

MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN ANIMAL CON ÉNFASIS EN LA GANADERÍA DE LECHE EN LA REGIÓN ANDINA DENTRO DEL CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

FTG/RF-14653-RG

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

UNALM



Año 2018

Este proyecto ha sido financiado por:



Con el apoyo de las siguientes instituciones:



Ministry for Primary Industries
Manatū Ahu Matua



**INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA
AGRICULTURA (IICA)**



María Febres, maria.febres@iica.int

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA (UNA La Molina)



Carlos Gómez, cagomez@lamolina.edu.pe

CORPORACIÓN COLOMBIANA DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

Corpoica, Colombia



Olga Mayorga, lmayorga@corpoica.org.co

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS

INIAP, Ecuador



Luis Fernando Rodríguez, luis.rodriguez@iniap.gob.ec

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGROPECUARIA Y FORESTAL

INIAF, Bolivia



José Campero, jrcampero@hotmail.com

INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA

INIA, Perú



César Osorio, cosorio@inia.gob.pe

ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN EJECUTIVO	1
2. FIN, META Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	7
3. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES REALIZADAS.....	8
3.1. Caracterización biofísica y socioeconómica de los sitios de producción de ganado de leche.....	8
3.2. Determinación de las emisiones de metano entérico y óxido nitroso en los sistemas de producción lechera.....	8
3.2.1. Ensayos de metano entérico	8
3.2.2. Ensayos de óxido nitroso	11
3.3. Evaluación de estrategias y desarrollo de escenarios de mitigación de metano entérico.....	12
3.4. Fortalecimiento de las capacidades de investigación y contribución a las políticas públicas.....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
4.1. Caracterización biofísica y socioeconómica de los sitios de producción de ganado de leche en los países del consorcio.....	15
4.2. Determinación de las emisiones de metano entérico y óxido nitroso en los sistemas de producción lechera.....	16
4.2.1. Ensayos de metano entérico	16
4.2.2. Ensayos de óxido nitroso	22
4.3. Estrategias y escenarios de mitigación de las emisiones de metano entérico (componentes 3 y 4)	28
4.3.1. Bolivia.....	30
4.3.2. Colombia.....	31
4.3.3. Ecuador.....	32
4.3.4. Perú.....	33
4.3.5. Discusión general.....	33
4.4. Fortalecimiento de las capacidades de investigación y su contribución en las políticas públicas (componente 5).....	34
4.4.1. Resultados del fortalecimiento de las capacidades de investigación	34

4.4.2. Actividades de contribución a la formulación de políticas públicas en mitigación para el sector ganadero	39
4.5. Difusión de las actividades y resultados del proyecto	43
4.6. Impactos del proyecto	44
5. CONCLUSIONES	46
6. BIBLIOGRAFÍA	47
7. ANEXOS	50
8. TABLA DE INDICADORES	87

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características de los sitios de producción lechera en países andinos.....	16
Cuadro 2. Consumo, producción de leche y emisiones de metano en vacunos alimentados bajo sistema tradicional y mejorado en los Andes de Perú	18
Cuadro 3. Consumo, producción de leche y emisiones de metano en vacunos alimentados bajo sistema tradicional y mejorado en los Andes de Colombia	21
Cuadro 4. Diferencias en emisiones acumuladas de N-N ₂ O entre tratamientos con y sin incorporación de orina	24
Cuadro 5. Estrategias de mitigación evaluadas para los países andinos	29
Cuadro 6. Comparación de base tradicional y escenario de mitigación de metano para el altiplano La Paz - Oruro	30
Cuadro 7. Comparación de base tradicional y escenario de mitigación de metano para el altiplano de Cundinamarca - Boyacá	31
Cuadro 8. Comparación de base tradicional y escenario de mitigación de metano para la región andina de Pichincha y Chimborazo	32
Cuadro 9. Comparación de base tradicional y escenario de mitigación de metano para el altiplano de Puno.....	33
Cuadro 10. Capacitaciones y visitas técnicas	35
Cuadro 11. Síntesis de estatus y acciones a seguir en la implementación políticas públicas de mitigación de GEI en ganadería en la región andina.	41
Cuadro 12. Participación en conferencias, eventos y grupos de investigación	43

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1. Colocación de elementos de colección de metano entérico en ovinos (UNA La Molina).	18
Foto 2. Pastoreo de vacunos en sistema mejorado, experimento de metano entérico (IRD, Junín, Perú).....	19
Foto 3. Pastoreo de vacunos en sistema tradicional, experimento de metano entérico (Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri, Junín, Perú).....	20
Foto 4. Pastoreo de vacunos Holstein en campos de kikuyo, experimento de metano entérico (Centro de Investigación Tibaitatá, Bogotá, Colombia).....	21
Foto 5. Cámaras estáticas instaladas en parcela de <i>rye-grass</i> trébol, sistema mejorado (Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri, Junín, Perú).....	27
Foto 6. Colección de óxido nitroso en pastos naturales, sistema tradicional (Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri, Junín, Perú).....	27
Foto 7. Trabajo durante taller de estrategias de mitigación, UNA La Molina.	28
Foto 8. Participantes con canister de vacunos preparados por ellos mismos (Taller en medición de gases, UNA La Molina).....	37

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Emisiones de metano entérico en el engorde intensivo de ovinos con dos niveles de carbohidratos no estructurales (50% vs. 30%).....	17
Gráfico 2. Emisiones de óxido nitroso durante periodo experimental en pastos naturales y pastos cultivados.....	23
Gráfico 3. WFPS (%) y precipitación en pastos naturales.....	25
Gráfico 4. WFPS (%) y precipitación en pastos cultivados.....	25
Gráfico 5. Concentración de nitratos y amonio en suelos de pastos naturales.....	26
Gráfico 6. Concentración de nitratos y amonio en suelos de pastos cultivados.....	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Documentos anexos externos	50
Anexo 2. Diferencias metodológicas en la elaboración de elementos y en el proceso de colección de gases.....	52
Anexo 3. Protocolo de ensayos de cuantificación de metano entérico en Perú	53
Anexo 4. Protocolo de ensayos de cuantificación de óxido nitroso realizados en Perú	58
Anexo 5. Información complementaria de experimentos de cuantificación de gases.....	60
Anexo 6. Programas de los talleres de estrategias de mitigación.....	65
Anexo 7. Ajuste a herramienta LIFE-SIM para desarrollo de escenarios de mitigación.....	70
Anexo 8. Programa del taller de medición de gases	71
Anexo 9. Encuesta sobre capacidades de investigación en medición de gases de efecto invernadero	75
Anexo 10. Programa de eventos de divulgación.....	84

1. RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto tuvo como objetivo el desarrollo de la capacidad técnica para la medición de emisiones de metano entérico y óxido nitroso, y también de la capacidad para plantear estrategias para mitigar su efecto en los sistemas de producción de leche típicos en los países de la región andina (Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú). El proyecto se estructuró a partir de cinco componentes. El primero, la caracterización biofísica y socioeconómica de los sitios de producción de ganado de leche en los países coejecutores. El segundo, la determinación de las emisiones de metano (CH₄) entérico y óxido nitroso (N₂O) en los sistemas de producción – tradicionales y mejorados– de los sitios piloto. El tercero, la evaluación de las estrategias de alimentación para el mejoramiento de los sistemas de producción de leche y la mitigación de sus emisiones. Este componente se vincula al cuarto, el desarrollo de escenarios de mitigación de gases para los sitios piloto. El quinto consistió en el fortalecimiento de las capacidades de investigación en metano entérico y óxido nitroso, y la contribución, a las políticas públicas, de los resultados de mitigación.

El desarrollo del primer componente 1 permitió distinguir que la crianza de vacunos para la producción de leche en los Andes de Bolivia y Perú comparte altitud, regímenes y volumen de precipitación, base forrajera nativa y temperatura; mientras que en Colombia y Ecuador esta actividad se ubica en pisos un poco más bajos, tiene mayor precipitación y más constante, posee una base forrajera naturalizada y una temperatura promedio superior. En general predomina la crianza de animales con diverso grado de cruzamiento, mayoritariamente manejados por pequeños productores.

El segundo componente del proyecto se desarrolló en dos etapas. La primera consistió en la implementación del equipamiento y la logística para los ensayos de cuantificación de gases. Este proceso dejó una capacidad física instalada en UNA La Molina y Corpoica para la colección de muestras gaseosas y su análisis cromatográfico. La segunda etapa consistió en desarrollar ensayos para cuantificar el metano entérico y el óxido nitroso en sistemas tradicionales y mejorados, característicos de la ganadería andina.

