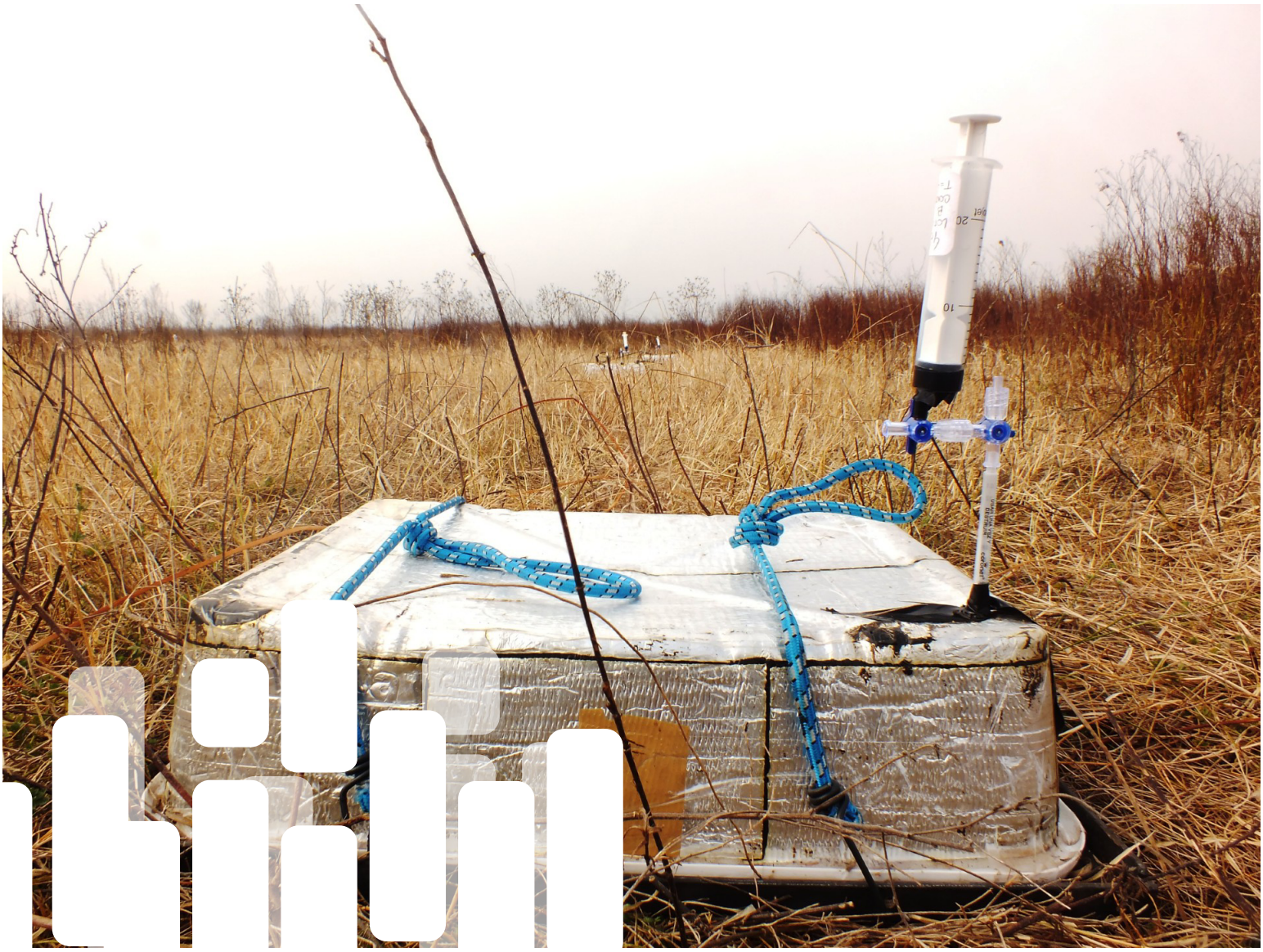

ATN_RF-16926-RG. Intensificación sostenible de sistemas ganaderos con leguminosas: plataforma de cooperación Latinoamericana y del Caribe

Producto 13: DATABASE Gases de efecto invernadero

Gabriela Perez, Israel Oliviera Ramalho

2024

GLOBAL RESEARCH ALLIANCE ON AGRICULTURAL GREENHOUSE GASES

Ministry for Primary Industries
Manatū Ahu Matua

PROCISUR

FONTAGRO

Códigos JEL: Q16
ISBN: N/A

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Gabriela Perez e Israel Oliviera Ramalho en colaboración con Wesley dos Santos Souza, Bruno Alves, Francisco Salazar, Victor Ascencio, Fernando Lattanzi, Romina Romaniuk.

