INIA)** de Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay, junto con el **Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)**. Su misión es fortalecer la investigación, el desarrollo y la innovación (I+D+i) en el sector agroalimentario y agroindustrial, promoviendo soluciones tecnológicas y estrategias de adaptación a los desafíos actuales, entre ellos, el cambio climático.

En los próximos años, la relación entre el cambio climático y la producción agropecuaria será un eje central en la agenda ambiental del Cono Sur. La región cuenta con sistemas productivos con huellas ambientales potencialmente menores en comparación con otras latitudes, lo que, tal como expresa el Plan de Mediano Plazo del Programa, representa una **oportunidad estratégica**. Sustentar científicamente la medición de huellas ambientales, como la de carbono, permitirá fortalecer la competitividad de los sistemas productivos y mejorar el acceso a los mercados internacionales.

La ganadería en el Cono Sur es un **activo estratégico** con un papel clave en la seguridad alimentaria global y en el cumplimiento de los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)**. Contribuye con un **aporte nutricional esencial**, representa más del **25 % de la producción mundial de carne vacuna** y cerca del **40 % de las exportaciones**, involucrando a más de tres millones de productores, en su mayoría familiares. No obstante, el sector enfrenta crecientes desafíos debido a su impacto ambiental, particularmente en términos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Esta realidad genera tensiones entre la necesidad de aumentar la productividad y las exigencias de sostenibilidad, trazabilidad y bienestar animal.



Ante este panorama, la Comisión Directiva de **PROCISUR**, a través de su línea estratégica de **Cambio Climático**, ha asumido el compromiso de contribuir mediante la investigación y el desarrollo de metodologías para la **medición de emisiones y captura de carbono** en sistemas ganaderos. Asimismo, trabajar en la caracterización de los sistemas productivos y en la identificación de tecnologías que mejoren el balance de carbono, apoyando la formulación de políticas públicas que mitiguen el impacto ambiental de la actividad.

En este contexto, en el primer semestre de 2023, el **Grupo de Trabajo de Ganadería Sostenible** del PROCISUR llevó a cabo una reunión presencial donde los INIA de la región presentaron sus avances en esta temática. Como resultado, se sistematizaron los trabajos realizados y se delineó una **hoja de ruta** con los temas prioritarios y las áreas clave para abordar el desafío de la sostenibilidad en la producción ganadera. Este documento recoge los esfuerzos de cada país presentados en el mencionado encuentro, que han proyectado una agenda de **capacitaciones, informes técnicos, sinergias entre plataformas regionales y globales, y la construcción de proyectos colaborativos**. Así, este punto de partida avanza hacia una iniciativa **multinstitucional**, que vincula la investigación con la producción agropecuaria, el sector gubernamental, los inventarios de GEI y los organismos financiadores, consolidando un enfoque integral para la ganadería sostenible en el Cono Sur.

## II. PRESENTACIÓN DE LAS INSTITUCIONES PARTICIPANTES

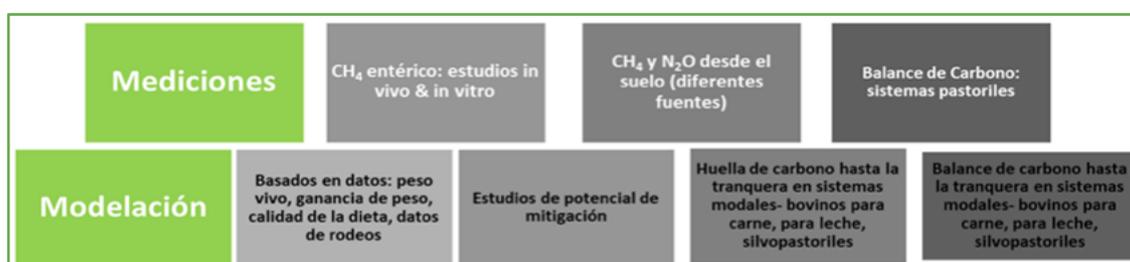
Se presentan a continuación actividades y avances en Ganadería Sostenible de los INIA que integran el PROCISUR: INTA, Argentina, EMBRAPA, Brasil; INIA, Chile; IPTA, Paraguay; INIA, Uruguay, expuestos en las jornadas presenciales que tuvieron lugar en el primer semestre de 2023 en el marco de la Línea Estratégica de Cambio Climático.

### II. 1. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) – Argentina

#### Ing. Mauricio Álvarez

En la cumbre sobre ambición climática 2020, Argentina asumió el compromiso de reducir las Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)  $\leq 349$  MtCO<sub>2</sub>eq al año 2030, por lo que en INTA pesa el mandato institucional para liderar la agenda ambiental y la sostenibilidad de la ganadería con un hito reciente que es la Presidencia de la Subcomisión de Ganadería de la FAO.

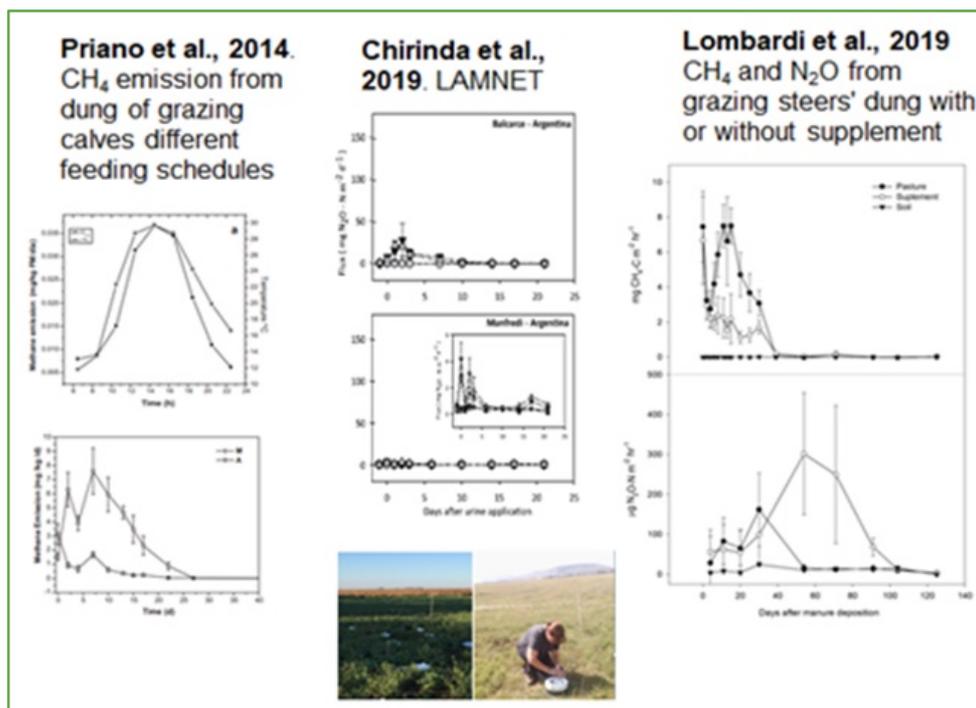
Entre las actividades de la institución, se encuentra el Proyecto PI097 “Emisiones de GEI y captura de carbono en sistemas agropecuarios y forestales” cuyo objetivo es contribuir al conocimiento acerca de los factores de emisión y secuestro en los sistemas agropecuarios e identificar las prácticas que los pueden modificar favorablemente. Se propuso cuantificar las emisiones y secuestro de suelos agrícolas y forestales, suelos pastoreados y animales, y estimar el balance de carbono utilizando modelos en los diferentes sistemas evaluados y a diferentes escalas. Además, un objetivo importante fue conformar una red de especialistas capacitados. En términos generales, las líneas de investigación tienen que ver con mediciones y con modelados (Figura 1).



**Figura 1.** Líneas de investigación del proyecto PI097

En cuanto a las mediciones, se han realizado diversos estudios y mejoras tecnológicas:

- Mediciones de metano ( $\text{CH}_4$ ) entérico *in vivo e in vitro*.
- Mediciones de  $\text{CH}_4$  y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) de suelo y proveniente de diferentes fuentes, por ejemplo: orina y heces (Figura 2) en sistemas pastoriles con distintos sistemas de suplementación, tanto en sistemas silvopastoriles como a cielo abierto.
- Mediciones del balance de carbono en sistemas ganaderos bovinos y ovinos.
- Mejoras en las técnicas de medición de  $\text{CH}_4$  entérico, en bovinos para carne, en leche, en pastoreo, *feedlot* y silvopastoril.
- Estudios de validación cruzada de la metodología en Nueva Zelanda (Pinares-Patiño et al., 2012). A nivel de manipulación nutricional se trabajó con el uso de aditivos como el propóleo y metabolitos secundarios de plantas. También, aceites esenciales de plantas nativas para inhibir la metanogénesis en ovinos y bovinos *in vitro* (García et al., 2018).



**Figura 2.** Líneas de investigación relacionadas con las emisiones de metano y óxido nitroso de heces y orina.

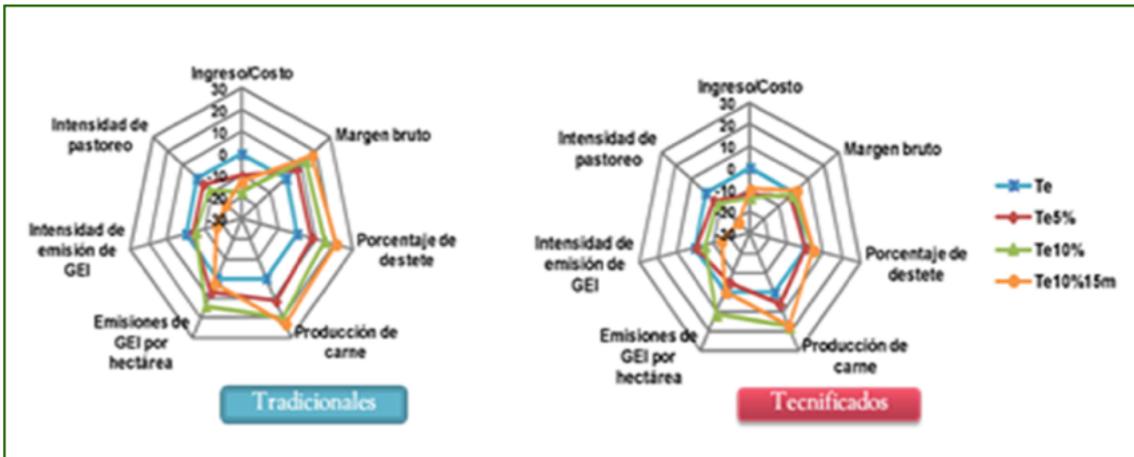
- Desarrollo de técnicas y metodologías de medición, tanto en el armado como en la calibración de los tubos de permeación (Figura 3).



**Figura 3.** Desarrollo de prototipos mejorados para la medición de emisiones de metano con la técnica de SF<sub>6</sub>.

Por otro lado, se han desarrollado modelos en base a variables que incluyen el peso vivo, ganancia de peso y calidad de dieta. Actualmente, se están estudiando el potencial de mitigación y la huella de carbono para productos provenientes de sistemas ganaderos. En paralelo, se está construyendo una base de datos con los resultados de los estudios realizados en la que se sistematiza la información, la respuesta productiva y modificación de las emisiones agrupadas por estrategias: nutricionales, manejo de pasturas, modificadores de la fermentación ruminal, uso de subproductos, suplementación, microbiota, etc. Las modelizaciones son:

- Modelización de cría bovina en Cuenca del Salado y Depresión de Laprida con productores en sistemas contrastantes en cuanto a su base forrajera (productores tradicionales de escala media vs. empresa local tecnificada de escala grande).
- Modelización de la transición tecnológica y su impacto en los GEI (Faverin et al., 2019). Se observó que los sistemas tecnificados presentan menor intensidad de emisión (15%) que los sistemas tradicionales (17%).
- Modelización de simulación de escenarios con mirada integral sobre variables ambientales, productivas y económicas (Faverin et al., 2019) (Figura 4).
- Modelización de Lechería con baja emisión, alta productividad y margen bruto.
- Modelización de sistemas silvopastoriles (550 plantas/ha; 25% de la superficie) (Gándara et al., 2021). Se observó que a los 10 años se encuentra un balance de carbono positivo.