Los ensayos de metano buscaron determinar las emisiones de ovinos bajo un sistema de producción intensiva con dos niveles de carbohidratos no estructurales (CNE) en la dieta (nivel del mar, Perú), vacunos en sistema tradicional de pasto natural (4,100 m s. n. m., Perú), vacunos en sistema mejorado con pasturas cultivadas (3,200 m s. n. m., Perú) y vacunos con suplementación tradicional y estratégica (2,500 m s. n. m., Colombia). Los resultados de

emisiones de metano en el ensayo con ovinos fueron de 41.5 g CH₄/ovino/día (dieta con 50% CNE) y 39.6 g CH₄/ovino/día (dieta con 30% CNE); ambos muy similares, aunque las emisiones por kilogramo de peso ganado fueron menores en los ovinos alimentados con 50% CNE. En los ensayos con vacunos se determinó que en el sistema tradicional las vacas produjeron 97.0 g CH₄/litro de leche, mientras que en el mejorado 26 g CH₄/litro de leche, representando una reducción del 70% en la intensidad de emisión. Además la producción de leche en el sistema mejorado fue 8 veces superior al tradicional. En el ensayo realizado en Colombia la suplementación tradicional originó una emisión de 30.6 g CH₄/litro de leche, mientras que la de la estratégica fue de 26.5 g CH₄/litro de leche. Los resultados de los ensayos muestran la capacidad de los sistemas mejorados para reducir la intensidad de emisiones.

Los ensayos de óxido nitroso se efectuaron en Perú, en un sistema tradicional basado en pasto natural y en un sistema mejorado con asociación *rye-grass* trébol, ambos a 4,100 m s. n. m. y muestreando en dos periodos dentro de la época seca. Los resultados de la primera etapa mostraron mayores emisiones en las cámaras que recibieron orina, con picos que llegan a sus puntos más altos entre el día 5 y 10 (respecto al control) y persisten hasta el día 18. En la segunda etapa se demostró que no existen diferencias entre las emisiones acumuladas con el sistema tradicional y con el mejorado (238 vs. 260 mg N-N₂O/m²) durante el periodo experimental (34 días), y se evidenció que la aplicación de orina desencadena picos de emisión que persisten por 5 días. Seguramente los estudios que incorporen fuentes nitrogenadas típicamente aplicadas a los sistemas, además de la orina, permitirán determinar aquel con menor intensidad de emisión. La evaluación de estrategias y el desarrollo de escenarios de mitigación de metano entérico, componentes 3 y 4 del proyecto, fueron trabajados por medios virtuales y presenciales con los coejecutores. Se utilizó para este propósito la herramienta de simulación LIFE-SIM, la cual se ajustó para precisar la comparación de escenarios de mitigación, considerando el contexto de los sistemas ganaderos analizados en el proyecto. Los resultados se consolidaron en un taller de trabajo presencial, en el que se seleccionaron algunas estrategias específicas que contribuyen en mayor medida a la reducción de metano por litro de leche producida, con respecto a la base tradicional de alimentación en los sistemas de producción.

En Bolivia la simulación del pastoreo en alfalfa, con uso de heno y ensilaje de avena, mostró que podrían reducirse en 34% las emisiones de metano. En Ecuador esta reducción sería de 65% al utilizar pasturas mejoradas (mezclas forrajeras y resiembra de kikuyales) y suplementación con concentrado, como acostumbran los medianos productores. En Colombia no se apreciaron diferencias en las emisiones al ajustar la frecuencia de pastoreo a 42 días e incorporar suplementos al concentrado. En Perú la emisión de metano total en el año se vería reducida en

7% gracias al pastoreo en alfalfa y pasto natural, y el uso de heno de alfalfa y ensilado de avena. Los resultados de la simulación de escenarios de mitigación ofrecieron además información económica que permite un análisis crítico para hacer sugerencias con incidencia en las políticas de reducción de emisiones. Además estos resultados pueden usarse para ampliar los criterios de selección de una estrategia, buscando su efectividad más allá del aspecto ambiental, pues las estrategias con mayor capacidad de mitigación no siempre son las más rentables para los productores.

Las capacidades de investigación, componente 5, se vieron fortalecidas en diferentes ámbitos. Los equipos técnicos de Perú y Colombia se capacitaron, en las técnicas de cuantificación de gases, en instituciones colaboradoras (UNSAAC, el INIA Remehue y el CATIE), recibieron la asesoría del Dr. Nicolas diLorenzo (University of Florida) e intercambiaron información a través de una visita técnica al experimento de Perú. Se llevaron a cabo tres talleres presenciales –sobre el uso del LIFE-SIM, estrategias de mitigación y cuantificación de gases–, en los cuales 34 miembros de los cuatro países coejecutores fueron capacitados. Cuatro profesionales fueron adiestrados en técnicas de laboratorio para análisis cromatográficos y de otros tipos, complementarios a la cuantificación de gases. También se creó una página web como herramienta para compartir información técnica entre los coejecutores y la comunidad en general. Se publicaron cuatro documentos técnicos sobre cuantificación y mitigación. Esta formación de capacidades permitió fortalecer proyectos existentes y construir nuevas propuestas que dan continuidad al proyecto.

Los resultados se presentaron en eventos presenciales en los países coejecutores, donde –a través de paneles de especialistas de los ministerios de Agricultura, Ambiente, institutos de investigación y academia– se buscó contribuir a las políticas de mitigación. Se identificó la necesidad de orientar las investigaciones para crear una línea base sobre el tema de emisiones y factores de emisión, con los estándares apropiados que requieren los países, además publicar de forma más efectiva y rápida, y enfocar las acciones de mitigación a la intensificación sostenible de la ganadería.

EXECUTIVE SUMMARY

The aim of the project was to develop technical capacities for measuring enteric methane and nitrous oxide emissions, and the capacity to develop strategies for the mitigation of enteric methane and nitrous oxide emissions in typical milk production systems in the countries of the Andean region (Bolivia, Colombia, Ecuador and Peru). The project was structured around five components. First, the biophysical and socio-economic characterization of dairy cattle production sites in the co-executor countries. Second, the quantification of enteric methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions in traditional and improved production systems in the pilot locations. Third, the evaluation of food strategies for the improvement of milk production systems and the mitigation of emissions in these systems; this component was related to the fourth one, which was based on the development of mitigation scenarios for the pilot locations. The fifth component focused on strengthening research capacities on enteric methane and nitrous oxide, and mainstreaming the results of mitigation components in public policies.

During the development of the first component, it was observed that the raising of cattle for milk production in the Andes region of Bolivia and Peru has similar aspects such as altitude, grazing regime, rainfall volume, native forage base and temperature; whereas in Colombia and Ecuador this activity is developed in lower-altitude floors, the precipitation is higher and more constant, the forage base has been naturalized and the average temperature is higher. In general, the degree of cross-breeding varies from country to country; and the livestock is managed mostly by small-scale farmers.

The second component comprised two stages. The first stage involved the implementation of the equipment and the logistics for the gas quantification trials. This process allowed to have a installed physical capacity at UNALM and Corpoica for the collection of gas samples and the chromatographic analysis. The second stage involved the development of trials for the quantification of enteric methane and nitrous oxide in traditional and improved systems which are typical of Andean farming.

Methane trials aimed at quantifying the emissions of sheep in intensive production systems with two levels of non-structural carbohydrates (NSC) in their diet (sea level, Peru); cattle in traditional systems of natural pasture (4,100 masl, Peru); cattle in improved systems with cultivated pasture

(3,200 masl, Peru); and cattle with traditional and strategic supplementation (2,500 masl, Colombia). The results of methane emissions in the trial with sheep were 41.5 g CH₄/sheep/day (diet with 50% NSC) and 39.6 g CH₄/sheep/day (diet with 30% NSC), which are very similar, although the emissions per kilogram of gained weight were lower in sheep fed with 50% NSC. In the trials with cattle, it was observed that in the traditional system the cows produced 97.0 g CH₄/liter of milk, whereas in the improved system the cows produced 26 g CH₄/liter of milk, which represents a 70% reduction in the intensity of the emission. Besides, milk production in the improved system was 8 times higher than in the traditional system. In the trial conducted in Colombia, the traditional supplementation resulted in an emission of 30.6 g CH₄/liter of milk, whereas the strategic supplementation resulted in an emission of 26.5 g CH₄/liter of milk. The results of the trials show the capacity of the improved systems to reduce the intensity of the emissions.

The trials on nitrous oxide were conducted in Peru in a traditional system based on natural pasture, and in an improved system with a mix of rye-grass and clover, both at 4,100 masl. The samples were taken at two periods of the dry season. First period results showed larger emissions from cameras with urine treatment, with peaks that reach the top between the 5th and 10th day, compared with the control, and persisted until the 18th day. In the second period it was demonstrated that there were no differences between the accumulated emissions of the traditional system (238 gr N-N₂O/m²) and the improved system (260 gr N-N₂O/m²) during the experimental period (34 days), and that the application of urine triggers emission peaks whose intensity disappears five days after the application. Studies on the application of other nitrogen sources, typically applied to these systems, would allow to identify the one with the lowest intensity of emission.