Copyright © 2022 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial- SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:
FONTAGRO
Correo electrónico: fontagro@fontagro.org
www.fontagro.org

Tabla de Contenidos

RESUMEN 4

Palabras Clave: óxido nitroso, metano, leguminosas, Latinoamérica 4

ABSTRACT 4

INTRODUCCIÓN 6

OBJETIVO 7

METODOLOGÍA 7

Colecta de muestras de gas: 8

Muestreo post-aplicación de tratamientos: 9

Otros muestreos realizados: 9

Gases analizados y reportados mediante cromatografía gaseosa: 10

Técnica de medición de emisión de CH_4 entérico 10

RESULTADOS 11

CONCLUSIONES 16

ANEXO 1 16

INSTITUCIONES PARTICIPANTES 16

RESUMEN

Conocer la emisión de gases de efecto invernadero, como el óxido nitroso y el metano, es crucial en los estudios sobre el ciclo de nutrientes y la fertilidad del suelo, además de jugar un rol fundamental en la mitigación del cambio climático. Este estudio se enfoca en las emisiones de óxido nitroso y metano, tanto edáfico como entérico, en sistemas de pastizales que incorporan diversas leguminosas en Argentina, Brasil, Chile, República Dominicana y Uruguay. Para ello, se llevaron a cabo experimentos en suelos con características edafoclimáticas típicas de las diferentes regiones, evaluando distintos tratamientos de leguminosas bajo condiciones de pastoreo.

Los resultados preliminares evidencian una variabilidad significativa en las emisiones según la especie de leguminosa y el país. En particular, se observaron mayores emisiones de óxido nitroso en sistemas confinados de la región semiárida en Argentina, seguidos por pastizales con excretas en la Pampa deprimida Argentina, Uruguay, y República Dominicana. Por otro lado, las emisiones de metano del suelo fueron variables, con valores positivos y negativos en Argentina, Chile y Uruguay. El metano entérico, por otro lado, presentó mediciones homogéneas en el rango de 20-30 gCH_4 .kg MSI^{-1}, en ganado consumiendo leguminosas en Argentina, Brasil, Chile y Uruguay.

Palabras Clave: óxido nitroso, metano, leguminosas, Latinoamérica

ABSTRACT

Knowing the emission of greenhouse gases, such as nitrous oxide and methane, is crucial in

studies on nutrient cycling and soil fertility, and plays a fundamental role in climate change mitigation. This study focuses on edaphic emissions of nitrous oxide and methane emissions (both edaphic and enteric) in grassland systems incorporating various legumes in Argentina, Brazil, Chile, the Dominican Republic, and Uruguay. To this end, experiments were carried out in soils with typical edaphoclimatic characteristics of the different regions, evaluating different legume treatments under grazing conditions.

Preliminary results show significant variability in emissions depending on the legume species and country. In particular, higher nitrous oxide emissions were observed in confined systems in the semiarid region of Argentina, followed by grasslands with manure in the depressed Pampas of Argentina, Uruguay, and the Dominican Republic. On the other hand, soil methane emissions were variable with positive and negative values in Argentina, Chile and Uruguay. Enteric methane, on the other hand, presented homogeneous measurements in the range of 20-30 gCH_4 .kg DM^{-1} intake in cattle consuming legumes in Argentina, Brazil, Chile and Uruguay.

Keywords: nitrous oxide, methane, legumes, Latin America

INTRODUCCIÓN

El estudio de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en sistemas de pastizales y suelos agrícolas ha cobrado relevancia por su papel en los ciclos de nutrientes y en el impacto ambiental. Los GEI, como el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4), contribuyen de manera significativa al cambio climático, y su origen en los sistemas de producción agropecuaria, especialmente en suelos y en emisiones entéricas, ha sido motivo de creciente preocupación. Comprender las dinámicas de estos gases y su relación con prácticas de manejo sostenible es clave para reducir su contribución al calentamiento global. Tradicionalmente, el manejo del suelo y las prácticas agrícolas se han centrado en incrementar la fertilidad y mejorar la estructura del suelo, priorizando la retención de nutrientes y la productividad. Sin embargo, la necesidad de mitigar las emisiones de GEI ha impulsado el interés en prácticas que no solo mejoren la eficiencia de los sistemas productivos, sino que también tengan un efecto positivo en la sostenibilidad ambiental.