**Figura 4.** Efecto de niveles crecientes de adopción de tecnología en sistemas tradicionales y tecnificados. Adaptado de Faverin et al. (2019)

En otras actividades, se presentó el informe “Carne Argentina, Carne Sustentable” como resultado que reunió un gran número de científicos y técnicos argentinos (Figura 5). Se han reportado informes nacionales sobre la estimación de las reservas de carbono orgánico del suelo con plantaciones forestales y otros usos de la tierra en distintas regiones del país:

(<https://repositorio.inta.gov.ar/xmlui/handle/20.500.12123/12650>).



**Figura 5.** Informes presentados en relación con la sostenibilidad de la ganadería, reserva de carbono orgánico en suelos forestales y mapa de stock de carbono en suelo de la Argentina.

Se elaboró el mapa de reserva de carbono a nivel nacional, construido con más 5400 muestras, de 0 a 30 cm: (<https://repositorio.inta.gov.ar/xmlui/handle/20.500.12123/14624>).

Se han realizado estudios a escala regional sobre la huella de carbono de la producción ovina en Patagonia.

Además, se cuantificó la apropiación social de la producción primaria neta (PPN) del ecosistema, la provisión de servicios ecosistémicos en sistemas ganaderos ovinos.

Estos estudios mostraron un balance neto de carbono positivo, en la mayoría de las áreas ecológicas relevadas, excepto aquellas con un alto grado de erosión.

Durante los próximos años, las líneas de I+D se enfocarán en estudios comprensivos a escala de sistemas para determinar el balance de carbono y cómo es afectado por diferentes transiciones tecnológicas identificando opciones de adaptación y mitigación. Para ello se instalaron nodos experimentales en las principales regiones ganaderas del país que representan los sistemas modales. En estos sitios se analizarán los diferentes componentes del balance de carbono y otros nutrientes a escala de sistema. Los resultados se integrarán en bases de datos que se utilizarán para desarrollar modelos escalables a nivel regional.

Por otro lado, se han instalado cinco Centrales de Fenotipado de Consumo Residual (*Residual Feed Intake*) que se integran con las evaluaciones genéticas de las razas bovinas Angus, Hereford, Brangus, Braford, Brahman, Holstein y las razas ovinas Merino, Dohne Merino y Corriedale. En estas centrales también se incorporaron equipos para medir la emisión de metano. Esto permitirá incorporar la selección genómica para eficiencia de conversión y reducción de emisiones, así como evaluar los trade-off entre estos caracteres y otros relevantes para la producción ganadera.

Finalmente, es importante destacar que se ha construido una agenda con el sector privado en la cual se desarrollan Jornadas de Campo donde se presentan las propuestas tecnológicas para cada región, se realizan capacitaciones, se evalúa el impacto económico de las trayectorias tecnológicas propuestas y se impulsan experiencias de valorización ética y comercial. En paralelo, funcionan espacios de intercambio con profesionales del sector privado en los que se comparte el desarrollo de protocolos y guías de implementación.

## II. 2. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Brasil

### **Dr. Alexandre Berndt**

EMBRAPA cuenta con el centro Pecuário Sudeste que es el centro de investigación ecorregional que desarrolla investigaciones sobre la agricultura lechera y de corte, ovinos y forrajeras y también trabaja con el mejoramiento animal y vegetal, aspectos ambientales agropecuarios y de sistemas intensivos de producción, apuntando al uso sustentable de los biomas del sudeste brasileiro. Sin embargo, cuenta con estaciones de medición y registro a lo largo de todo el país, además de la región

sudeste. Brasil es un gran productor de GEI a nivel mundial (3% de emisiones globales), por lo cual gran esfuerzo se enfoca en su reducción, entendiéndose que la adopción de tecnologías apropiadas de producción son clave, dependiendo de cada región y cada sistema de producción. EMBRAPA contempla 3 pilares tecnológicos dentro de la ganadería sostenible (GS), para lograr un balance de carbono favorable dentro de los cuales se enfocan los proyectos de investigación (Figura. 6).



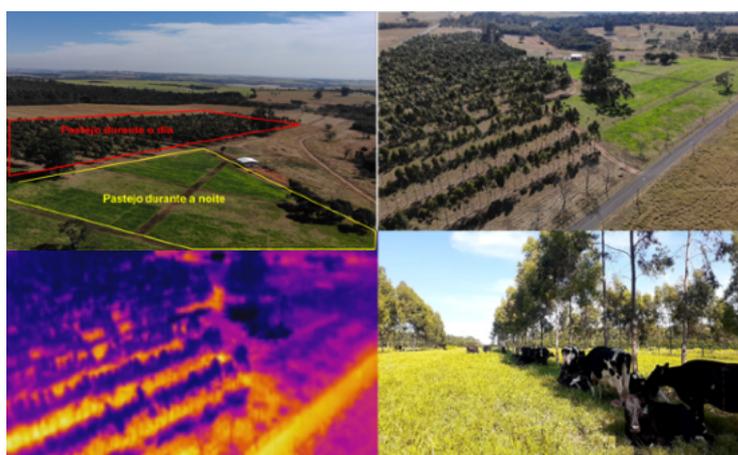
**Figura 6.** Esquema de pilares tecnológicos en GS EMBRAPA

En primer lugar, la **manipulación de la fermentación** (ya sea mediante el agregado de aditivos como aceites, algas, o compuestos secundarios, las raciones y las pasturas forrajeras mejoradas con mayor digestibilidad). El segundo pilar es el **aumento de la eficiencia de producción** (mediante mejoramiento genético, la nutrición, la reproducción, sanidad, bienestar animal y gestación). El tercer pilar consiste en **ampliar la remoción de C y la compensación** en los suelos y también en los sistemas de Integración cultivos-ganadería-bosques (ILPF).

EMBRAPA incentiva a la publicación de los resultados de investigación en revistas internacionales de calidad, para promover que éstos sean utilizados por otros investigadores y sean agregados a bases de datos internacionales. Han publicado diversos trabajos colaborativos centrados en estrategias de mitigación de metano, por ejemplo, en 2021 publicaron un meta-análisis de Latinoamérica y el Caribe con recomendaciones prácticas sobre dónde invertir el esfuerzo de tecnologías para alcanzar la mitigación de metano. Los resultados de este trabajo muestran que la estrategia principal es la selección de animales por genética animal, asumiendo que en la selección de un animal mejorado subyacen implícitamente un conjunto de tecnologías como mejor nutrición y reproducción, entre otros (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127693>).

Los ejemplos de investigación sobre mitigación en sistemas de Integración cultivos-ganadería-bosques (ILPF) incluyen:

a. En bovino lechero, en donde la gestión del sistema está automatizada: después del ordeño de la mañana los animales son enviados a los potreros silvopastoriles y después del ordeño de la tarde, las vacas pastan en los sistemas intensivos sin árboles (Figura 7). Se recopila mucha información sistemáticamente, a partir de datos sobre la calidad y disponibilidad de los pastos, la cantidad y calidad de la leche, así como las precipitaciones, la humedad y la temperatura. En la figura 9 es posible identificar los colores más claros donde hace más calor y los colores más oscuros en las sombras de los árboles donde permanecen a la sombra durante la mañana.



**Figura 7** Integración cultivos-ganadería-bosques (ILPF)

b. Los ILPF son sistemas integrados que producen granos, carne y madera en la misma zona al mismo tiempo, explorando las sinergias entre los 3 componentes. Se han estado midiendo las emisiones y absorciones de metano y de óxido nitroso desde 2011, determinando cuántos árboles se necesitan para lograr un equilibrio bajo de carbono e incluso una carne neutra en carbono (<https://www.embrapa.br/pecuaria-sudeste/ilpf>).

c. Los resultados del ILPF en cuanto a producción de madera después de 8 años del cultivo de eucaliptos muestra que los sistemas acumularon alrededor de 5,6 toneladas de carbono ha/año solo en el tronco (Figura 8).

Este promedio debería caer ligeramente en los próximos años (debido a menores tasas de crecimiento de árboles y menor población de árboles por hectárea

**Produção de madeira e sequestro de carbono pelas árvores ao quinto e oitavo ano após o plantio**

Sistema	Idade (Ano)	Tronco			Biomassa (P.A.+raiz)	Carbono (P.A.+raiz)
		Volume m <sup>3</sup>	Biomassa Mg ha <sup>-1</sup>	Carbono Mg ha <sup>-1</sup>		
ILPF	5	140.7 a	61.4 a	27.6	86.5 a	38.0
SSP	5	128.9 b	55.7 b	25.1	78.4 b	33.5
ILPF	8	155.3 a	73.4 a	36.8	109.2 a	47.3
SSP	8	150.7 a	71.1 a	35.2	106.3 a	45.8
ILPF	Total	225.7 a	104.1 a	46.8	148.3 a	66.8
SSP	Total	215.2 b	98.9 b	44.5	141.0 a	63.5

5,6 tonC/ha.ano  
=  
20,6 ton CO<sub>2</sub>eq/ha.ano



**Figura 8** Imagen de Pezzopane et al., 2021



debido al raleo). Para compensar las emisiones de una vaca de leche de 30kg/día son necesarios 52 árboles.

d. En la evaluación de la acumulación de carbono en suelos de ILPF integrados o sistemas exclusivos, se observó que los pastos intensivos (INT) y los sistemas silvopastoriles (LFS) son los que más carbono acumularon en 10 años, aproximadamente 4 toneladas por año (Figura 9). Esta acumulación es diferente según la profundidad, con énfasis en sistemas de pastos intensivos hasta 40 cm y sistemas ILPF y silvopastoriles hasta 100 cm. Es importante evaluar la contribución de las raíces de los árboles en profundidad.

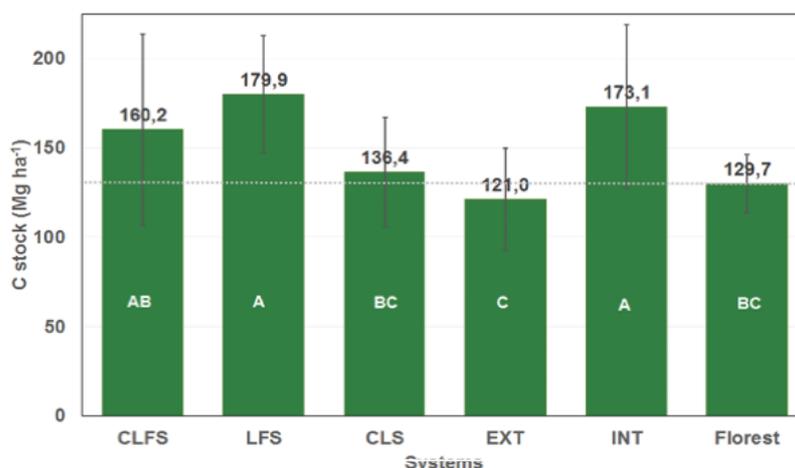


Figura 9 Imagen de Pezzopane et. al., 2021

e. Al calcular el balance de carbono en estos sistemas, se consideraron las emisiones de metano entérico, óxido nitroso de fertilizantes y estiércol, así como las remociones de suelo de pasto y troncos de árboles en sistemas silvopastoriles. Se destaca la importancia de contemplar las métricas, ya que las unidades afectan mucho los resultados de las dinámicas de carbono en cada sistema (Figura 10).