The evaluation of strategies and the development of enteric methane mitigation scenarios (Components 3 and 4) were carried out with the co-executors through virtual and on-site meetings using the LIFE-SIM simulation tool, which was adjusted for comparison of mitigation scenarios based on the context of the livestock production systems analyzed by the project. The results were consolidated in an on-site workshop and specific strategies were selected to further reduce the amount of methane per liter of milk produced with regard to the traditional food base in production systems.

In Bolivia, grazing simulation in alfalfa with hay and oat silage showed that there would be a 34% reduction in methane emissions. In Ecuador, there would be a 65% reduction through the use of

improved pastures (i.e. forage mix, replanting kikuyo grass) and by providing concentrate supplementation, as medium-scale producers do. In Colombia, no change was observed in the emissions after adjusting the grazing frequency to 42 days and providing concentrate supplementation. In Peru, there would be a 7% reduction in the total annual methane emission through the introduction of grazing in alfalfa and natural pasture, and the use of alfalfa hay and oat silage. The results of the simulation of mitigation scenarios also provided productive and economic information which will be critically analyzed in order to suggest actions for the influence on policies that aim to reduce emissions and which can be used to expand the criteria for the selection of a strategy that can be effective not only in terms of the environment, since the strategies with more mitigation capacity are not always the most profitable for producers.

The project strengthened research capacities in different ways (Component 5). The technical teams of Peru and Colombia were trained on gas quantification techniques in partner institutions (UNSAAC, INIA Remehue and CATIE), received the advice of Dr. Nicolas DiLorenzo (University of Florida) and exchanged information in a technical visit to the experiment in Peru. Three on-site workshops on the use of LIFE-SIM, gas mitigation strategies and gas quantification were conducted with participation of 34 members of the 4 co-executor countries. Four practitioners were trained on laboratory techniques for chromatographic analysis and other complementary techniques on gas quantification. A web site was created to share technical information with the co-executors and the community in general. Four technical documents on quantification and mitigation were published. These newly-developed capacities allowed to strengthen existing projects and to develop new proposals that promote the continuity of the project.

The results were presented in face-to-face events in the co-executor countries and discussed by a panel of specialists from the ministries of agriculture and environment, research institutions and academia as a contribution to mitigation policies. The specialists identified the need to (i) guide research initiatives towards the creation of a baseline of emissions and emission factors with appropriate standards required by the countries; (ii) produce more effective and more readily available publications; and (iii) focus mitigation actions on sustainable farming intensification.

2. FIN, META Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

Este proyecto tiene por finalidad mejorar el posicionamiento de los países del área andina respecto a la cuantificación de las emisiones de metano entérico y óxido nitroso, así como generar estrategias para la mitigación de su efecto en relación con la lechería de doble propósito. La meta es crear una base institucional que permita realizar cuantificaciones de gas metano entérico y óxido nitroso para plantear objetivamente cambios posibles en los distintos sistemas de producción lechera de doble propósito, en los países miembros de los coejecutores.

Los objetivos son los siguientes:

1. Caracterización biofísica y socioeconómica de los sitios de producción de ganado de leche en los países del consorcio.
2. Determinación de las emisiones de metano (CH_4) entérico y óxido nitroso (N_2O) en los sistemas de producción bajo estudio (testigo local vs. alternativas mejoradas) y en cada sitio piloto del consorcio.
3. Evaluación de las estrategias de alimentación para el mejoramiento de los sistemas de producción animal, con énfasis en la producción de leche y la mitigación del efecto de las emisiones de gas metano entérico y óxido nitroso al ambiente.
4. Desarrollo de escenarios de mitigación de las emisiones de gas metano entérico y óxido nitroso, utilizando alternativas mejoradas de producción en sistemas de ganadería de leche para cada sitio piloto del consorcio.
5. Fortalecimiento de las capacidades de investigación de las emisiones de gas metano entérico y óxido nitroso en los países del consorcio.

3. METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1. Caracterización biofísica y socioeconómica de los sitios de producción de ganado de leche

La actividad fue efectuada en 2015 por consultores locales. Se recolectaron datos de las características ambientales, geográficas, sociales, económicas y productivas de zonas representativas de la ganadería de los Andes en los países coejecutores del proyecto, que fueron registrados en un informe (Anexo 1). Las zonas seleccionadas fueron el altiplano de la Paz - Oruro (Bolivia), el altiplano de Cundinamarca y Boyacá (Colombia), la Sierra de Carchi, Chimborazo y Bolívar (Ecuador); y en Taraco, Mañazo y Cabanillas, del altiplano puneño (Perú). Esta información sirvió para precisar los criterios de selección de los sitios piloto para los experimentos de cuantificación de las emisiones de metano entérico y óxido nitroso (componente 2), así como contribuir para contrastar las prácticas tradicionales de producción ganadera con las prácticas estratégicas de alimentación con potencial para la reducción de emisiones (componente 3 y 4).

3.2. Determinación de las emisiones de metano entérico y óxido nitroso en los sistemas de producción lechera

3.2.1. Ensayos de metano entérico

Los ensayos de cuantificación de metano entérico tuvieron como objetivo implementar la metodología para capturar y medir este gas, así como contrastar las emisiones de los sistemas tradicionales y los mejorados de producción lechera en la región andina. Para este fin, se aplicó la técnica del trazador de hexafluoruro de azufre (Berndt et al., 2014) acondicionada a las condiciones ambientales y materiales locales disponibles (ver manual de procedimientos referido en el Anexo 1). Los ensayos fueron llevados a cabo en Perú y Colombia. En Perú se evaluó un sistema intensivo de engorde de ovinos, un sistema lechero tradicional (vacunos en pasto natural) y un sistema lechero mejorado (vacunos en pasto cultivado). En Colombia la cuantificación se realizó contrastando dos tipos de suplementación (tradicional y estratégica) en

un sistema lechero típico. Los equipos de investigación en cada país aplicaron la técnica de cuantificación de acuerdo a criterios y condiciones propias. Las principales diferencias se precisan en el Anexo 2. Los protocolos experimentales de los ensayos pueden verse en el Anexo 3.

a. Ensayo con ovinos bajo engorde intensivo (Perú)

El ensayo se llevó a cabo en la Unidad Metabólica de Ovinos, perteneciente a la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se utilizó 10 ovinos de raza Junín, de entre 27 y 39 kg de peso vivo al inicio del ensayo. Los ovinos fueron sometidos a un periodo de adaptación a las condiciones de confinamiento, por aproximadamente un mes, pues provenían de un régimen de pastoreo extensivo; y luego a un ciclo de cuatro periodos experimentales (llevados a cabo a fines de marzo, abril, mayo y junio de 2017). Cada uno de estos periodos consistió en 21 días de adaptación a la dieta y 12 días de colección de muestras de metano entérico. Los tratamientos consistieron en dos raciones con diferentes niveles de carbohidratos no estructurales (30% y 50%), bajo un diseño de sobrecambio, de modo que los animales alternaron raciones en cada periodo, consumiendo una misma ración en dos periodos. Cada día de muestreo se tomaron dos submuestras de gas para luego determinar, por cromatografía de gases, las concentraciones de metano y SF₆ (Anexo 3).

Durante la evaluación, además de la colección de muestras de metano entérico, se midió el peso de los animales, el consumo de materia seca y la digestibilidad aparente de fibra detergente neutra (FDN), con el método de colección en bolsas fecales.

b. Ensayo con vacunos en sistema tradicional (Perú)

El ensayo se llevó a cabo en la Cooperativa Agrícola San Francisco de Chichausiri, en Junín. Se colectó muestras de 12 vacas criollas con diverso grado de cruzamiento con Brown Swiss (15 años de cruce), con un peso promedio de 418 ± 53 kg, y que se encontraban con cría en pie. La colección de muestras se ejecutó por siete días consecutivos, tanto durante la época de lluvias (abril) como la seca (agosto). Las vacas pastoreaban en pastos naturales identificados como pajonales, por la vegetación predominante (sus características nutricionales se encuentran en el Anexo 5). Los animales pasaron por periodos de adaptación al uso de los elementos de colección de gas: dos semanas durante la época de lluvias y una semana durante la época seca. También fueron adaptados al consumo de marcador de dióxido de titanio (TiO₂), diariamente durante los

seis días previos a la colección, y luego durante el periodo de colección. La dosis fue de 25 g por día, suministrados en cápsulas de gelatina, vía oral, con el uso de lanzabolos. Cada día de muestreo se tomaron dos submuestras de gas para luego determinar, por cromatografía de gases, las concentraciones de metano y SF₆ (Anexo 3).