La inclusión de leguminosas en los sistemas de pastizales representa una de las prácticas con mayor potencial para influir en las emisiones de GEI. Estas plantas, a través de su asociación con bacterias fijadoras de nitrógeno, incrementan la fertilidad del suelo de manera natural y podrían influir en el balance de óxido nitroso edáfico. Además, la biomasa que generan, tanto aérea como radicular, puede afectar la dinámica del metano en el suelo y en la atmósfera. En este contexto, se han observado patrones complejos en cuanto al rol de las leguminosas, ya que su impacto sobre las emisiones de N_2O y CH_4 varía significativamente según las condiciones edafoclimáticas, el manejo del pastoreo y la especie de leguminosa utilizada. Mientras algunos estudios sugieren que las leguminosas pueden reducir las emisiones de estos gases, otros muestran incrementos, especialmente en suelos que presentan condiciones específicas de humedad y compactación.

Esta diversidad de resultados hace evidente la necesidad de una base de datos robusta y detallada que permita analizar las emisiones de GEI en sistemas de pastizales en diferentes

condiciones de América Latina. Una base de datos que incluya tanto emisiones de óxido nitroso y metano de origen edáfico como emisiones de metano entérico podría ser clave para obtener una visión integral del impacto de estos sistemas en el cambio climático. Los datos sobre las emisiones en diferentes países, como Argentina, Brasil, Chile, Uruguay y República Dominicana, permitirían analizar no solo la efectividad de las leguminosas como estrategia de mitigación, sino también identificar patrones de emisiones asociados con prácticas de manejo y condiciones del suelo específicas. Así, contar con información detallada y regionalizada en esta área podría guiar la implementación de prácticas agropecuarias más sostenibles, contribuyendo a enfrentar los desafíos del cambio climático a través de estrategias que reduzcan los GEI sin comprometer la productividad de los sistemas pastoriles.

OBJETIVO

El objetivo de este reporte fue compilar valores de emisiones de óxido nitroso del suelo, metano del suelo y metano entérico en pastizales dedicados a la ganadería con y sin inclusión de leguminosas de Argentina, Brasil, Chile, Uruguay y República Dominicana.

METODOLOGÍA

Las emisiones de óxido nitroso (N_2O) y metano (CH_4) desde el suelo fueron determinadas mediante el uso de cámaras estáticas. Fueron utilizados tratamientos con agregado de excretas (heces u orina).

Previo al inicio del muestreo de gas dentro de la cámara, se realizaron extracciones de orina y heces de vaquillonas que han estado previamente, durante no menos de 15 días, pastoreando los recursos forrajeros correspondientes. El día 0 (inicio del experimento) se realizó la aplicación de excretas en las áreas donde serán colocadas las cámaras, simulando un evento de deposición. También se muestreó la emisión de gases en suelos sin aplicación de excretas

(controles). En el caso de la orina, se aplicaron 800 ml de orina (valor aproximado correspondiente al volumen de un evento medio diario de orina) y en el caso de las heces 1,5 kg (peso estimado de una torta promedio). Se llevaron a cabo 4 muestreos para determinación de N_2O (uno en cada estación del año), de aproximadamente seis semanas de duración: los primeros 10 días en forma diaria, luego día por medio hasta la tercera semana, y luego se disminuyó la frecuencia hasta la semana 6, a menos que condiciones de alta temperatura y humedad del suelo (que favorecen las emisiones de N_2O) ameriten mantener alta frecuencia de muestreo.

El protocolo de muestreo, almacenamiento de muestras y determinación fue común a todos los países participantes y se detalla a continuación:

Colecta de muestras de gas:

Se realizó el muestreo una vez al día, entre las 10 y 13 horas (cada país definió el momento más representativo según la curva de emisión diaria de N_2O).