### Balanco de Carbono:

Table 3 Emission intensity of greenhouse gases (GHG) as a function of carcass traits and productivity of beef cattle production systems, considering only GHG emissions or carbon balance (CB)

Item	Treatments				RMSE	P-value
	IHS	RHS	RMS	DP		
Carcass (kg carcass/ha per year)	767.34 <sup>a</sup>	480.33 <sup>b</sup>	365.83 <sup>b</sup>	117.49 <sup>c</sup>	94.17	<0.0001
GHG emission intensity (kg CO <sub>2e</sub> /kg carcass)						
AR4	14.06 <sup>b</sup>	14.92 <sup>b</sup>	15.18 <sup>b</sup>	19.49 <sup>a</sup>	2.38	0.0526
AR5	18.56 <sup>b</sup>	19.69 <sup>b</sup>	20.03 <sup>b</sup>	25.75 <sup>a</sup>	3.13	0.0509
CB emission intensity (kg CO <sub>2e</sub> /kg carcass)						
AR4	-18.34 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup>	3.4 <sup>a</sup>	-52.94 <sup>c</sup>	4.75	<0.0001
AR5	-22.84 <sup>a</sup>	-3.75 <sup>a</sup>	-1.44 <sup>a</sup>	-59.21 <sup>c</sup>	4.88	<0.0001
CEP (kg CEP/ha per year)	707.01 <sup>a</sup>	445.1 <sup>b</sup>	366 <sup>b</sup>	104.84 <sup>c</sup>	83.76	<0.0001
GHG emission intensity (kg CO <sub>2e</sub> /kg CEP)						
AR4	15.22 <sup>b</sup>	16.00 <sup>b</sup>	16.32 <sup>b</sup>	21.88 <sup>a</sup>	2.44	0.0236
AR5	20.09 <sup>b</sup>	21.13 <sup>b</sup>	21.54 <sup>b</sup>	28.91 <sup>a</sup>	3.2	0.0228
CB emission intensity (kg CO <sub>2e</sub> /kg CEP)						
AR4	-19.86 <sup>b</sup>	1.03 <sup>a</sup>	3.70 <sup>a</sup>	-59.34 <sup>c</sup>	5.17	<0.0001
AR5	-24.73 <sup>b</sup>	-4.08 <sup>a</sup>	-1.51 <sup>a</sup>	-66.37 <sup>c</sup>	5.30	<0.0001

IHS = irrigated pasture with high stocking rate; RHS = rainfed pasture with high stocking rate; RMS = rainfed pasture with medium stocking rate; DP = degraded pasture; GHG = greenhouse gases; CB = carbon balance; GWP = global warming potential; CEP = carcass edible portion of the sum of edible portions of the Brazilian primal cuts. AR4 methodology (IPCC, 2007) (GWP CH<sub>4</sub> = 21, N<sub>2</sub>O = 310); AR5 methodology (IPCC, 2014) (GWP CH<sub>4</sub> = 27.75, N<sub>2</sub>O = 265).

a,b,c Values within a row with different superscripts differ significantly at P < 0.05.

Figura 10 Imagen de Oliveira et al., 2020

En Brasil existe la Red ILPF público/privada que comprende 17,43 millones de hectáreas de área estimada con ILPF en Brasil, donde el 80-90% aproximadamente es granos con ganadería. La meta de la red hacia el 2030 es contar con 30 millones de hectáreas.

En otras actividades, recientemente el Ministerio de Agricultura y Ganadería lanzó el Programa Nacional de Cadenas de Producción Agrícola Descarboxinadas, para impulsar la integración ILPF y reconocer los productos descarboxinados de los productores. Comprende varios productos: maíz, leche, café, soja y trigo. El Ministerio otorgará el sello a nivel nacional de los productos descarboxinados.

### II. 3. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) – Chile

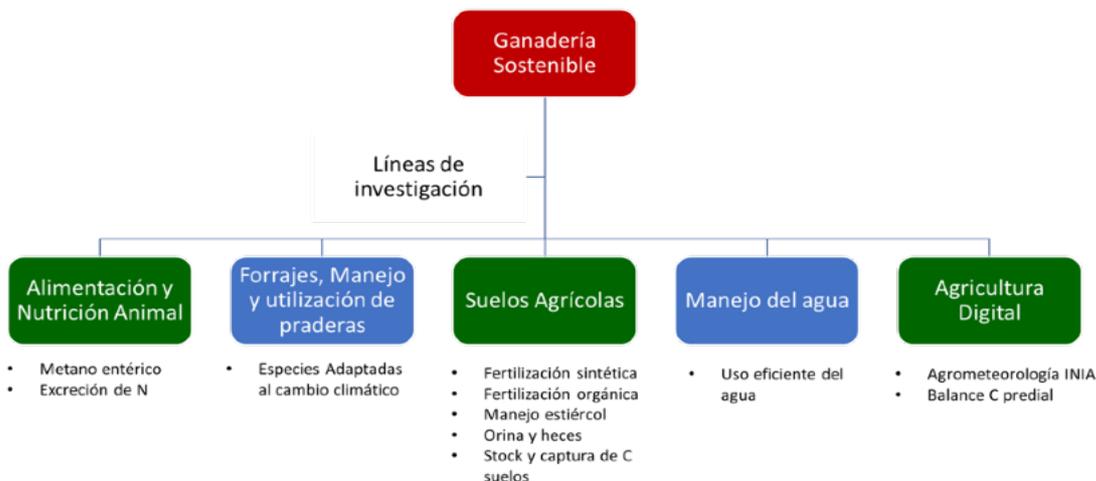
#### Dr. Ignacio Beltrán

En Chile (a diferencia de lo que sucede en Uruguay, Argentina y Brasil), el principal responsable de las emisiones de GEI del país es el sector energía (77%), seguido del sector agricultura (11%), procesos industriales y uso de productos (9%) y gestión de residuos (3%). De ese 11%, el 50% proviene de la ganadería. INIA Chile es el responsable de la gestión, planificación y reporte del Sector Agricultura del Inventario Nacional de GEI. El Instituto tiene su plan estratégico y los énfasis responden a los lineamientos del Ministerio de Agricultura. Dentro de las coordinaciones Nacionales de INIA Chile se encuentra la ganadería sostenible, y dentro de esta, se encuadran diferentes líneas de investigación (Figura 11): **a)** alimentación y nutrición animal (metano entérico, excreción de N); **b)** forrajes, manejo y utilización de praderas (especies adaptadas al cambio climático); **c)** suelos agrícolas (fertilización sintética, fertilización orgánica, manejo estiércol, orina y heces, stock y captura de C suelos); **d)** manejo del agua (uso eficiente del agua); y **e)** agricultura digital (agrometeorología INIA, Balance C predial).

INIA busca fortalecer su red internacional promoviendo un trabajo colaborativo para crear capacidades y acelerar la generación de soluciones.

Algunos ejemplos de investigación dentro de las líneas de investigación de ganadería sostenible incluyen:

**a) Metano entérico:** grupo liderado por Camila Muñoz y Emilio Ungerfeld, el equipo técnico incluye además una ayudante de investigación y jefa de laboratorio,



**Figura 11** Esquema líneas de investigación en Ganadería Sostenible INIA Chile

especialista en el uso de cromatografía gaseosa para medir metano y óxido nítrico. Este grupo trabaja en colaboración con otros institutos a nivel nacional e internacional en la temática de mitigación de metano. El objetivo del grupo es desarrollar investigación en nutrición de rumiantes para mejorar la competitividad de la industria agropecuaria y reducir su impacto ambiental.

La técnica de medición de metano que se está utilizando es la de la técnica de gas trazador hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), la cual fue implementada en 2011 (Figura 12). Las estrategias de mitigación evaluadas desde el 2012 hasta la fecha incluyen la

## Muestreo de aire

- Gases exhalados y eructados se recogen en collares al vacío por periodo de 24 h
- Muestreo de gases SF<sub>6</sub> y CH<sub>4</sub> ambientales

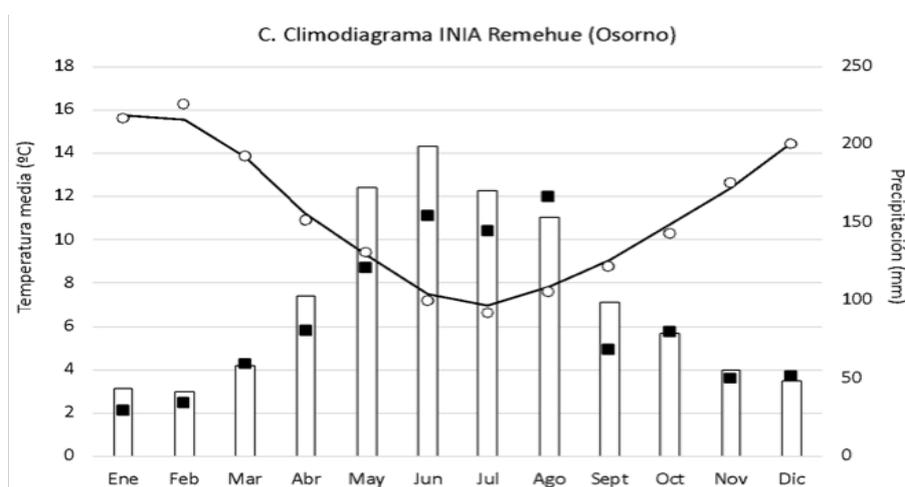


**Figura 12** Metodología medición metano

suplementación con concentrados a pastoreo, medidas de manejo de pastoreo, uso de semillas oleaginosas, y la inhibición de metanogénesis usando aditivos, entre otras. Además, se ha evaluado la combinación de estrategias para potenciar su efecto en pastoreo. Cabe señalar que la mayoría de las estrategias de mitigación

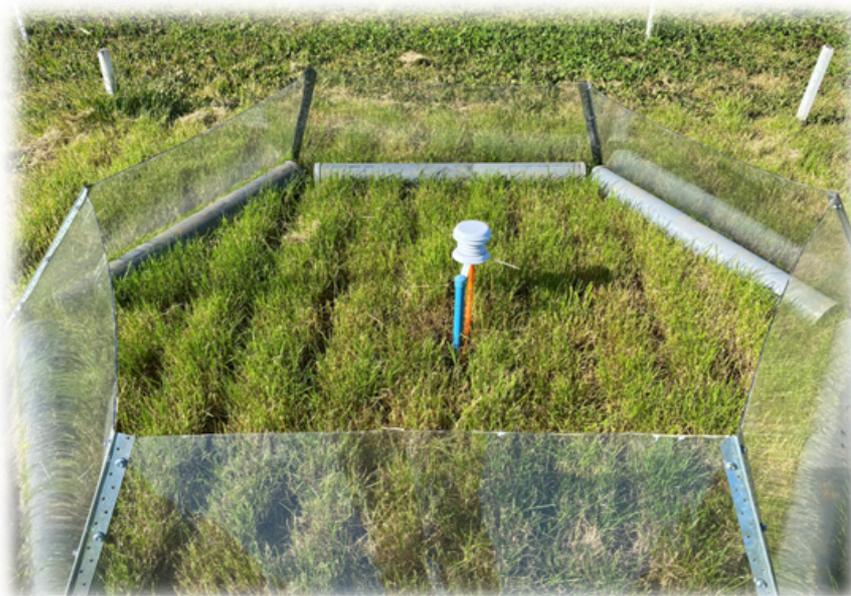
evaluadas han tenido resultados mixtos. Lo que ha funcionado mejor como estrategia en cuanto a intensidad de emisión fue el mejoramiento del manejo de pastoreo para disminuir la madurez de la pradera y el uso de semillas de oleaginosas, específicamente de algodón que funciona muy bien en dietas TMR, sin embargo, en sistemas de pastoreo se pierde el efecto a las 4-5 semanas. Estas estrategias han disminuido la intensidad de producción de metano en alrededor de un 15% por si solas. Este trabajo de investigación aún se encuentra en desarrollo.

**b) Manejo de Praderas.** Se realizaron proyecciones del gas acumulado en la atmósfera y su efecto en la temperatura y también el aumento de la temperatura según las precipitaciones locales (sur de Chile). Para esto, se utilizaron datos internacionales del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2018) y datos a nivel local (Figura 13) (Araya-Osses y col., 2020).



**Figura 13** proyecciones acumulación gas

Se están utilizando cámaras abiertas (Figura 14) para incrementar la temperatura del aire en los estudios en pradera y poder determinar el efecto del incremento pasivo de temperatura sobre parámetros productivos de calidad y morfológicos con dos especies que son utilizadas por los productores de leche en el sur (Ryegrass perenne y *Bromus valdivianus*, nativa). Encontraron según los cambios en la temperatura y el efecto en el rendimiento de las especies, que esto no afectó a la especie nativa (*Bromus*) y que sí hubo una disminución en el rendimiento de Ryegrass debido a los aumentos de la temperatura. Por lo tanto, la especie nativa estaría mejor adaptada a las condiciones de cambio que vendrán.