c. Ensayo con vacunos en sistema mejorado (Perú)

El ensayo se llevó a cabo en el Instituto Regional de Desarrollo (IRD-Sierra) perteneciente a la UNA La Molina, en Jauja (Junín). Se colectó muestras de 11 vacas Brown Swiss, con un peso promedio de 497 ± 67 kg y alrededor de los 45 días de lactación. La colección de muestras de gas emitido se ejecutó por ocho días consecutivos durante la época de lluvias (marzo), y siete días durante la época seca (agosto). Las vacas se encontraban en un régimen de pastoreo de dos horas diarias en un campo de avena (disponibilidad 3.2 TM MS/ha) y cuatro horas diarias en un campo de alfalfa (2.1 TM MS/ha), además de recibir suplementos de concentrado dos veces al día, a razón de 1.0 kg MS/animal/día. Los animales pasaron por periodos de adaptación al uso de los elementos de colección de gas por cuatro semanas durante la época de lluvias, y dos semanas durante la época seca. También fueron adaptados diariamente al consumo del marcador de dióxido de titanio (TiO₂) durante los seis días previos a la colección y luego durante los días de colección, bajo una dosis de 25 g por día. El marcador fue ofrecido mezclado con el concentrado. Complementariamente a las emisiones de metano, se evaluó el consumo de alimento, la producción de leche y la digestibilidad de la dieta, como elementos para la discusión de resultados. Cada día de muestreo se tomaron dos sub-muestras de gas para luego determinar, por cromatografía de gases, las concentraciones de metano y SF₆ (Anexo 3).

d. Ensayo con vacunos al pastoreo con suplementación tradicional y estratégica (Colombia)

El ensayo se llevó a cabo en el Centro de Investigación Tibaitatá, perteneciente a Corpoica, ubicado en Mosquera, Cundinamarca (Colombia). Se colectó muestras de 10 vacas Holstein de 240 ± 55 días de edad, con un peso de 638 ± 94 kg y en etapa de producción. Las vacas pastoreaban en praderas de kikuyo, con disponibilidad de forraje de 1.7 TM/ha y bajo una frecuencia de pastoreo de 37 días, luego del rebrote. Los animales se dividieron en dos grupos, alternando el tipo de suplementos (tradicional vs. estratégica), ofreciéndoles al día 1 kg por cada 5 litros de leche, repartido en dos momentos del día, entre los meses de agosto y noviembre de

2017. El experimento se desarrolló en cuatro periodos (entre junio y diciembre), con 15 días de adaptación a la dieta y cinco días de colección de muestras de metano. Cada día de muestreo se tomaron dos submuestras de gas para luego determinar por cromatografía de gases, las concentraciones de metano y SF₆ (Anexo 3). Se midió complementariamente la producción y calidad lechera, así como el consumo voluntario, tanto por el método de oferta y rechazo como por el del marcador de óxido crómico (Cr₂O₃). Este se suministraba en dos dosis diarias de 5 g en pellets de papel remojado con glicerina, ofrecidos junto con el concentrado, durante 10 días en cada periodo experimental.

3.2.2. Ensayos de óxido nitroso

Los ensayos de cuantificación de óxido nitroso tuvieron como objetivo implementar la metodología para capturar y medir este gas, así como contrastar las emisiones de las áreas de pastoreo, entre sistemas tradicionales y mejorados de producción lechera en la región andina. Para este fin, se aplicó la técnica de la cámara estática (Klein y Harvey, 2015) acondicionada a las condiciones ambientales y materiales locales (ver manual de procedimientos en el Anexo 1). Se desarrollaron dos ensayos en Perú, uno en un sistema tradicional (pasto natural) y otro en un sistema mejorado (pasto cultivado), ambos en la Cooperativa Agrícola San Francisco de Chichausiri, en Junín (ver protocolo en Anexo 4). El área experimental para el ensayo de sistema tradicional fue un pajonal característico (gramíneas altas), con historia de pastoreo de vacunos y de condición regular a buena; mientras que el área para el ensayo de sistema mejorado fue una pastura cultivada con la asociación *rye-grass* inglés (*Lolium perenne*) con trébol blanco (*Trifolium repens*). En ambos ensayos se trabajó en una parcela de 320 m², con calles de 2 m, bordes de 3 m y 16 subparcelas de 2 m², divididas en dos secciones de la misma área, una para la toma de muestras de suelo y otra donde se ubicaba la cámara. La colección de muestras se desarrolló en simultáneo para ambos ensayos, por 10 días dentro de un periodo de seis semanas y en dos momentos de la época seca (meses de mayo-junio y agosto-septiembre). Las cámaras fueron instaladas un día antes del inicio de la colección de muestras; estas solo permanecían cerradas durante los momentos de colección.

Durante el primer periodo de evaluación se dividió el campo en dos: la mitad de las cámaras fueron rociadas con 1 litro de orina, asemejando la eyeción de una vaca promedio; mientras la otra mitad permaneció como control. En el segundo periodo de evaluación, a sugerencia de la doctora Marta Alfaro (INIA Remehue, Chile), se realizaron al azar los tratamientos (con y sin orina), aplicándolos tanto al interior de la cámara como en la porción de suelo para muestreo.

Cada día de colección en ambos periodos, al mediodía, se tomaron tres muestras de gas de cada cámara –a los 0, 20 y 40 minutos posteriores a su cierre–, las que fueron analizadas por cromatografía de gases para determinar la concentración de óxido nitroso (Anexo 4). Asimismo, los días de colección se tomaron medidas auxiliares para la determinación de la humedad, densidad y temperatura, concentración de nitratos y amonio en el suelo, y precipitación.

Los resultados de emisiones acumuladas de N-N₂O del segundo periodo fueron analizados bajo un diseño completamente al azar, con arreglo factorial 2 x 2, para determinar el efecto ($p < 0.05$) del sistema (tradicional vs. mejorado) y la incorporación de nitrógeno urinario (control vs. orina). Se efectuó una interpolación lineal para obtener las emisiones de los días en los que no se efectuaron muestreos (Hoeft et al., 2012). Se eliminaron las cámaras cuya lectura del primer día se perdió o cuya pendiente de la relación tiempos de muestreo y concentraciones (N₂O en ppm) tuvo un $R^2 < 0.80$, mostrando poca linealidad en la emisión (Breuer et al., 2000). Asimismo, se eliminaron las cámaras con más de tres días de muestreo que presentaran baja linealidad en la emisión. Las emisiones acumuladas resultan de promediar la suma de emisiones diarias (34 días de ensayo) de cada cámara, tanto las medidas como las interpoladas.

3.3. Evaluación de estrategias y desarrollo de escenarios de mitigación de metano entérico

La evaluación de estrategias y desarrollo de escenarios de mitigación de metano entérico (componentes 3 y 4) se realizó en dos etapas: una de capacitación presencial y reuniones virtuales, y otra basada en un taller de consolidación de resultados con los participantes de los cuatro países (ver programas en Anexo 6). Con los resultados del taller se produjo un documento consolidado (Anexo 1). Estas estrategias se basaron en mejoras dentro del sistema de alimentación del ganado (por ejemplo, pastos y suplementos con mejor calidad nutricional o variedades y estrategias de manejo que den mayores rendimientos), que se pensaba podían incidir en la reducción de emisiones de metano entérico y que fueran aplicables en las zonas de estudio.

Durante la primera etapa se llevó a cabo el taller “Mitigación de gases de invernadero. Uso de modelos de simulación para la evaluación de estrategias de alimentación”, con el objetivo de capacitar en el uso del modelo de simulación. Y también tres reuniones virtuales, entre mayo y septiembre, con cada equipo de los coejecutores de INIAP, INIAF, Corpoica e INIA, con los siguientes objetivos:

- Uniformizar criterios y conceptos sobre la influencia de la ganadería en el cambio climático y las nociones de estrategias de mitigación.
- Plantear la línea base de la realidad ganadera en cada región.
- Identificar y evaluar, bajo el criterio de expertos locales, las potenciales estrategias de mitigación de metano entérico, basadas en ajustes a la base tradicional de alimentación animal.
- Recopilar información forrajera y ganadera para el planteamiento de escenarios de mitigación con el software LIFE-SIM.

La segunda etapa se realizó en el taller de trabajo presencial “Identificación, simulación y evaluación de estrategias de alimentación para mitigar las emisiones de metano entérico en ganadería andina”, del 3 al 5 de octubre, en las oficinas de IICA de Lima (Perú). En ese taller los participantes propusieron un escenario de base tradicional (BT) en la alimentación del ganado lechero en su país y al menos dos escenarios con estrategias (ET) potenciales para su mitigación. Estos escenarios fueron planteados en el software LIFE-SIM. Se priorizaron aquellos que respondían mejor en los indicadores de emisiones, considerando que también se obtuvo información respecto a indicadores económicos y productivos.