Se utilizaron viales al vacío, previamente etiquetados e identificados, y se colectó una muestra de aire atmosférico antes del inicio de la colecta de muestras de las cámaras.

Se colectaron muestras con sobrepresión (30 mL en viales de 22 mL, 10 mL en viales de 6 mL, 15 mL en viales de 10 mL, etc.).

Las muestras se colectaron en períodos fijos en las cámaras (con tiempos de muestreo entre cámaras de, por ejemplo, 1 minuto).

Se utilizó una jeringa por cámara.

Antes de colectar la muestra final en cada cámara, se mezcló el aire de la parte aérea de la cámara dos veces.

El muestreo se realizó en tiempos de 0, 20 y 40 minutos después de colocar la cámara sobre el suelo. Se emplearon rangos de tiempo menores o mayores según las concentraciones acumuladas, asegurando en cualquier caso un periodo de acumulación lineal dentro de la cámara.

Al finalizar el muestreo de cada fecha, se retiraron las tapas de las cámaras.

Se realizó una medición de gases antes de aplicar los tratamientos (previo a la aplicación) para estimar la variabilidad espacial en el sitio del experimento y evaluar la variabilidad de los valores

basales (e.g., ambientales).

Las muestras se equilibraron a presión ambiente antes del análisis (con una aguja en un vaso con agua).

Muestreo post-aplicación de tratamientos:

La frecuencia de muestreo fue organizada según el objetivo del experimento. Para los factores de emisión, la frecuencia sugerida fue:

Primera semana: el primer muestreo se realizó el mismo día de la aplicación de tratamientos, inmediatamente después, seguido de tres muestreos adicionales los días 1, 3 y 7 post-aplicación.

Segunda semana: tres veces por semana.

De la tercera a la quinta semana: dos veces por semana.

Sexta semana hasta alcanzar niveles basales: una vez por semana.

Se contabilizaron los eventos de lluvia, y se realizaron muestreos durante dos o tres días posteriores a un evento de precipitación o riego crítico para cada situación climática (por ejemplo, 10 mm en sistemas templados del sur de Chile).

Cuando fue posible, y para cada fecha de muestreo, se tomó un muestreo para control de linealidad, es decir, muestras en una cámara por tratamiento a los 0, 20, 40 y 60 minutos para verificar el aumento lineal de concentración de N_2O en el tiempo.

Otros muestreos realizados:

Se recolectó una muestra de aire por fecha de muestreo para registrar el nivel atmosférico.

Se midió la temperatura al interior y exterior de la cámara durante el muestreo.

Se registraron la humedad y temperatura del suelo (0-10 cm) por día de muestreo utilizando sensores.

Se registraron las precipitaciones.

Antes de la aplicación de los tratamientos, el suelo de cada parcela fue muestreado a una profundidad de 0 a 10 cm para determinar carbono orgánico total ($g.kg^{-1}$), pH, densidad aparente,

NO_3^- y NH_4^+. Durante el período experimental, los muestreos de suelo se realizaron una vez a la semana a la misma profundidad para determinar NO_3^- y NH_4^+. Se consideraron mayores profundidades dependiendo del sistema radicular de las praderas, aunque se contó siempre con el dato de 0-10 cm.

Gases analizados y reportados mediante cromatografía gaseosa:

La determinación de GEI se realizó mediante cromatografía gaseosa. Las emisiones instantáneas se correlacionaron con parámetros climáticos y del suelo medidos. Los datos de producción, calidad del cultivo y emisiones de GEI fueron analizados mediante análisis de varianza y comparación de medias, utilizando el software estadístico definido por cada país.

Técnica de medición de emisión de CH_4 entérico:

La producción de CH_4 fue evaluada durante seis días utilizando la técnica del hexafluoruro de azufre (SF_6). Las vacas recibieron por vía oral un tubo de permeación con gas SF_6, con una tasa de permeación previamente determinada. Diariamente, se recolectó una muestra continua de los gases espirados y eructados en contenedores de PVC al vacío, además de muestras de gases ambientales. La concentración de CH_4 y SF_6 en los collares fue determinada mediante cromatografía gaseosa, y la producción de metano fue calculada a partir de esta información. Además, se tomaron y analizaron muestras de alimentos ofrecidos y rechazados, orina, heces y leche para determinar el valor nutricional, calcular la digestibilidad de la dieta, la energía metabolizable, el balance y la eficiencia de utilización de nitrógeno. Los datos fueron analizados como un diseño crossover, incluyendo los efectos fijos del tratamiento y periodo, y el efecto aleatorio de la vaca. Se cuantificaron variables productivas (de forraje y producción animal), emisiones de CH_4 entérico y consumo individual de los animales. Las emisiones de metano se expresaron como y g CH_4 kg^{-1} MSI (Materia seca ingerida).