**Figura 14** Cámaras abiertas

c) Suelos agrícolas: evaluación de emisiones de óxido nitroso y amoníaco ( $N_2O$  y  $NH_3$ ). Este grupo utiliza dos grandes metodologías: a) “de laboratorio”, donde se busca mejorar la comprensión de los procesos y factores que están afectando las mediciones y los resultados; y b) “experimental”, donde se obtienen factores de emisión y se comparan bajo condiciones reales los diferentes tratamientos. Las grandes líneas de investigación de este grupo incluyen:

- ✓ Estudios sobre el balance de nutrientes, pérdidas por escorrentía y lixiviación (1998).
- ✓ Estudios de volatilización de  $NH_3$  y estudios con  $^{15}N$  y emisiones  $N_2O$  (2006-2008).
- ✓ Mediciones automatizadas de óxido nitroso (2013).
- ✓ Uso de fertilizantes mejorados para reducir pérdidas (2018).
- ✓ Modelamiento predial para saber la captura y emisión de bovinos de leche, carne, frutales y cultivos como avena, trigo, cebada, etc. (2019).
- ✓ Mejora de factores de emisión (FE) de óxido nitroso en el manejo de estiércol y generación de una base de datos internacional de libre acceso (2019).
- ✓ Economía circular (2019).
- ✓ Reducción simultánea de emisiones  $CH_4-N_2O-NH_3$  mediante uso de aditivos (algas rojas y pardas) y residuos del sector agrícola como el orujo de uva (2019).

Desde el año 2021, se lleva a cabo un trabajo que estudia el uso de algas como alimento para integrar estrategias para mitigar las emisiones de óxido nitroso y

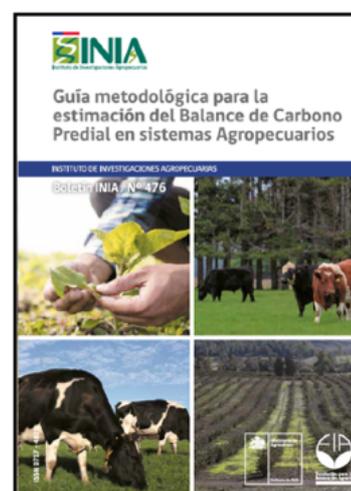


**Figura 15** Esquema investigación de algas en la mitigación de emisiones

amoníaco en la ganadería (Figura 15). Durante el 2021-2022 se ejecutaron experimentos de fermentación ruminal in vitro para identificar las principales especies de algas (rojas y pardas) y su estación de cosecha que permitieran reducir la producción de metano y amoníaco ruminal, sin alterar otros parámetros de la fermentación. En primavera de 2022, se ejecutó un estudio en el cual se incluyó el uso de algas pardas en la dieta de vacas lecheras a pastoreo. Como parte del estudio, se midió la emisión de metano entérico (técnica SF<sub>6</sub>) y de óxido nitroso y amoníaco en orina y heces.

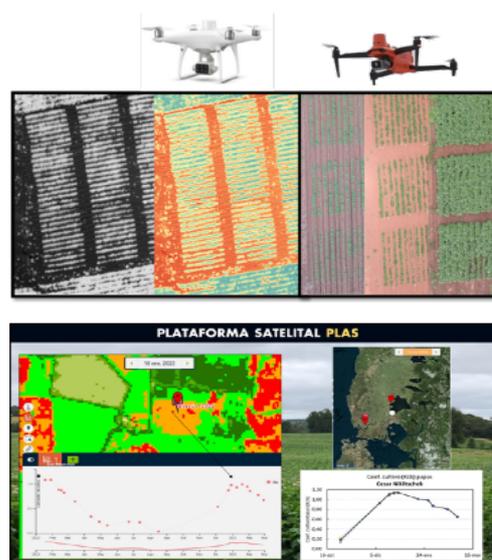
Por otra parte, enmarcado en la economía circular, se está llevando a cabo un proyecto que busca mitigar las emisiones de metano, óxido nitroso y amoníaco, el cual integra empresas e institutos de investigación y comprende la industria del vino, la industria de alimentos y la industria de la carne. La idea es utilizar el orujo de las uvas (residuo orgánico) como materia prima para generar un formulado nutricional que sea utilizado como alimento animal para bovinos de carne.

Otras actividades incluyen la publicación de una “Guía metodológica para la estimación del balance de carbono predial en sistemas agropecuarios” (Figura 16) que sea accesible para los productores que quieran utilizarla para estimar sus emisiones de C. De este estudio se realizaron evaluaciones de diferentes productores en cuanto a la emisión/absorción de carbono predial en predios bovinos (leche y carne), cereales y frutales. Se identificaron las fuentes de emisión dentro del predio y adicionalmente, se cuantificaron los sumideros de carbono como el bosque y praderas, obteniendo el balance de carbono predial como resultado en cada caso.



**Figura 16** Guía INIA

d) Recursos hídricos. Se busca mejorar la eficiencia en el uso de agua y la energía para los principales rubros de la zona sur: papas y hortalizas, *berries*, praderas y cultivos suplementarios. Una de las metodologías es mediante el monitoreo con imágenes de drones e imágenes satelitales (Figura 17), para determinar procesos y metodologías de riego. El uso de cámaras multiespaciales permite luego saber cuáles son los índices vegetacionales incluyendo el vigor de las plantas, los niveles de estrés hídrico y las condiciones fotosintéticas y determinar los requerimientos de agua de ese cultivo y establecer las condiciones de riego. Además, se están validando diferentes índices relacionados con la fitomasa y con el requerimiento de agua. Todos estos datos de imágenes de drones y satélites se complementan con monitoreo mediante sensores e instrumentos de terreno en campo, que incluyen datos de humedad, temperatura del suelo, conductividad eléctrica y precipitaciones.



**Figura 17** Imágenes obtenidas con

## II. 4. Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) – Paraguay

**Dra. Silvia Vanessa Chirife**



El IPTA, creado en 2010, cuenta con ocho campos experimentales de los cuales tres son ganaderos. Tiene cinco direcciones principales, incluyendo la Dirección de Investigación Pecuaria en donde se incluye ganadería de leche, de carne y ganado menor y producción de cerdos, entre otros. IPTA es miembro de la Mesa Paraguaya de Carne Sostenible (MPCS) que es una organización con personería jurídica que busca fomentar y promover la sostenibilidad en la cadena de valor de la carne bovina paraguaya. Reúne a todos los eslabones de la cadena de valor de la carne bovina y

participa con voz en las asambleas de la MPCS, aunque no tiene voto en la toma de decisiones. Entre los miembros participan los sectores de la industria, producción, proveedores de insumos y servicios. La integran además el sector público, la academia y los organismos de cooperación internacional, en carácter de observadores.

Los logros de esta mesa incluyen la integración entre los diversos actores que influyen en la cadena de valor de la carne, la difusión del concepto de carne sostenible y el desarrollo del software SAGAS en donde los productores por iniciativa propia pueden autoevaluar los niveles de sostenibilidad de su finca. Por último, esta mesa fomenta el Programa de Campeones de la Sostenibilidad para incentivar al productor.



Actualmente, se está llevando a cabo el “Programa de financiamiento para el mejoramiento de la investigación, innovación y transferencia de tecnología agraria de Paraguay” financiado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), y el dentro del componente 2 de este programa, denominado “Mejoramiento de la capacidad de innovación” hay diferentes líneas de investigación que tienen que ver con la ganadería sostenible. Se incluyen: tecnologías de producción en sistemas de cría vacuna; diagnóstico y cuantificación del impacto de enfermedades reproductivas y

parasitarias en ganado de carne; y cuantificación y simulación del stock de carbono y emisiones en sistemas agrícolas y ganaderos.

IPTA no cuenta con resultados de proyectos de investigación al momento, ya que ahora se comenzarán a ejecutar las líneas propuestas dentro del Programa financiado por el BID. Sin embargo, IPTA participa como institución asociada a proyectos internacionales, por ejemplo, en estudios sobre Intensificación Sostenible de la Lechería, en donde se estableció una plataforma de cooperación internacional en donde se caracterizaron sistemas productivos de la región de América Latina y el Caribe.

## **II. 5. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA) – Uruguay**

### **Ing. Agr. Elly Navajas (PhD)**

Uruguay es responsable del 0.04% de las emisiones globales de GEI, siendo el 75% atribuible a actividades agropecuarias (55% metano entérico producido por los rumiantes). Uruguay asumió los compromisos del Acuerdo de París y del Compromiso Global de Metano (*Global Methane Pledge*). Con la primera y segunda Contribución Nacional Determinada a nivel nacional. Se plantean los objetivos específicos, discriminados por tipo de gas y en la segunda contribución están planteados en términos de intensidad de emisiones así como en emisiones absolutas. Además de los objetivos específicos, están propuestas algunas estrategias para alcanzar las metas del 2030 que incluyen buenas prácticas de manejo de campo natural, la plataforma de mejoramiento genético y la sanidad animal.

La ganadería sostenible ha estado presente en la agenda de investigación de INIA como lo indican los Planes Estratégicos Institucionales (PEI) 2016-2020 y 2021-2025. Uno de los grandes temas es la intensificación sostenible de los sistemas de producción. Abarca el desarrollo de prácticas y tecnologías que permitan incrementar la productividad de los rubros agropecuarios y su estabilidad en el tiempo, contribuyendo a lograr sistemas de producción más resilientes frente a escenarios de cambio y variabilidad climática y frecuencia de eventos extremos, con un enfoque ecorregional y teniendo en cuenta la huella ambiental y la oferta de servicios ecosistémicos. En cuanto a la mitigación de las emisiones de GEI, se busca aumentar la productividad con la concomitante reducción de la intensidad de emisiones. Los esfuerzos en aumentar la productividad, siendo un país ganadero, en lo que tiene que ver con el desempeño reproductivo, el crecimiento, la calidad de la



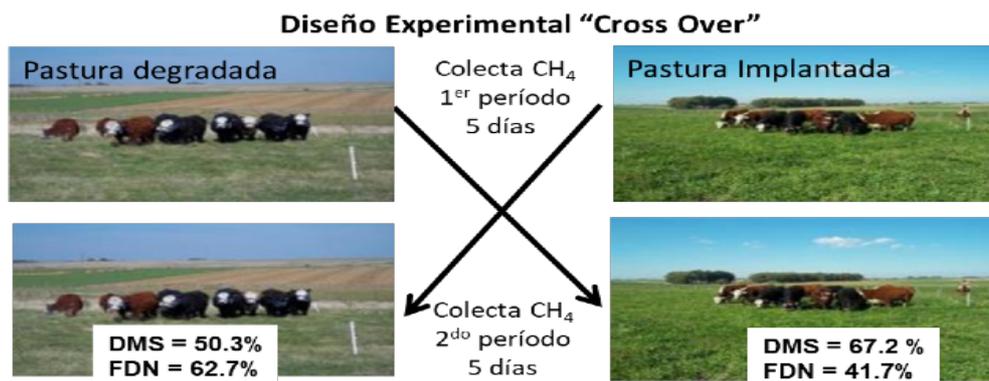
**Figura 18** Líneas de investigación en GS en INIA Uruguay

carne, la producción de lana y la resiliencia de los sistemas de producción, requiere que vaya acompañado con un impacto favorable en la mitigación de las emisiones de metano.

Las líneas de investigación en INIA Uruguay (Figura 18), dentro del marco de ganadería sostenible incluyen: a) nutrición (calidad y tipo de dieta, estrategias de alimentación, incidencia de leguminosas con taninos en dieta pastoril); b) selección genética (impacto de la selección por eficiencia de conversión y factibilidad de selección por menores emisiones GEI); c) biodiversidad y servicios ecosistémicos (ganadería regenerativa); y d) secuestro de carbono.

Varias estrategias de mitigación para los sistemas ganaderos están siendo investigadas en INIA. Aquí se describen en forma breve algunos de los trabajos en el área de nutrición animal y selección genética en eficiencia de conversión y emisiones de metano (CH<sub>4</sub>).

Efecto de la calidad de la pastura en las emisiones de CH<sub>4</sub>, mediante la técnica del trazador hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>). Se compararon las emisiones de animales en pastura degradada versus pastura implantada (Figura 19), observándose que la mejora de la calidad de la pastura está asociada a menores emisiones expresadas



**Figura 19** Esquema evaluación

como porcentaje de energía bruta del alimento, así como también a menores intensidades de emisión.

Manejo del contenido de fibra detergente neutra (FDN) de la dieta forrajera (cantidad de fibra) en novillos. La alimentación con forraje de mayor calidad (contenido moderado de fibra) no tuvo impacto en las emisiones absolutas, pero estuvo asociada a un menor Ym y una reducción en la intensidad de emisiones, por el efecto favorable en el desempeño animal (Figura 20).

**Table 4.** Productive and methane emission variables of steers fed forage diets with moderate fiber content (MF) and higher fiber content (HF).