La precisión en el desarrollo de escenarios de mitigación se fortaleció con el ajuste a la herramienta LIFE-SIM, de simulación de sistemas de producción lechera. Este ajuste se desarrolló a través de un modelo externo y con los mismos principios del LIFE-SIM, trabajado en Excel, lo que permitió contrastar los resultados experimentales de emisiones de metano entérico con la robustez del modelo para predecirlas.

Este modelo posee cuatro componentes: animal, forraje, suplementos y ambiente. Cada uno incluye procesos específicos sobre la utilización del consumo voluntario de la materia y el uso de la energía y proteína en relación con los requerimientos de mantenimiento, producción y preñez, así como para la estimación de metano entérico durante el proceso de producción de leche. Los cálculos detrás de estos procesos se han hecho utilizando ecuaciones de estimación encontradas en la literatura de nutrición animal.

El modelo plantea un rango de estimaciones basado en cuatro ecuaciones de predicción de metano (Blaxter y Clapperton, 1965; Chamley et al., 2015), sobre un periodo de treinta días, lo que permitió conseguir resultados, determinísticos o con variabilidad, para ser comparados con los valores obtenidos en los experimentos ejecutados en la región andina. Este ajuste permite utilizar información puntual (pocos días) del periodo experimental. En cambio, LIFE-SIM exige información a nivel anual, y la comparación entre las emisiones proyectadas y reales no sería posible debido a la corta duración experimental.

Los detalles de estructura interna y funcionamiento del módulo se encuentran en los Anexos 1 y 7.

3.4. Fortalecimiento de las capacidades de investigación y contribución a las políticas públicas

El fortalecimiento de capacidades se realizó mediante los siguientes mecanismos:

- Actividades de capacitación y visitas técnicas
- Implementación de capacidades físicas de investigación
- Publicación de documentos técnicos
- Publicación de contenidos en la plataforma virtual
- Generación de proyectos de investigación vinculados

El aporte de la investigación a la formulación de políticas públicas para la mitigación de gases efecto invernadero se dio a partir de los eventos de divulgación de los resultados del proyecto, con la presencia de los actores clave (ministerios de Ambiente y Agricultura, institutos de investigación, ONG, academia, sector privado y cooperación técnica) en cada uno de los países coejecutores. Los eventos contaron con paneles de discusión en los que los especialistas de los ministerios de Agricultura y Ambiente, institutos de investigación agraria y la academia dieron sus puntos de vista sobre los avances y pasos a seguir para la implementación de las políticas de mitigación en ganadería, desde la perspectiva de sus campos de acción.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización biofísica y socioeconómica de los sitios de producción de ganado de leche en los países del consorcio

Las principales particularidades de los sistemas productivos lecheros ubicados en la región altoandina de los países del consorcio se resumen en el Cuadro 1, y se detallan en el informe de caracterización, así como en el informe del taller de estrategias de mitigación (Anexo 1).

Los sistemas lecheros andinos se distinguen por producir mayormente en alturas entre los 2500 hasta cerca de los 4000 m s. n. m., con un bajo nivel de tecnificación, bajo pastoreo extensivo y vinculado a pequeños productores, que poseen pocas cabezas de ganado, en poca superficie. Un sector que representa a la mayoría de los ganaderos de su país (salvo Colombia, donde hay mayor cantidad de medianos productores dedicados a lechería). Se distinguen dos realidades productivas marcadas. La primera es típica de Ecuador y Colombia, donde la mayor parte de la crianza se centra entre los 2400 a 3500 m s. n. m., bajo precipitaciones constantes durante el año, temperaturas promedio de 13.5 °C y producción promedio por lactancia superior a los 2000 litros, en sistemas de pastos naturalizados (*Cenchrus clandestinus*). Esta realidad contrasta con la de Bolivia y Perú, donde una mayor parte de la lechería ocurre por encima de los 3500 m s. n. m., bajo una menor precipitación, con una época extremadamente seca y que reduce considerablemente la disponibilidad de forraje, y praderas nativas con una alta diversidad de especies. Estas condiciones limitan la producción alrededor de los 1500 litros por campaña.

Cuadro 1. Características de los sitios de producción lechera en países andinos

Atributo	Bolivia	Colombia	Ecuador	Perú
Región	Región altoandina			
Altura (m s. n. m.)	3500 a 3800	2500 a 4000	2400 a 3500	3500 a 4300
Clima	12.5°C, 72% HR, 300 – 350 mm	13.5°C, 81% HR, 500 – 1500 mm	13.3°C, 77% HR, 500 – 2000 mm	9.5°C, 66% HR, 500 – 600 mm (Ej. Puno)
Sistema de alimentación	Alfalfa verde (lluvias), pasto natural (seca), afrechillo de trigo y heno de cebada	Pastoreo en kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>) 50 a 70 días, balanceado comercial	Pastoreo en kikuyo (<i>Cenchrus clandestinus</i>) y holco (<i>Holcus lanatus</i>)	Pasto natural Henos (eventual en época seca)
Ganado	Criollo y mestizos 95%	Holstein 76%	Criollo y mestizos 98%	Criollos y mestizos 87%
Producción lechera (litros)	1470 (210 días) (Ej. Oruro)	4260 (305 días) (Ej. Cundinamarca)	2103 (340 días) (Ej. Pichincha)	1600 (200 días) (Ej. Puno)
Productores	55% pequeños 30% medianos	27% pequeños 37% medianos	56% pequeños	80% pequeños

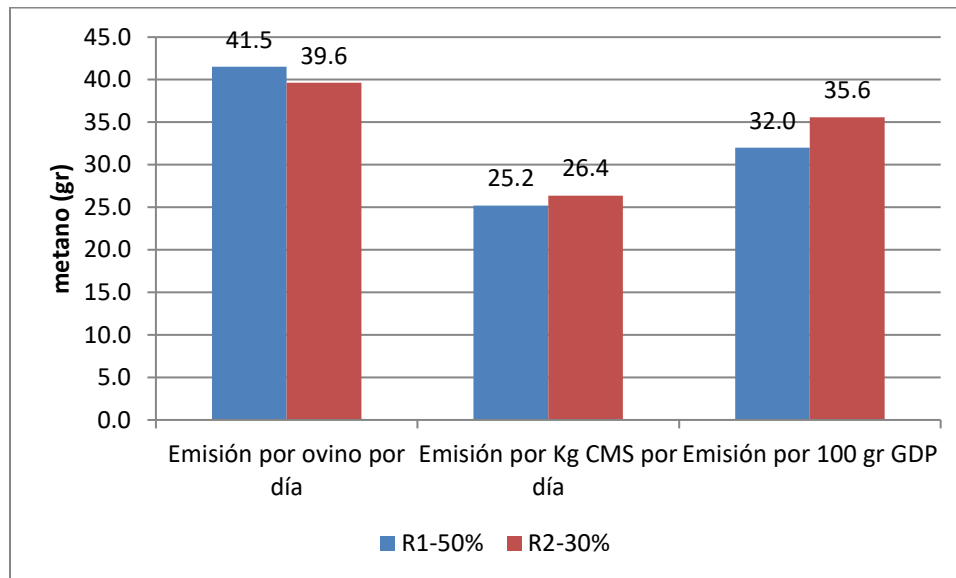
4.2. Determinación de las emisiones de metano entérico y óxido nitroso en los sistemas de producción lechera

4.2.1. Ensayos de metano entérico

a. Ensayo con ovinos (Perú)

Los resultados consolidados del experimento de ovinos se muestran en el gráfico 1.

Gráfico 1. Emisiones de metano entérico en el engorde intensivo de ovinos con dos niveles de carbohidratos no estructurales (50% vs. 30%)



* CMS: consumo de materia seca. GDP: ganancia diaria de peso

Los resultados preliminares muestran que las emisiones promedio diarias de ovinos se encuentran por encima de las reportadas por la literatura para esta especie (Pinares-Patiño, 2008; Broucek, 2014). Estas emisiones podrían deberse a características propias del ganado Junín, que es una raza generada en condiciones de altura y bajo una alimentación de forrajes de poca calidad nutricional. Otra opción es que podrían relacionarse con la tasa de pasaje del capilar, que fue mayor a lo usado comúnmente en la literatura, haciendo que las condiciones de captura de gas fueran menos comparables con las de otros ensayos.

Los niveles de carbohidratos no estructurales no parecen afectar la emisión diaria de metano ni la emisión por kilogramo de materia seca consumida. Esto indica que la energía consumida del alimento sería uno de los factores más relacionados con la producción de metano, dado que las dietas son isoenergéticas.