Para este experimento se utilizaron al menos ocho vacas multíparas en lactación media en un diseño crossover con dos tratamientos y dos periodos de cuatro semanas cada uno (tres semanas de adaptación a la dieta y una semana de mediciones). Los tratamientos consistieron en el reemplazo de heno de gramínea (por ejemplo, ballica o ryegrass) por heno de leguminosa (por

ejemplo, alfalfa) en la dieta de las vacas en lactancia media. Así, la dieta control consistió en 7 kg de materia seca (MS) de heno de gramínea, 6 kg MS de ensilaje de pastura y 4 kg MS de concentrado. La dieta con leguminosa fue similar, pero se reemplazó el heno de gramínea con 7 kg MS de heno de leguminosa. Las vacas fueron evaluadas estabuladas individualmente, donde se ordeñaron dos veces por día. Durante la semana de medición de cada periodo, se determinó la ingesta y rechazo de alimentos, y se realizó la recolección total de heces y orina.

RESULTADOS

Se compilaron valores promedio de emisión de óxido nitroso, emisión de metano del suelo y de metano entérico en el suelo para distintos sistemas ganaderos con y sin inclusión de leguminosas forrajeras, distribuidos en distintos ecosistemas de Argentina, Brasil, Chile, Uruguay y República Dominicana. En la Figura 1, se observa un rango amplio en las emisiones de N_2O, que varían entre 0,09 mg $N\text{-}N_2O.m^{-2}.día^{-1}$ en un pastizal con promoción de *Lotus tenuis* en Argentina sin aplicación de excretas y 3,17 mg $N\text{-}N_2O.m^{-2}.día^{-1}$ para un suelo con agregado de excretas en un sistema a corral estándar de la región del semiárido en Argentina.