Parameter	Diet		SEM	p-Value
	Moderate Fiber (MF)	High Fiber (HF)		
Production				
Initial LW, kg	447	441	9.02	0.62
Final LW, kg	513	472	8.75	0.002
ADG, kg/day	0.65	0.32	0.02	<0.001
Emission				
CH <sub>4</sub> , g/day	214	193	7.56	0.054
CH <sub>4</sub> , g/kg ADG	342	649	48.7	<0.001
CH <sub>4</sub> , g/kg DMI	21.7	23.7	0.64	0.022
CH <sub>4</sub> , g/kg NDF intake	44.09	43.77	1.27	0.97
Ym, %	6.7	7.5	0.2	0.008

LW: live weight; ADG: average daily gain; DMI: dry matter intake; and Ym: methane yield.

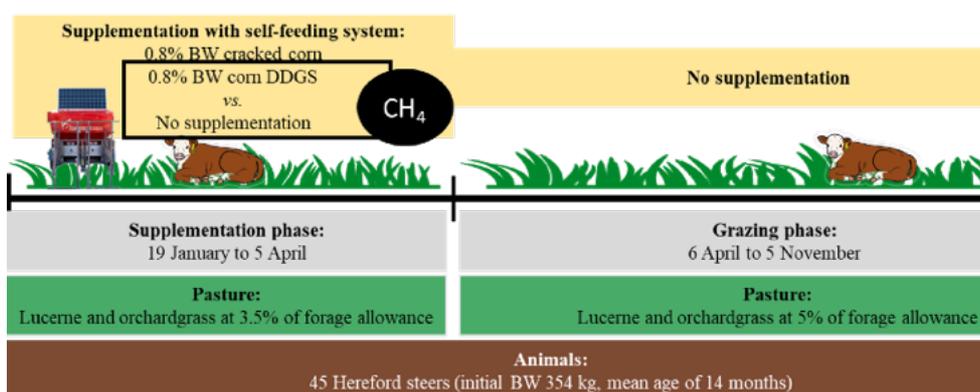
**Figura 20** Emisión de metano según la dieta (Santander et al., 2023)

Uso del crecimiento compensatorio en sistemas de producción de carne bovina. Se investigó el efecto de la restricción nutricional en novillos Angus en la recría sobre las emisiones de metano bajo dos dietas de realimentación contrastantes (pasturas vs *feedlot*). Los mismos novillos que en el estudio anterior fueron recriados en condiciones restrictivas de alimento (según calidad y cantidad de fibra), fueron engordados bajo dos dietas diferentes: pasturas y a corral (*feedlot*). Se evaluó la estrategia de manejo, es decir el crecimiento compensatorio de los animales, expresado en términos de productividad y en términos de emisiones de metano. No hubo interacción entre la dieta no limitante durante el engorde y la dieta en la recría (Figura 21). El tipo de recría previa al engorde no tuvo efecto en las emisiones o rendimiento de emisiones, pero la intensidad de emisiones fue menor en el engorde luego de una restricción, por mayor desempeño en el engorde (compensatorio). No se verificó una mayor digestibilidad. En el caso de los novillos engordados en *feedlot* se obtuvieron menores emisiones absolutas (27% menos), rendimiento de emisiones (18% menos) e intensidad de emisiones (50% menos).

	REARING		FATTENING		SIGNIFICANCE	
	Unrestricted (ADG ~0,60 kg/d)	Restricted (ADG ~0,30 kg/d)	Feedlot	Pasture	Rearing	Fattening
<b>Fattening period</b>						
Daily methane emissions (g/d)	286	260	230	315	ns	**
Methane yield (g CH <sub>4</sub> /kg DMI)	23.7	21.8	20.6	25.0	ns	*
Ym factor (%)	7.47	6.87	6.33	8.01	ns	*
Methane intensity (g CH <sub>4</sub> /kg LWG)	328	244	188	384	**	**
Methane intensity (g CH <sub>4</sub> /kg HCWG)	442	357	248	552	**	**

**Figura 21.** Emisiones según dieta recría y engorde (Clariget et al. 2023, aceptado en EAAP)

Evaluación del efecto de la suplementación con granos secos de destilería con solubles (DDGS) de maíz en novillos en pastoreo en la emisión de metano. El estudio consistió en dos fases, en una primera fase se evaluaron distintos tipos de suplementación; maíz molido, maíz DDGS y sin suplementación y en una segunda fase sin suplementación en campo con pasturas de alfalfa y Dactilys (Figura 22).



**Figura 22** Estrategia de la evaluación

Hubo una mejora en cuanto al peso final, sin embargo, no hubo una diferencia significativa en cuanto a la emisión y la intensidad de emisión de metano (Figura 23). Sin embargo, si se piensa dentro del enfoque de economía y desarrollo circular es un resultado positivo, al utilizar un subproducto de otra industria (industria del alcohol) para mejorar la producción en cuanto a rentabilidad.

Variables	DDGS	Sin	Sig.
Peso final (kg)	409.9	390.4	**
GMD (kg/d)	0.70	0.56	**
Emisión CH <sub>4</sub> (g/d)	173.0	174.7	ns
Rendimiento (g CH <sub>4</sub> )/kgMS)	16.12	13.54	ns
Intensidad (g CH <sub>4</sub> / GMD)	301.6	369.3	ns

**Figura 23** Variables según dieta (Canozzi M.E. et al., en preparación)

Presencia de leguminosas con taninos en la dieta pastoril. Se utilizó campo natural con la introducción de *Lotus pedunculatus* con diferentes contenidos de taninos, de moderados a altos contenidos. Se registró el consumo mediante el marcador  $TiO_2$  y se midió la emisión de metano mediante la técnica  $SF_6$ . Los resultados preliminares indican que las emisiones absolutas no disminuyen; sin embargo, se observa una reducción en la intensidad de emisión. Se prevé continuar este estudio, y profundizar esta línea de trabajo, utilizando especies nativas con altos contenidos de taninos desarrolladas en los programas de especies forrajeras.

Evaluación de la eficiencia en la conversión del alimento y emisiones de metano. Es posible la mejora genética por selección de animales con mayor eficiencia de conversión, lo que implica un menor consumo de alimento sin afectar la producción.

En el 2014 se iniciaron las medidas de eficiencia en bovinos de carne, con la primera instalación de comederos automáticos para la medición de consumo de alimento individual (Figura 24) en la Central de Pruebas de Hereford en Kiyú. El objetivo fue la construcción de una población de referencia para selección genómica y la incorporación de eficiencia de conversión en la evaluación genética de Hereford. En

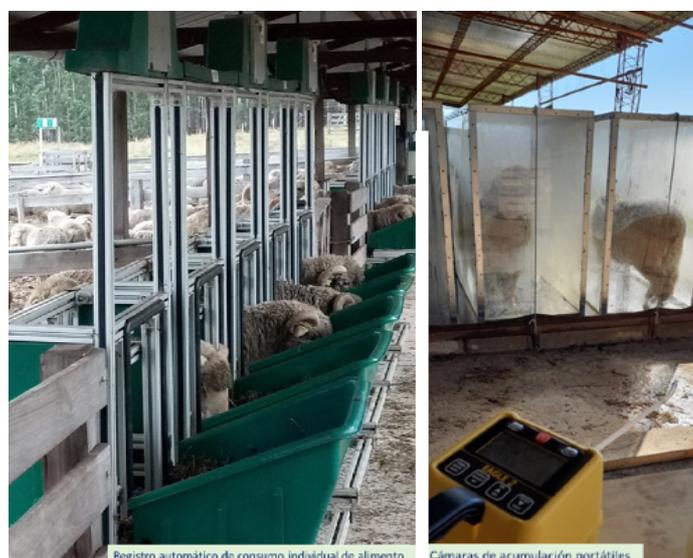


**Figura 24** Bovinos en comederos automáticos

el 2017 se inició la evaluación del impacto del uso de animales eficientes en el desempeño del rodeo de cría en pastoreo. Se generaron progenies de padres divergentes para eficiencia de conversión en rodeos en campo natural. Luego, en 2021 se instalaron las unidades de medición de metano, las cuales se llevan a cabo durante las pruebas de eficiencia de conversión.

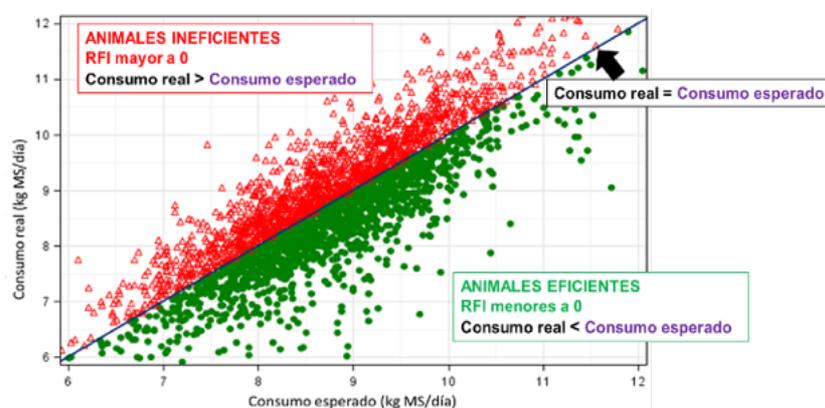
En 2018 se instaló un sistema de comederos automáticos para medir consumo en ovinos, que se integra a plataformas de pesaje automático de corderos. También se iniciaron las mediciones de metano en cámaras de acumulación portátiles

(disponibles solamente para ovinos), en donde los animales permanecen 40-50 minutos y se mide la concentración de gas consumido y liberado (Figura 25). A marzo de 2023 se cuenta con 2087 ovinos de diferentes razas con fenotipos de eficiencia y emisión de metano registrados (de los cuales se cuenta con el genotipo).



**Figura 25** Registro de consumo y acumulación en ovinos

El parámetro que se mide es RFI, la diferencia entre el consumo de alimento real (medido) y el consumo esperado (estimado) en base a su producción, estimada a través de una regresión lineal múltiple (Figura 26). Los animales eficientes son aquellos cuyo consumo real fue menor que el consumo esperado. Según los datos obtenidos, los parámetros eficiencia de conversión y DMI (consumo de materia) son características heredables y factibles de mejorar por selección.



**Figura 26** Modelo de regresión lineal (RFI)



Asociación de RFI con otras características. Tanto en ovinos como en bovinos se observó que la RFI (eficiencia de conversión) está fuertemente correlacionada con el consumo y es genéticamente independiente de peso, ganancia de peso y espesor de grasa (Figura 27). No se encontraron antagonismos significativos entre RFI y la calidad

Correlaciones	Consumo de alimento	Ganancia de peso	Peso metabólico	Espesor de grasa
Fenotípicas	0.63	-0.003	-0.001	- 0.01
Genéticas	0.40	0.07 (0.14)	-0.12 (0.12)	-0.08 (0.13)

**Figura 27** Correlaciones con las variables evaluadas (Pravia et al., 2022)

de la carne. La diferencia de consumo entre animales de baja y alta eficiencia fue de 2.2 kg de materia seca por animal por día lo cual es muy importante no sólo a nivel económico, sino de las diferencias asociadas a la estructuración y el uso de recursos de la base forrajera. Algo a pensar en futuras colaboraciones es la implementación de mediciones de otros gases de efecto invernadero en heces. En cuanto a RFI y la producción en Merino Australiano, tampoco se encontraron diferencias en producción de lana y desempeño reproductivo entre animales más eficientes y menos eficientes.

En cuanto a RFI y las emisiones de metano en ovinos se observó que los animales más eficientes (20-23 % menor consumo) tienen valores menores de emisiones de metano (6 % menores) y una menor intensidad de emisión (Figura 28). El problema aquí es que la cantidad de metano por alimento consumido pasa a ser mayor. En

	Más eficientes	Medio	Menos eficientes
RFI (kgMS/d)	-0.17 c	-0.01 b	0.15 a
Consumo (kgMS/d)	1.2 c	1.3 b	1.5 a
Emisiones de metano (g/d) →	22.6 b	22.9 b	24.1 a
Metano/consumo (g/kgMS)	7.1 a	6.4 b	5.9 b
Metano/ganancia (g/kg) →	6.9 b	7.1 b	7.5 a

**Figura 28.** RFI, emisiones y consumo en ovinos (De Barbieri et al., 2020 y 2022;

bovinos se observa la misma relación, los animales eficientes mantienen el nivel de producción, con consumo de alimento 16% menores, y reducciones de emisiones en



el entorno del 6%. Es decir que la linealidad entre consumo y liberación de metano no se mantiene, debido a que los animales más eficientes emiten más metano por kg de alimento consumido. Estos estudios están siendo complementados con análisis metagenómicos de la microbiota ruminal.