La emisión por cada 100 g GDP resulta mayor en la dieta con 30% CNE que en la dieta con 50% CNE, lo que demostraría la capacidad de los CNE para modificar la fermentación ruminal a favor de la producción de propionato, el incremento de bacterias fermentadoras de almidón y la reducción de fuentes de hidrógeno, que explicarían la reducción de emisiones de metano (Wanapat et al., 2015).



Foto 1. Colocación de elementos de colección de metano entérico en ovinos (UNA La Molina).

b. Ensayos con vacunos (Perú)

Los resultados consolidados de los dos ensayos con vacunos se muestran en el Cuadro 2, en el que se comparan las emisiones del ensayo bajo un sistema tradicional de producción (pasto natural) con las del ensayo en un sistema mejorado (pastura).

Cuadro 2. Consumo, producción de leche y emisiones de metano en vacunos alimentados bajo sistema tradicional y mejorado en los Andes de Perú

Parámetro	Sistema tradicional		Sistema mejorado	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
CMS (kg/d)	9.3	10.4	13.2	9.7
Kg leche/vaca/d	3.1	2.0	13.1	10.0
g CH ₄ /vaca/d	213	257	322	274
g CH ₄ /kg CMS	22.9	24.7	24.3	28.2
g CH ₄ /kg leche*	68.0	126.0	24.6	27.5
Y _m (%)	7.3	7.9	7.8	8.9

*Leche corregida a un mismo nivel de energía, 749.5 kcal/kg. CMS: Consumo de materia seca estimado con el uso de dióxido de titanio (TiO₂) como marcador externo. Y_m: Fracción de la energía bruta convertida en metano, considerando 55.65 MJ/kg de CH₄.

La mayor productividad de leche en el sistema mejorado se debe al mayor consumo de materia seca, a la mayor calidad nutricional del forraje y a los suplementos de concentrado de alto valor nutricional.

Las emisiones halladas para vacunos se encuentran dentro de los rangos para dichas especies, aunque la emisión de las vacas en sistemas naturales resulta más cercana a la emisión de ganado de carne (Johnson y Johnson, 1995). Las emisiones por animal en el sistema tradicional resultan menores respecto al sistema mejorado. Esto puede deberse al menor tamaño y peso de los animales, y al menor consumo de materia seca (Anexo 5), que es el factor más determinante para las emisiones de metano. Se observa también que la emisión por kilo de leche corregida por energía es tres a cuatro veces la emisión por litro respecto al sistema mejorado, en función a la época del año. Este parámetro contempla la eficiencia del animal para transformar la energía consumida en leche. Y al analizar la baja calidad nutricional y consumo del forraje del sistema tradicional, se ratifica que las mejoras de la eficiencia en los sistemas productivos pueden convertirse en alternativas de mitigación. Según estos resultados una sola vaca del sistema mejorado produciría al día cuatro a cinco veces lo que una vaca del sistema tradicional; por lo tanto, en términos de producción de leche, reemplazar cinco vacas del sistema tradicional por una vaca en el sistema mejorado significaría reducir las emisiones en 70%, obteniendo la misma cantidad de leche. Esto implica no solo un cambio en el sistema de alimentación, sino también en la genética de los animales.



Foto 2. Pastoreo de vacunos en sistema mejorado, experimento de metano entérico (IRD, Junín, Perú).



Foto 3. Pastoreo de vacunos en sistema tradicional, experimento de metano entérico (Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri, Junín, Perú).

c. Ensayo con vacunos (Colombia)

Se utilizaron varias opciones para el manejo de los resultados (véase informe de experimento Colombia, Anexo 1), procurando eliminar aquellas que fuesen irracionales o implicaran errores en el proceso de colección, muestreo o método de cálculo. La opción más acorde con las emisiones reportadas por la literatura fue utilizar un rango de emisiones aceptables, entre 5.9 y 35.5 g CH₄/ Kg CMS (Hristov et al., 2018), eliminando la data anómala, reduciendo la variabilidad original y manteniendo la consistencia con niveles biológicos. En este rango se encuentra que la relación CH₄/SF₆ es de 1.4 en promedio, valor que podría usarse como un indicador de emisiones consistentes. Los resultados se muestran en el Cuadro 3.

La producción de metano no fue diferente en los tratamientos experimentales cuando se expresó en términos de emisiones por animal/día, por consumo de materia seca o respecto a la proporción de la EB consumida. Sin embargo, el grupo que recibió el suplemento comercial presentó una mayor producción de metano al expresarlo por kilogramo de leche corregida grasa respecto al grupo que recibió el suplemento estratégico (Tabla 11). Esta respuesta se explica por la mayor producción de leche de los animales que recibieron la suplementación estratégica.

Cuadro 3. Consumo, producción de leche y emisiones de metano en vacunos alimentados bajo sistema tradicional y mejorado en los Andes de Colombia

Parámetro	Suplementación	
	Comercial	Estratégica
CMS* (kg/d)	18.1	17.6
Kg leche**/vaca/d	12.8	13.4
g CH ₄ /vaca/d	329.3	334.8
g CH ₄ /kg CMS	20.8	20.3
g CH ₄ /kg leche**	30.6 ^a	26.5 ^b
% EB***	5.0	4.9

* Incluye consumo de forraje y concentrado, y considera consumo de forraje determinado por método agronómico. ** Corregida por grasa. *** Producción de metano respecto a la energía bruta consumida.

^{a,b} Letras diferentes dentro de fila, diferencias significativas entre tratamientos. ns: no significativo, *: $p < 0,05$.



Foto 4. Pastoreo de vacunos Holstein en campos de kikuyo, experimento de metano entérico (Centro de Investigación Tibaitatá, Bogotá, Colombia).

4.2.2. Ensayos de óxido nitroso

La primera etapa de la época seca mostró emisiones acumuladas de 358 mg N-N₂O/m² en el sistema tradicional y de 269 mg N-N₂O/m² en el periodo experimental (39 días). Se diferenciaron marcadamente las emisiones acumuladas del control con aquellas de las cámaras que recibieron orina, tanto en el sistema tradicional (156 vs. 535 N-N₂O/m²) como en el mejorado (171 vs. 441 N-N₂O/m²), evidenciando el alto impacto de la orina en la emisión. Los picos de emisión, al igual que en la siguiente etapa, se aprecian en el tratamiento con orina y ocurren desde el momento de la aplicación. Sin embargo, son más altos entre los días 5 y 10, y persisten hasta el día 18, con una dinámica que es común en varias pasturas (Bowatte et al., 2018). No es posible unificar ni hacer una comparación estadística entre las magnitudes de emisión de las etapas debido a sus diferencias de diseño y de asignación de unidades experimentales.

En la segunda etapa de la época seca, el sistema tradicional (238 mg N-N₂O/m²) y el sistema mejorado (260 mg N-N₂O/m²) no presentan diferencias significativas ($p < 0.05$) en la emisión acumulada de óxido nitroso durante el periodo experimental (34 días), a pesar de existir diferencias notorias en los picos de emisión luego de la aplicación de la orina (Gráfico 2). Este comportamiento de las emisiones es consistente con otros ensayos en los que pastos naturales y cultivados comparten áreas geográficas (Nichols et al., 2016), por lo que son necesarios estudios más detallados que permitan entender este comportamiento. Las similitudes entre sistemas muestran la posibilidad de que los sistemas mejorados se constituyan como una estrategia de mitigación, por su capacidad de producir más forraje emitiendo lo mismo que un pasto natural. Sin embargo, es necesario incorporar en el análisis los impactos de la frecuencia de pastoreo, riego y fertilización que afectarían las emisiones.