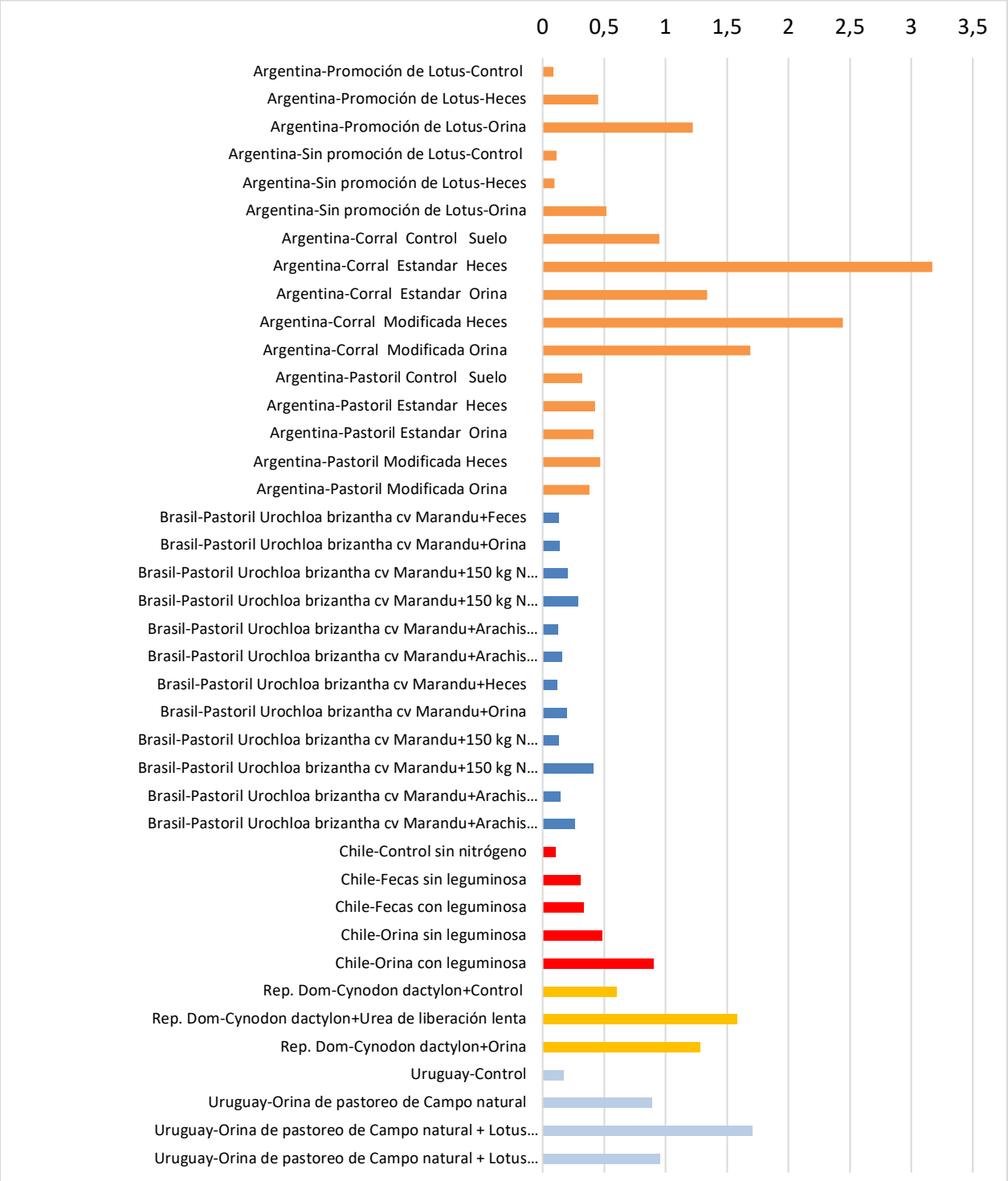

Figura 1. Emisiones N_2O (mg N-N_2O.m^{-2}.$día^{-1}$) para todos los tratamientos. En el eje "Y" se indica, el país, los tratamientos.

Este amplio rango pone de manifiesto las diferencias entre los sistemas de manejo y los tipos de suelo en cada país. El agregado de excretas se traduce en un incremento en la emisión de N_2O para la mayoría de los tratamientos y regiones.

En Brasil, se observan los menores valores de emisión en pastizales con y sin leguminosas, esto se ha adjudicado a suelos con baja fertilidad química y altos niveles de inmovilización de nitrógeno sumado a un rápido drenaje, que limita la disponibilidad del nitrógeno y la humedad del suelo, necesarias tanto para los procesos de nitrificación como los de desnitrificación.

En cuanto a la emisión de metano en el suelo (Figura 2), los valores oscilaron entre -0,62 mg $C\text{-}CH_4$ $.m^{-2}.día^{-1}$ en un pastizal sin excretas y sin leguminosas en Chile, y 2,20 mg $C\text{-}CH_4$ $.m^{-2}.día^{-1}$ en un pastizal sin promoción de leguminosas y con agregado de heces en la localidad de Chascomús, en Argentina. Los resultados obtenidos mostraron alta variabilidad entre regiones subrayando la importancia de las prácticas de manejo y las condiciones ambientales al momento de los muestreos.

En la Figura 3, las emisiones de metano entérico, expresadas en gramos de CH_4 por kilogramo de materia seca ingerida (g CH_4. kg MSI^{-1}), se movieron dentro de un rango relativamente estrecho, entre aproximadamente 20 y 30 g CH_4. $Kg.MSI^{-1}$. Los resultados no muestran una gran variabilidad entre tratamientos, aunque es posible observar que algunos tratamientos específicos, como los henos de ballica y alfalfa en Chile, presentan valores más elevados en comparación con otros tratamientos en otros países, indicando una leve diferencia en la emisión según el tipo de alimento y manejo.