Asociaciones fenotípicas y genéticas en Merino Australiano. Las estimaciones de parámetros (Figura 29) indican que las emisiones de metano, al igual que consumo y RFI, tienen heredabilidades moderadas a altas. Esto indica que también es factible reducir emisiones de metano por la selección de animales que emiten menos. No se observa un efecto claro de la selección por emisión de metano en otras características importantes en Merino, como son la producción de lana y el peso de vellón, o diámetro de la lana. Sin embargo, puede llevar a una reducción del peso corporal. Un resultado alentador es que la mejora de la eficiencia de conversión o el potencial de reducir las emisiones de metano no tiene un efecto negativo sobre la resiliencia medida como resistencia genética a parásitos gastrointestinales.

Heredabilidad (ds) - diagonal				Correlaciones genéticas (ds)			
	Peso vellón	Diámetro	Peso corporal	HPG	CH4	Consumo	RFI
Peso vellón	0.30 (0.01)	0.35 (0.02)	0.29 (0.02)	0.03 (0.05)	0.17 (0.15)	0.18 (0.12)	0.02 (0.15)
Diámetro	0.13	0.64 (0.01)	0.25 (0.02)	-0.08 (0.04)	0.17 (0.17)	0.20 (0.14)	0.15 (0.15)
Peso corporal	0.45	0.13	0.41 (0.01)	-0.07 (0.04)	0.58 (0.15)	0.68 (0.09)	-0.22 (0.14)
HPG	-0.02	-0.05	-0.07	0.20 (0.01)	-0.20 (0.20)	-0.06 (0.22)	0.13 (0.19)
CH4	0.15	0.09	0.30	0.08	0.34 (0.09)	0.75 (0.12)	0.43 (0.19)
Consumo	0.34	0.14	0.48	-0.04	0.29	0.41 (0.08)	0.79 (0.09)
RFI	0.00	-0.01	-0.02	-0.08	-0.02	0.63	0.37 (0.08)

**Correlaciones fenotípicas**

Preliminary results: Marques et al. 2022. 12<sup>th</sup> WCGALP. 160-163. New analyses: Marques et al, in preparation

**Figura 29** Matriz de parámetros genéticos

Impacto de la selección genética a nivel de predio. El análisis de ciclo de vida, usando información de establecimientos, indicó que el cambio de la media genética de una majada en eficiencia (reducción de consumo) y emisiones de metano tiene un impacto importante en la reducción de las emisiones de metano (Figura 30).

Estos análisis de ciclo de vida son parte del proyecto de Ganadería Regenerativa que se inició con 30 productores. Este enfoque considera otros indicadores relevantes como el índice de integridad ecosistémica, stocks de carbono en suelo,





biodiversidad silvestre asociada, entre otros.

P	Emisión original	Consumo EM/día		Emisión CH <sub>4</sub> (g/día)		PVS (kg)	
	kg CO <sub>2</sub> eq/kg PVS	kg CO <sub>2</sub> eq/kg PVS	Red. (%)	kg CO <sub>2</sub> eq/kg PVS	Red. (%)	kg CO <sub>2</sub> eq/kg PVS	Red. (%)
1	46.7	37.7	19.3	40.2	13.8	44.3	5.1
2	64.8	53.2	17.8	57.5	11.2	60.1	7.1
3	36.4	30.8	15.2	32.6	10.4	34.4	5.4
4	41.5	32.8	20.9	35.1	15.3	39.5	4.8
5	52.5	43.5	17.1	46.1	12.2	49.7	5.2
6	58.2	44.6	23.4	49.4	15.0	53.3	8.5
7	70.4	62.1	11.8	62.6	11.1	66.1	6.1
<b>Prom.</b>	<b>52.9</b>	<b>43.5</b>	<b>18%</b>	<b>46.2</b>	<b>13%</b>	<b>49.6</b>	<b>6%</b>

Informe SMARTER: M. Bustamante, O. Blumetto

↓14%
↓17%
↑13%

**Figura 30** Simulación según la media genética del rebaño

**Perspectiva:**

- Continuar el desarrollo de factores de emisión específicos para el país en campo natural (base forrajera en nuestro país).
- Profundizar en el rol de las leguminosas con taninos como posible alternativa de mitigación en sistemas pastoriles.
- Iniciar el estudio sobre la evaluación de aditivos con efecto anti metanogénico (impacto en emisiones absolutas) en condiciones de manejo nutricional del país (niveles de fibras, pastoreo) evaluando los extractos de taninos, extractos de algas marinas y aditivo comercial (aceites esenciales, flavonoides y taninos).
- Continuar con los estudios de mejora genética por selección por mayor eficiencia de conversión, evaluando el impacto económico y ambiental y la consistencia en la asociación entre RFI-metano.
- Trabajar con selección directamente por menores emisiones, evaluando el impacto sobre la producción (correlaciones genéticas, índices de selección).
- Los desafíos son expandir los registros de fenotipos, llevando las mediciones de metano a campo, continuar con los estudios genéticos y las asociaciones entre características y expansión a nuevas características que tienen que ver con resiliencia, estrés calórico, consumo de agua y fortalecer y desarrollar el uso de genómica.
- Integración de los sistemas de certificación y valoración del producto.
- Mitigación y adaptación en cuanto a las condiciones del cambio climático, ya que las temperaturas elevadas alteran todos los parámetros de eficiencia de conversión y las dinámicas ruminales.

### III. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL PROYECTO CONSENSUADO FTG/PROCISUR

#### Resultados proyecto “Intensificación sostenible de sistemas ganaderos con leguminosas: plataforma de cooperación latinoamericana y del Caribe”

**Alejandro Costantini, INTA**

La premisa de este proyecto es que el uso de leguminosas en la ganadería incrementa la productividad animal, la fijación biológica de nitrógeno y el secuestro de carbono en los suelos, y puede disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero del sistema. Brasil, República Dominicana, Nicaragua y Ecuador tienen especies de leguminosas tropicales y el resto de los países como Argentina, Uruguay y Chile tienen leguminosas de clima templado.

El inicio de la ejecución del proyecto fue a finales de 2019 y debido a la situación de pandemia por COVID 19, como punto de partida, se realizaron actividades de capacitación a distancia sobre el componente II del proyecto. Este componente tiene un fuerte contenido técnico, con foco en cuatro aspectos principales: **1)** emisiones de gases, liderado por Chile; **2)** secuestro de carbono, liderado por Brasil; **3)** fijación biológica de nitrógeno, liderado por Uruguay; y **4)** productividad animal, liderado por Argentina. Como producto de estas reuniones sobre la temática, se generó una guía para homogeneizar procedimientos entre los distintos grupos de trabajo internacionales, de manera de que sean comparables a lo largo del proyecto. Además, junto con la plataforma de cambio climático de INTA, se realizó un ciclo de conferencias de dos meses de



duración llamado “El Sector Agropecuario frente al cambio climático” en donde participaron diferentes referentes en la temática. Próximamente estará disponible



un libro sobre las emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas integrados agropecuarios y su mitigación.

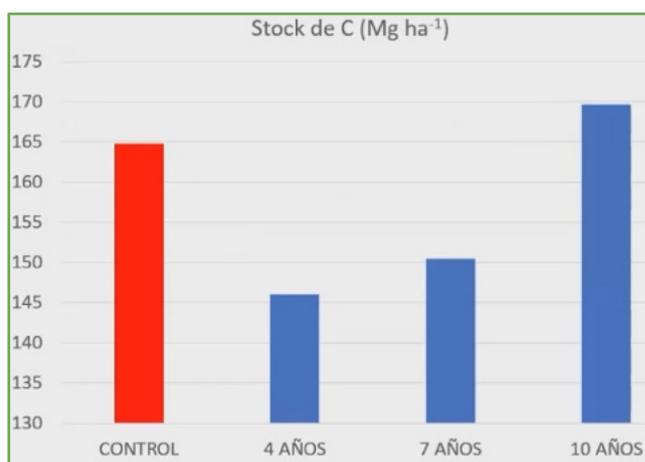
En cuanto al contenido técnico del proyecto, a continuación se hará hincapié en 3 aspectos: **a) Secuestro de carbono**, **b) Emisión de óxido nitroso** y **c) Emisiones entéricas de metano**.

a) Secuestro de carbono:

-En INIA Chile se realizaron muestreos con descripciones de perfiles muy exhaustivos en zonas con bosque, pasturas mejoradas y degradadas. Estas muestras se encuentran en proceso de envío a EMBRAPA para su análisis.

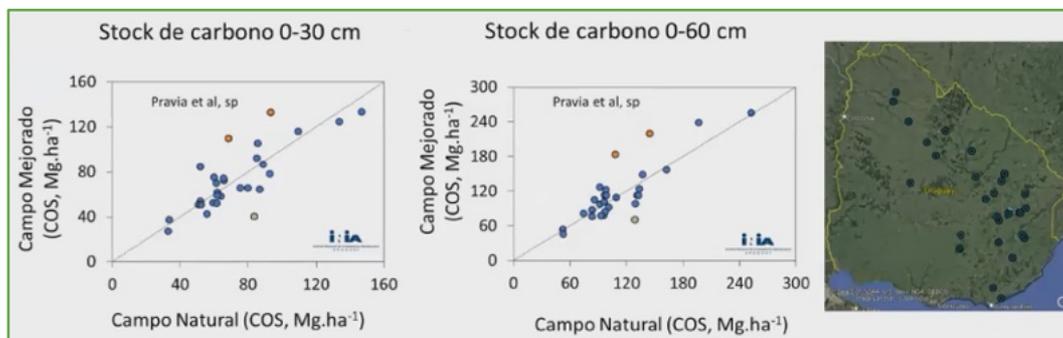
-Paraguay ha tomado muestras de las regiones Noreste, en el departamento de San Pedro que posee un clima subtropical con temperatura anual media de 23°C y precipitación total anual media de 1500 mm. Las coberturas vegetales constituyen pasturas nativas, implantadas e islas de bosques nativos. Las muestras serán analizadas no por combustión seca sino por el método Walkley & Black (1934) en el IPTA y también muestras de fijación biológica.

-Argentina se ha enfocado en la Depresión del Salado, que es una zona de La Pampa muy extensa con una red de drenaje muy pobre, con un solo curso importante de agua y pendientes que no superan el 0.5% y con suelos mayoritariamente halohidromórficos. Se han tomado muestras de pasturas control (de festuca y agropiro) y con 4, 7 y 10 años de intercalado con leguminosas (en algunos casos es lotus y en otros trébol rojo o alfalfa). Resultados muy preliminares muestran mayor stock de carbono en suelos de 10 años (Figura 31).



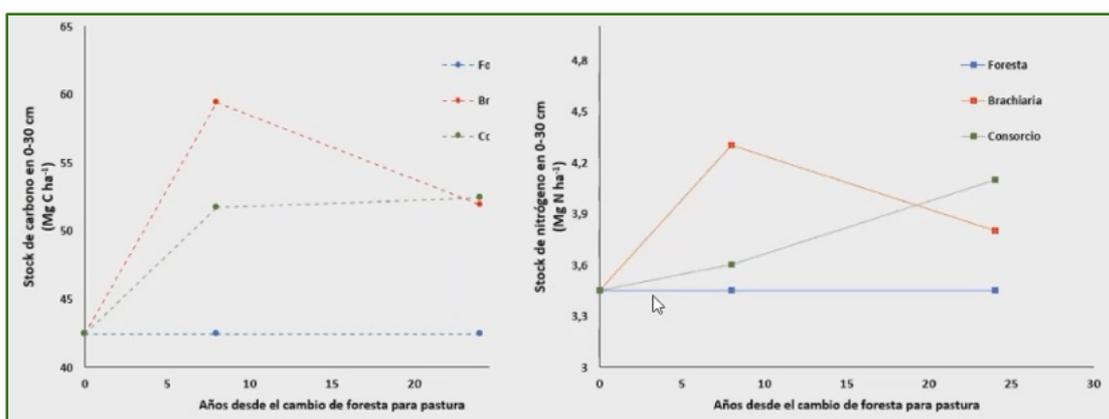
**Figura 31** Stock de C en 10 años

-Uruguay ha trabajado en 29 sitios en campos apareados naturales y campos naturales mejorados con la incorporación de leguminosas y fertilización con fósforo durante al menos 17 años. Los resultados en cuanto al stock de carbono, aparentemente no se destaca ningún punto. Seguramente necesite muestreos de más tiempo (Figura 32).