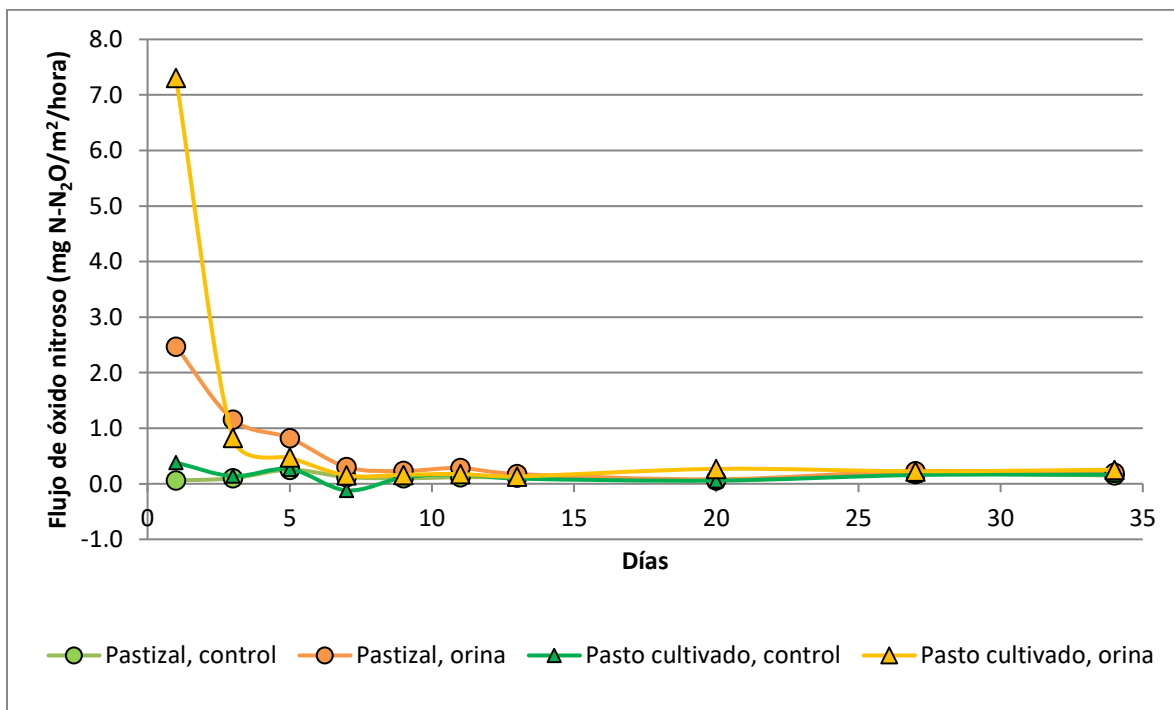
Los picos de emisiones (Gráfico 2) persisten desde la aplicación de orina hasta el quinto día post incorporación. Esta respuesta se asemeja a la de suelos desnudos sobre los que se aplica orina, pues la mayoría de pasturas muestran picos ligeros el día de la aplicación; solo se ven picos altos sólo tras eventos de lluvia (Bowatte et al., 2018). Esto puede deberse al poco aprovechamiento del nitrógeno (en forma de amonio) por parte de la vegetación, debido a la baja temperatura y escasez de agua, que limitan su capacidad de captura de nutrientes y crecimiento, así como una mayor actividad de organismos nitrificadores.

La respuesta de los sistemas a la aplicación de orina es la esperada (Cuadro 4): una mayor emisión acumulada que los suelos sin aplicación. Al desaparecer los picos, el flujo de emisiones

se estabiliza a niveles basales. La respuesta es similar para ambos sistemas, posiblemente por las características ambientales y geográficas que comparten.

Las magnitudes de las emisiones de época seca de los controles resultan 10 a 100 veces más altas que las emisiones promedio anuales en otros sistemas con pastos nativos. Se ubican en el rango de emisión de pasturas con mayor manejo –es decir, fertilizadas–, bajo pastoreo intensivo, con irrigación o alta humedad (Núñez et al., 2007; Yang et al., 2015; Nichols et al., 2016). Esto podría tener que ver con la temporalidad, pues comparamos medidas hechas en un momento específico con medidas anuales. También la cercanía de las parcelas a fuentes de agua durante la época lluviosa evidenciaría una historia de irrigación previa. Las emisiones de óxido nitroso, sin embargo, son en general muy variables en el tiempo y en el espacio (Liebig et al., 2005), en especial si provienen de suelos de pastos naturales y altamente heterogéneos. Los pastos montanos de Perú (3,200 – 3,700 m s. n. m.) han presentado, en ciertos casos, emisiones de magnitudes similares a las halladas en el experimento y mayor variabilidad que en otros ecosistemas (Teh et al., 2014). Esta variabilidad podría corroborarse realizando experimentos que cubran una mayor área de estudio.

Gráfico 2. Emisiones de óxido nitroso durante periodo experimental en pastos naturales y pastos cultivados



Cuadro 4. Diferencias en emisiones acumuladas de N-N₂O entre tratamientos con y sin incorporación de orina

Tratamiento	Emisión acumulada (mg N-N ₂ O/m ² en 34 días)	
	Sistema tradicional	Sistema mejorado
Control	102.2 ^a	92.6 ^m
Orina	316.4 ^b	427.3 ⁿ

^{a,b} Existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos dentro del sistema tradicional.

^{m,n} Existen diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos dentro del sistema mejorado.

En el análisis de factores que contribuyen a los picos de emisión de N₂O se observó que el espacio poroso lleno de agua (WFPS), no sería un elemento desencadenante, pues no se manifiestan cambios notables respecto al tratamiento control durante los picos de emisión (Gráficos 3 y 4). Los niveles de WFPS (%) en ambos sistemas son menores a 50%, por lo que la emisión de N₂O se atribuiría principalmente a procesos de nitrificación (Huang et al., 2014) y no a desnitrificación, que es el proceso que desencadena las mayores emisiones globales. Estos niveles de baja humedad del suelo se relacionan con la escasa precipitación, pues las evaluaciones se realizaron en época seca, notándose una subida en el WFPS (%) poco después de días sucesivos de lluvia al finalizar el periodo de muestreo, pero que no impactó el nivel de emisiones. Estos hallazgos muestran lo poco determinante que es la precipitación y humedad del suelo para desencadenar picos de emisión durante la época seca en pastos naturales andinos.

La concentración de amonio en el suelo es bastante mayor a la de nitratos. Ambos son indicadores de la dinámica del nitrógeno, aumentan simultáneamente con los picos de emisiones (Gráficos 5 y 6) y decaen junto con ellos. Existe una persistencia en el alto nivel de nitratos en los suelos de pasto cultivado varios días después de pasados los picos de emisión, pero que no interfiere con la dinámica de emisiones.