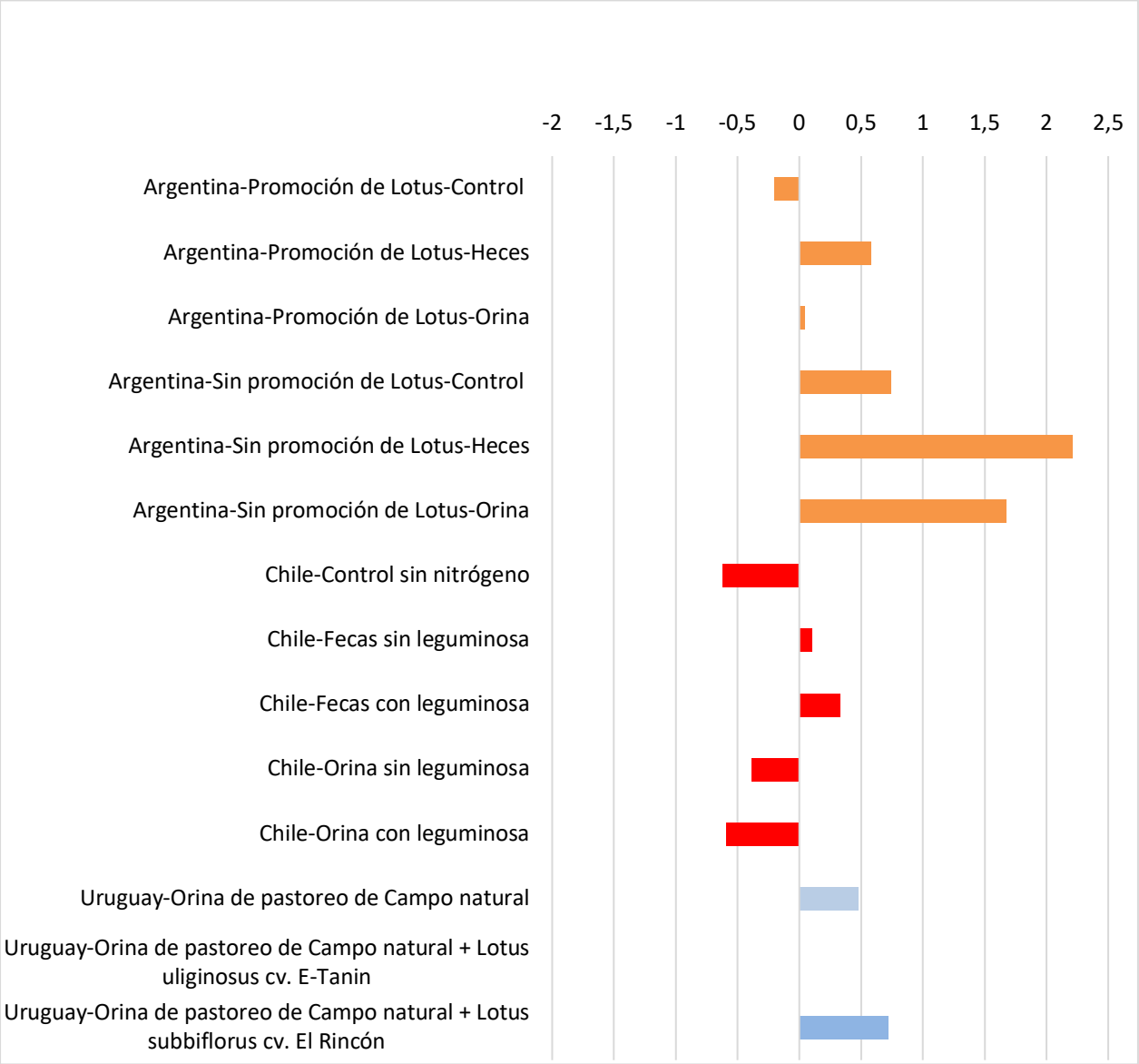

Figura 2. Emisión de metano del suelo (gCH_4 .kg MSI^{-1}) para todos los tratamientos. En el eje "Y" se indica, el país, y los tratamientos.