**Figura 32** Stock de C, muestreo Uruguay

-Brasil tiene una enormidad de puntos de muestreo. Aquí se presenta el ejemplo en Bahía, en donde se utilizan pasturas de Brachiaria fertilizada con nitrógeno sintético o en consorcio con maní forrajero (Figura 33). La introducción de la pastura aumentó los stocks de carbono y nitrógeno del suelo, en comparación con el suelo bajo cubierta arbórea. Sin embargo, al pasar los años solamente el consorcio sustentó esa tendencia. Es posible que la fertilización no haya sido suficiente para compensar las salidas de nitrógeno en la producción animal y pérdidas del sistema, lo que se verifica por la reducción de los stocks de nitrógeno.



**Figura 33** Ejemplo Bahía, Brasil, pastoras Brachiaria

El stock de carbono en una pastura mixta con 16 años subió con respecto a una pastura de pasto elefante sin leguminosas (Figura 34).

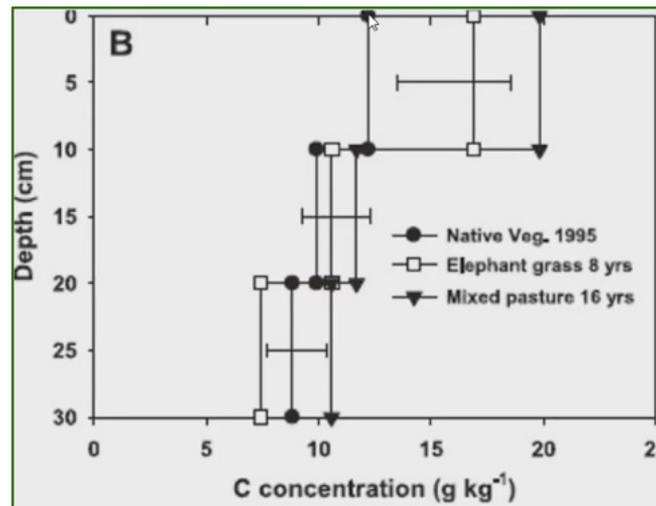


Figura 34 Ejemplo pastora mixta- 16 años

b) Emisiones de Óxido Nitroso

-Enfocado en la Depresión del Salado, región muy importante para la ganadería en Argentina. Se evalúa el potencial de mitigación por promoción de *Lotus tenuis*. Se realizaron muestreos a lo largo de todas las estaciones del año y la densidad de muestreo es muy alta, con una precisión muy importante no sólo en cuanto a repeticiones exigidas sino a muestreos realmente exhaustivos y a la brevedad se obtendrán los resultados de emisión.

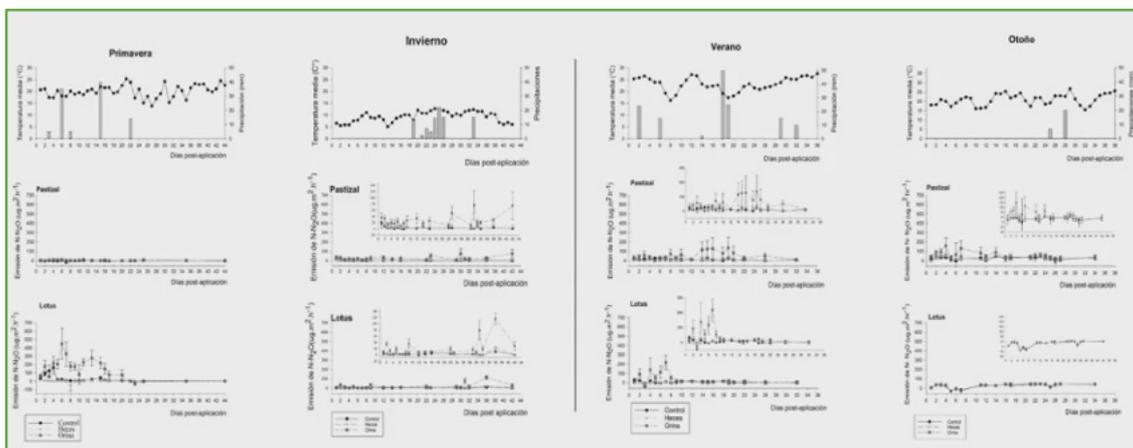
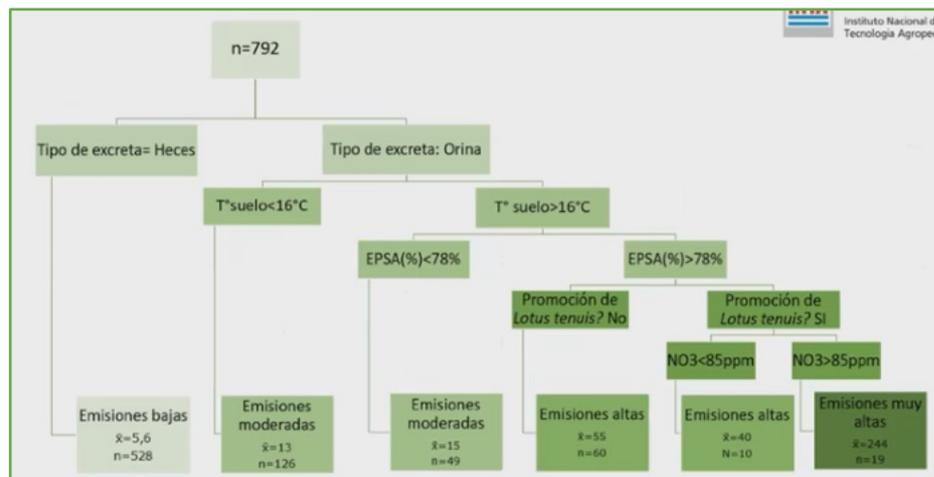


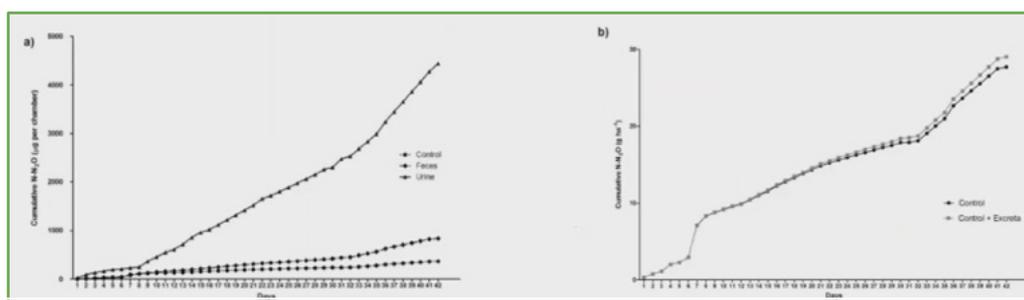
Figura 35. Potencial de mitigación por promoción de Lotus Genus. Argentina

-Árbol de regresión que sintetizó acerca de los condicionantes de las emisiones de óxido nitroso en este sistema.



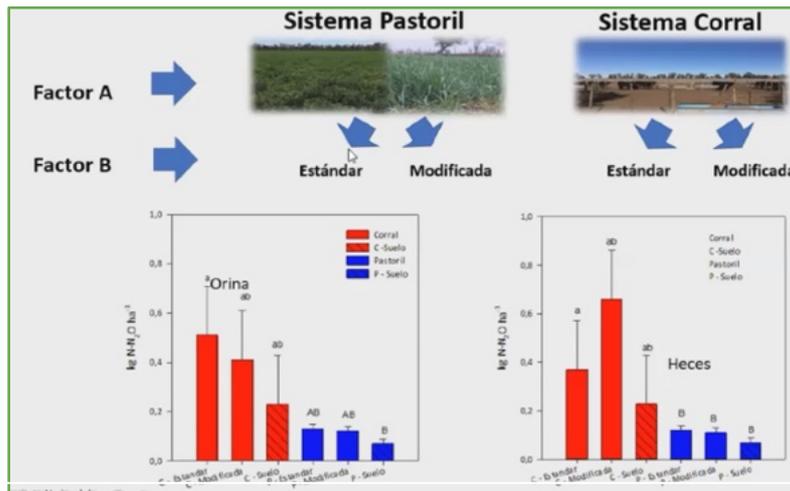
**Figura 36.** Árbol de regresión

-La siguiente figura (37) corresponde a un muestreo de invierno, en donde a priori se pensó que no habría emisiones importantes por ser invierno; sin embargo las diferencias de emisión fueron del 5%, son medibles y no despreciables.



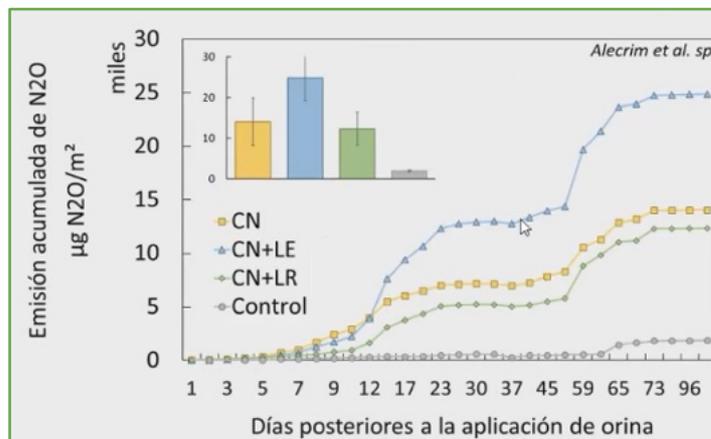
**Figura 37.** Mediciones de muestreo de invierno

-“Evaluación de estrategias de mitigación de las emisiones de óxido nítrico desde el suelo en sistemas pastoriles e intensificados de producción bovina en la región central de Córdoba” comparando sistema pastoril versus sistema corral (o *Feedlot*), los cuales a su vez presentaban una dieta estándar y una dieta modificada con el agregado de taninos. Las emisiones en corral fueron mayores que pastoril, sin embargo, se observó que las emisiones en las heces resultaron muy altas comparadas con las de la orina, lo cual no suele suceder (Figura 38).



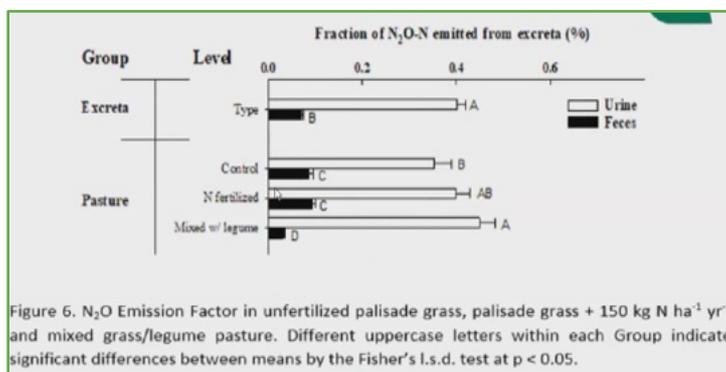
**Figura 38.** Mediciones en sistemas pastoriles y de corral. Córdoba.

En Uruguay, se evaluó la emisión de óxido nitroso de campo natural versus campo natural mejorado con leguminosas con alto o bajo contenido de taninos (Figura 39) Se observó luego de la aplicación de orina que el campo natural con leguminosas con mayor contenido de taninos contrariamente a lo esperado tuvo mayores emisiones que el campo natural con bajo contenido de taninos.



**Figura 39.** Mediciones en campo natural y campo natural mejorado. Uruguay

En Brasil, se diferenciaron las emisiones de una pastura control de una pastura fertilizada con fertilizante sintético y una de gramíneas con leguminosas. (Figura 40). Los factores de emisión de orina y heces no tuvieron diferencias entre los diferentes tipos de pastura, sí hubo diferencias entre la gramínea/leguminosas y el control.