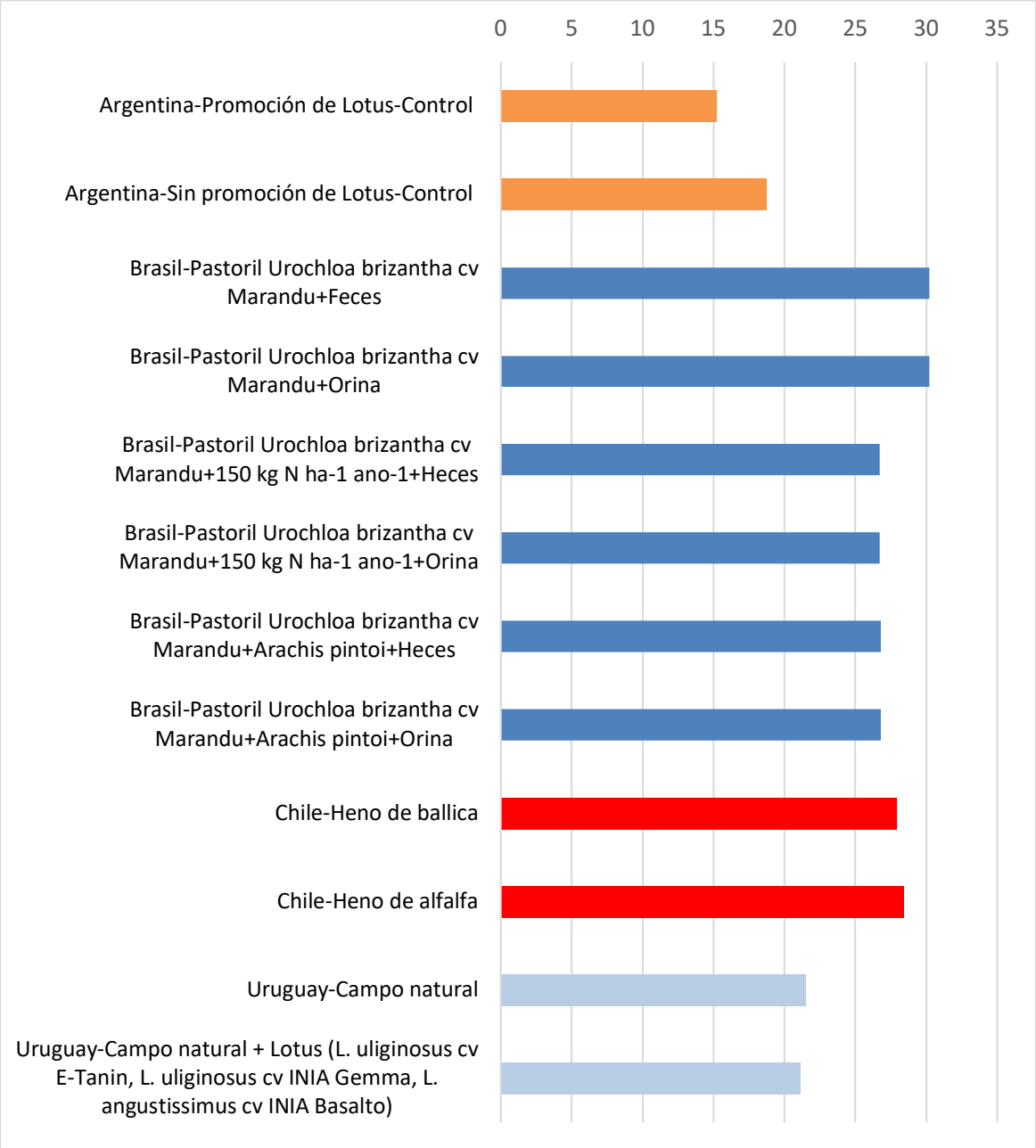

Figura 3. Emisión de metano entérico (gCH_4 .kg MSI^{-1}) para todos los tratamientos. En el eje "Y" se indica el país y los tratamientos.

CONCLUSIONES

En conclusión, los resultados muestran que las emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas ganaderos varían considerablemente según el tipo de manejo, las condiciones del suelo y la región geográfica. La inclusión de leguminosas y la adición de excretas pueden influir tanto en las emisiones de N_2O como en el CH_4 entérico y del suelo, resaltando la complejidad de los factores que afectan estas emisiones. Estas variaciones subrayan la necesidad de prácticas de manejo específicas para cada región, orientadas a mitigar el impacto ambiental sin comprometer la productividad agrícola.

ANEXO 1

Base de datos que compila valores promedio de emisión de óxido nitroso, metano del suelo y metano entérico discriminados por “País”, “Provincia”, “Estado”, “Localidad”, “Tratamiento”,

INSTITUCIONES PARTICIPANTES

Secretaría Técnica Administrativa

FONTAGRO

Con el apoyo de:

BID
Banco Interamericano de Desarrollo

IICA

www.fontagro.org
Correo electrónico: fontagro@fontagro.org