**Figura 40.** Mediciones con diferenciación de posturas. Brasil

Chile evaluó orina y urea con y sin inhibidores de la nitrificación. En la orina no hubo diferencias significativas, pero en la urea si, disminuyendo las emisiones con los inhibidores. Este resultado es una buena pauta para investigar este tipo de inhibidores en otros sistemas agrícolas (Figura 41).

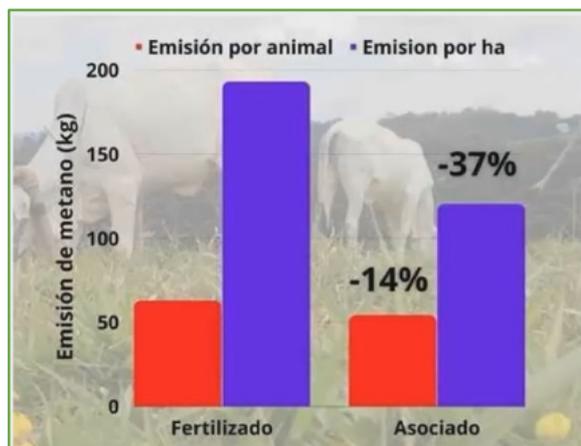


**Figura 41.** Evaluación de orina y urea. Chile

### c) Emisiones entéricas de Metano

-EMBRAPA muestra en las evaluaciones de emisión de metano entérico que tanto la emisión por animal, como la emisión por hectárea disminuyen un 14 y 37%, respectivamente, cuando se trabaja con gramíneas en consorcio con leguminosas

respecto a las gramíneas fertilizadas con fertilizantes sintético (Urea mayoritariamente) (Figura 42).



**Figura 42.** Evaluaciones de metano por animal y por ha. Brasil

Otro trabajo de EMBRAPA (Figura 43) muestra que la cantidad de metano por kilo, por animal, por año, al igual que el metano producido por gramo, por kilo y el metano producido por hectárea por año es menor en pasturas en consorcio de gramíneas con leguminosas en comparación con las pasturas con fertilización con sintéticos.

Variables	Tipo de pastura			EPM	P-Value
	Fertilizado	Control	Asociación		
CH <sub>4</sub> , kg/animal/año	62.8 a	60.9 a	54.2 b	1.6	0.003
CH <sub>4</sub> , g/kg GMD	398 ab	428 a	365 b	44	0.061
CH <sub>4</sub> , g/kg ganancia de canal	712 b	800 a	656 c	46	0.022
CH <sub>4</sub> , ha/año	193 a	114 b	120 b	12	<0.001

\*GMD: Ganancia de peso medio diario; EPM: error estandar de la media.

**Figura 43.** Metano por tipo de Pastura. Brasil

- Diversos resultados enmarcados en este proyecto fueron publicados en revistas internacionales de alto impacto, a la vez de ser publicados en revistas de difusión, o en páginas web (Fontagro, PROCISUR, INTA) y las redes sociales propias y del proyecto.
- Por otra parte, la formación de recursos humanos de estudiantes de posgrado (maestrías y doctorados) es de gran importancia en este proyecto, y las pasantías interinstitucionales internacionales entre los países participantes del consorcio.

## IV. INFORME COMPARATIVO

En este apartado se realizará una comparación entre las iniciativas de investigación en Argentina, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay en su desafío de abordar la sostenibilidad en la ganadería y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Se identificarán similitudes y diferencias en sus estructuras institucionales, enfoques de investigación y contribuciones a la sostenibilidad ganadera en la región.

### Similitudes en Estructura Institucional

**Compromiso Institucional:** En todos los países, las instituciones gubernamentales y de investigación asumen un compromiso claro con la sostenibilidad ganadera y la reducción de emisiones de GEI. Esto se refleja en su participación en compromisos internacionales y en la asignación de recursos para la investigación en este campo.

**Enfoque Multidisciplinario:** Las instituciones adoptan un enfoque multidisciplinario. Sus proyectos e investigaciones abarcan áreas como nutrición animal, producción (leche y carne) genética, manejo de praderas, salud animal y tecnología agrícola, lo que refleja una comprensión integral de los desafíos que enfrenta el sector ganadero.

**Colaboración Nacional e Internacional:** Todas las instituciones buscan establecer colaboraciones tanto a nivel nacional como internacional. Participan en organizaciones regionales y proyectos de cooperación internacional para intercambiar conocimientos y buenas prácticas, lo que facilita la adopción de enfoques más efectivos.

**Publicación de Resultados:** Las instituciones promueven la publicación de los resultados de investigación en revistas internacionales de alto impacto, así como también en revistas y manuales locales y regionales. Existe un profundo compromiso de difusión de los resultados no solo a nivel científico, sino también la extensión de los resultados de investigación hacia la población.

### Similitudes en Líneas de Investigación

**Mitigación de Emisiones de GEI:** Las investigaciones en todos los países se centran en la mitigación de las emisiones de GEI en el sector ganadero;



específicamente de metano y óxido nitroso. Esto incluye la cuantificación de emisiones, la manipulación de la fermentación ruminal y la adopción de tecnologías para reducir la huella de carbono. Algunos países como Argentina, además, destinan esfuerzos en la modelización de transiciones tecnológicas.

**Eficiencia de Producción:** Existe un énfasis común en aumentar la eficiencia de producción ganadera. Esto se logra a través de investigaciones en mejora genética, nutrición animal, sanidad, reproducción y bienestar animal, con el objetivo de optimizar la productividad y reducir las emisiones por unidad de producción.

**Uso de Recursos y Sustentabilidad:** Todas las instituciones investigan en prácticas y tecnologías que promuevan el uso sostenible de recursos naturales, como agua y suelo. Esto incluye la implementación de sistemas de integración cultivos-ganadería-bosques y la adopción de forrajes mejorados. Además, algunas instituciones investigan el uso de desechos de otras industrias como materia prima en la alimentación animal, por ejemplo, Chile utiliza el orujo de las uvas como complemento nutricional en bovinos de carne, en el marco de una economía circular para la Agricultura.

## V. BIBLIOGRAFÍA

- CANOZZI, M.E.A.; BANCHERO, G.; FERNANDEZ, E.; LA MANNA, A.; CLARIGET, J.M. *Individual feed intake and performance of finishing steers on ryegrass pasture supplemented with increasing amounts of corn using an automated feeding system*. *Livestock Science*, 2023, vol. 26, art. 105169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105169> (Consultado el 14/05/2025)
- CLARIGET, J.; CIGANDA, V.; BANCHERO, G.; SANTANDER, D.; KEOGH, K.; KENNY, D.A.; KELLY, A.K. *Contrasting rearing and finishing regimens on performance and methane emissions of Angus steers* [Poster]. In: *Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP)*, 74., 26 agosto – 1 septiembre 2023, Lyon, Francia. *Book of abstracts*. Wageningen, NL: WAP, 2023. p. 728. DOI: 10.3920/978-90-8686-936-7. Disponible en: [www.eaap2023.org](http://www.eaap2023.org) (Consultado el 14/05/2025)
- DE BARBIERI, I.; NAVAJAS, E.A.; GIORELLO, D.; VELAZCO, J.I.; BANCHERO, G.; RODRIGUEZ, B.; ROVIRA, F.; CIAPPESONI, G. *Association between feed efficiency and methane emissions, performance and health in Merino sheep* [Resumen]. In: *Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*, 17., 1–4 diciembre 2020 [Virtual]. *Book of Abstracts*, núm. 26, p. 560. DOI: 10.3920/978-90-8686-900-8
- DE BARBIERI, I.; FERREIRA, G.; RAMOS, Z.; NAVAJAS, E.; CIAPPESONI, G. *Consequences of contrasting feed efficiency as lamb on later ewe performance* [Resumen]. In: *Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP)*, 73., 5–8 septiembre 2022, Porto, Portugal. *Book of Abstracts*, sesión 68, teatro 4, p. 674. Disponible en: <https://eaap2022.org/> (Consultado el 14/05/2025)
- FAVERIN, C.; BILOTTO, F.; FERNÁNDEZ ROSSO, C.; MACHADO, C. *Modelación productiva, económica y de gases de efecto invernadero de sistemas típicos de cría bovina de la Pampa Deprimida*. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 2019, vol. 35, núm. 1, p. 14–25. ISSN 0719-3882 (impreso), 0719-3890 (en línea).
- GARCÍA, F.; BRUNETTI, M.A.; LUCINI, E.I.; SCORCIONE TURCATO, M.C.; MORENO, M.V.; FROSSASCO, G.P.; COLOMBATTO, D.; MARTÍNEZ, M.J.; MARTÍNEZ FERRER, J. *Essential oils from Argentinean native species reduce in vitro methane production*. *RIA - Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 2018, vol. 44, núm. 1, p. 76–87. ISSN 1852-6233.
- MARQUES, C.B.; DE BARBIERI, I.; VELAZCO, J.I.; NAVAJAS, E.; CIAPPESONI, G. *Genetic parameters for feed efficiency, gas emissions, oxygen consumption and wool traits in Australian Merino*. In: *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*, 12., 3–8 julio 2022, Rotterdam, Países Bajos. Parte 5 – *Novel traits: environment and greenhouse gas*. p. 160–163. DOI: [https://doi.org/10.3920/978-90-8686-940-4\\_28](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-940-4_28) (Consultado el 14/05/2025)
- NAVAJAS, E.; CIAPPESONI, G.; GIMENO, D.; VELAZCO, J.I.; DE BARBIERI, I. *Association of genetic resistance to internal nematodes and production traits on feed efficiency and methane emissions in Corriedale lambs*. In: *Proceedings of the World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*, 12., 3–8 julio 2022, Rotterdam, Países Bajos. Parte 5 – *Novel traits: environment and greenhouse gas*. p. 195–198. DOI: [https://doi.org/10.3920/978-90-8686-940-4\\_37](https://doi.org/10.3920/978-90-8686-940-4_37) (Consultado el 14/05/2025)
- PRAVIA, M.I.; NAVAJAS, E.; AGUILAR, I.; RAVAGNOLO, O. *Evaluation of feed efficiency traits in different Hereford populations and their effect on variance component estimation*. *Animal Production Science*, 2022, vol. 62, núm. 17, p. 1652–1660. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN21420> (Consultado el 14/05/2025)
- SANTANDER, D.; CLARIGET, J.M.; BANCHERO, G.; ALECRIM, F.; SIMÓN, C.; MARIOTTA, J.; GERE, J.; CIGANDA, V. *Beef steers and enteric methane: reducing emissions by managing forage diet fiber content*. *Animals*, 2023, vol. 13, núm. 7, art. 1177. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13071177> (Consultado el 14/05/2025)
- OLIVEIRA, P.P.A.; BERNDT, A.; PEDROSO, A.F.; ALVES, T.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; SAKAMOTO, L.S.; HENRIQUE, F.L.; RODRIGUES, P.H.M. *Greenhouse gas balance and carbon footprint of pasture-based beef cattle production systems in the tropical region (Atlantic Forest biome)*. *Animal*, 2020, vol. 14, suplemento 3, p. s427–s437. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1751731120001822> (Consultado el 14/05/2025)

- PERI, P.L.; CELLINI, J.M.; ALBERTI, A.; MATTENET, F.; HUERTAS, L.; MONELOS, L.; MÓNACO, M.; MARTÍNEZ PASTUR, G. *Sistema de monitoreo predial de Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI) en bosques de ñire de la provincia de Santa Cruz, Patagonia, Argentina*. In: RIVERA, J.E. et al. (eds.). *Sistemas silvopastoriles: ganadería sostenible con arraigo e innovación*. Cali: CIPAV, 2021. p. 2–9. ISBN 978-958-9386-99-6.
- PEZZOPANE, J.R.M.; BOSI, C.; BERNARDI, A.C.C.; MULLER, M.D.; OLIVEIRA, P.P.A. *Managing eucalyptus trees in agroforestry systems: Productivity parameters and PAR transmittance*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, vol. 312, art. 107350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107350> (Consultado el 14/05/2025)
- PINARES-PATIÑO, C.; GERE, J.; WILLIAMS, K.; GRATTON, R.; JULIARENA, P.; MOLANO, G. et al. *Extending the collection duration of breath samples for enteric methane emission estimation using the SF6 tracer technique*. *Animals*, 2012, vol. 2, núm. 2, p. 275–287.