Gráfico 3. WFPS (%) y precipitación en pastos naturales

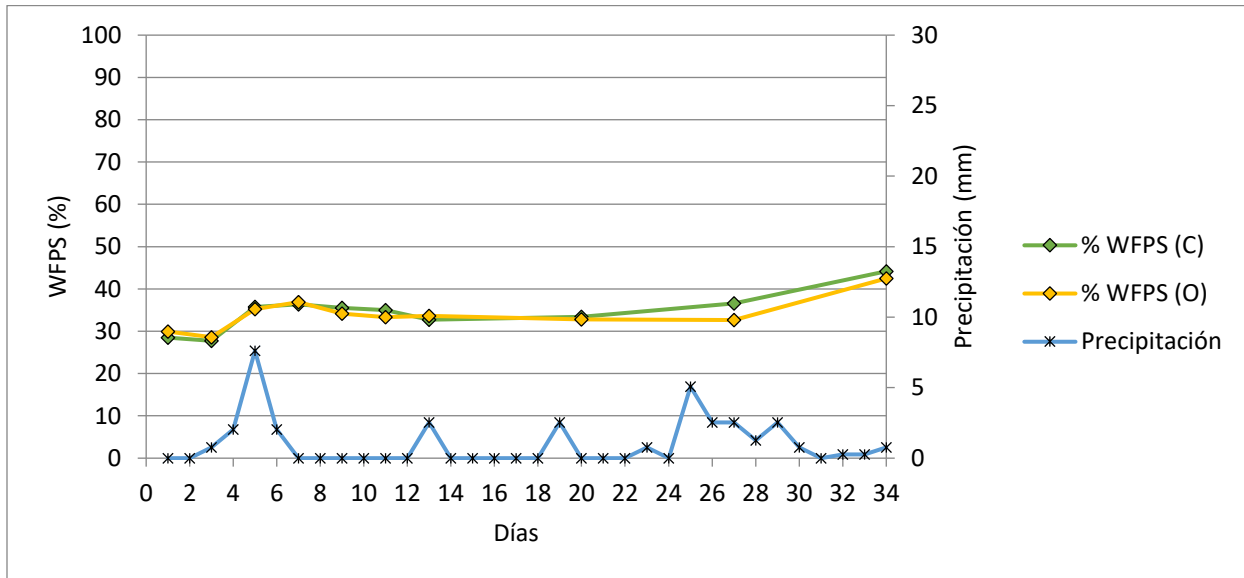


Gráfico 4. WFPS (%) y precipitación en pastos cultivados

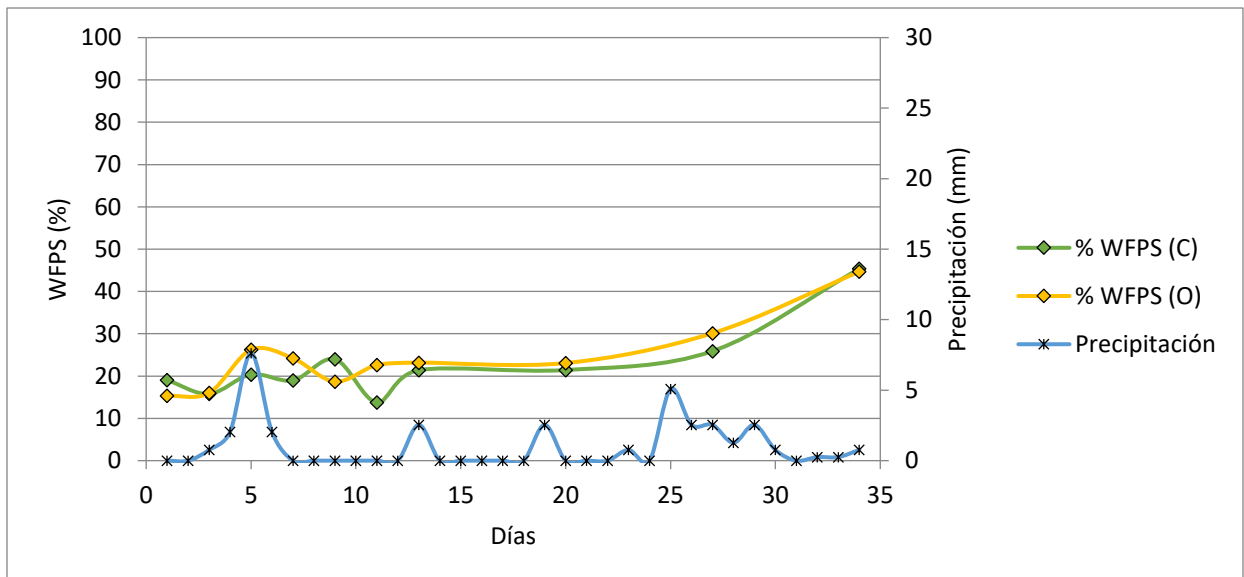


Gráfico 5. Concentración de nitratos y amonio en suelos de pastos naturales

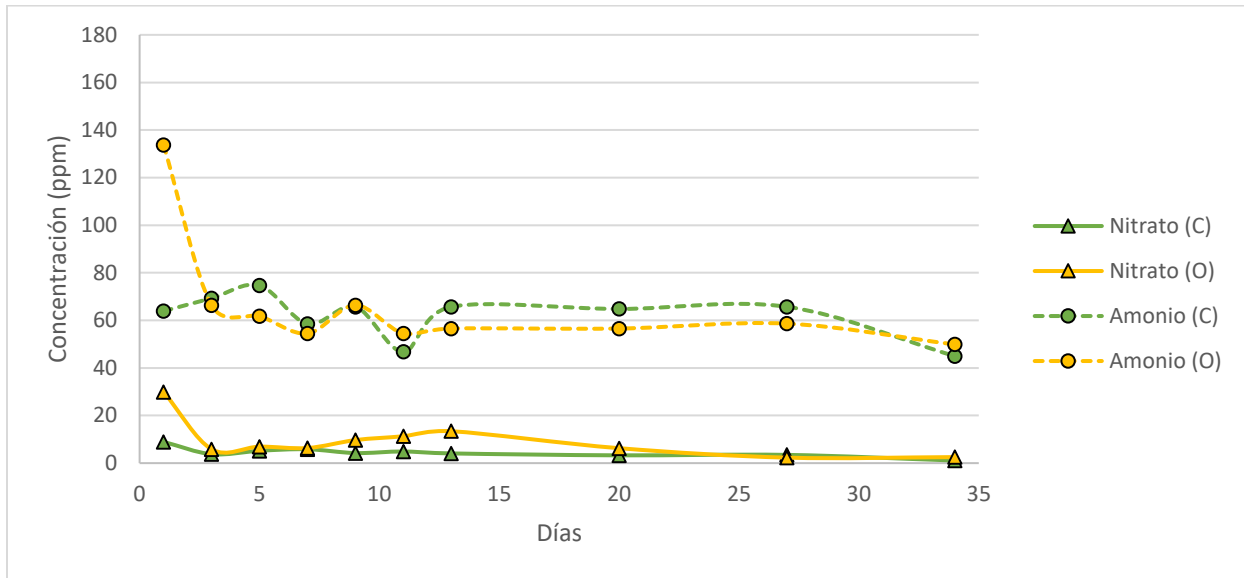
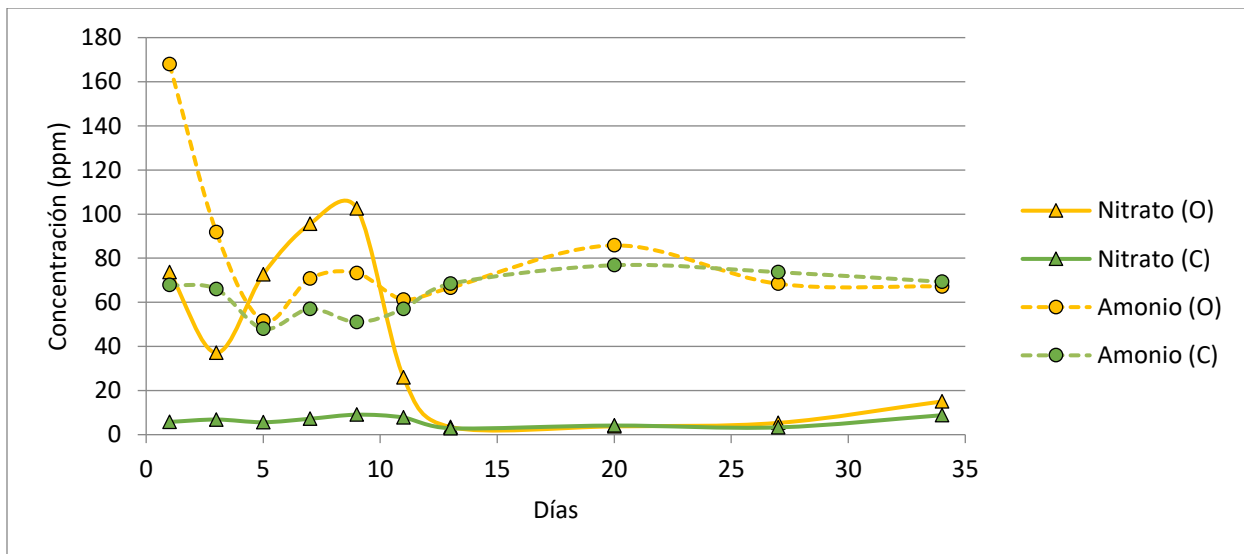


Gráfico 6. Concentración de nitratos y amonio en suelos de pastos cultivados



Al comparar el factor de emisión (IPCC) para manejo de estiércol en pastizales que se utiliza en los inventarios de Perú (0.02 kg N-N₂O/ kg N excretado) con el factor que nos resultaría al considerar el 1.1% de nitrógeno en la orina empleado en los ensayos (0.001 kg N-N₂O/ kg N excretado), obtenemos un factor mucho menor al teórico. Sin embargo, para hacer una

comparación más realista es necesario incorporar la dinámica del nitrógeno proveniente de las heces.



Foto 5. Cámaras estáticas instaladas en parcela de *rye-grass* trébol, sistema mejorado (Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri, Junín, Perú).



Foto 6. Colección de óxido nítrico en pastos naturales, sistema tradicional (Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri, Junín, Perú).

4.3. Estrategias y escenarios de mitigación de las emisiones de metano entérico (componentes 3 y 4)

En esta sección, se presentan las estrategias de alimentación con potencial de reducción de emisiones que fueron evaluadas en el contexto de la ganadería lechera en la zona andina de los países coejecutores (Cuadro 5). Se muestran los resultados de las cuatro estrategias de mitigación de metano entérico más relevantes, una para cada país coejecutor (Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú). Estos resultados son producto del desarrollo de las estrategias dentro de escenarios de mitigación, simulados a través del software LIFE-SIM. Los resultados de las otras estrategias evaluadas pueden observarse en el Anexo 1.



Foto 7. Trabajo durante taller de estrategias de mitigación, UNA La Molina.

Cuadro 5. Estrategias de mitigación evaluadas para los países andinos

País	Base tradicional	Estrategias	Área de intervención
Bolivia	Alfalfa Heno de cebada Afrechillo de trigo	Alfalfa Heno de cebada Ensilaje de cebada	Suplementación Forrajes conservados
		Alfalfa Heno de cebada Afrechillo de trigo Ensilaje de cebada	Forrajes conservados
		Alfalfa Heno de cebada Afrechillo de trigo Ensilaje de cebada Genética: potencial leche 2000 kg	Manejo de pasturas Forrajes conservados Suplementación Genética mejorada
Colombia	Kikuyo 56 d Ensilaje 8 kg Concentrado	Kikuyo 42 días Ensilaje 8 kg Reducción de concentrado	Manejo de pasturas Suplementación
		Kikuyo+ <i>rye grass</i> 42 días Riego Concentrado	Manejo de pasturas Riego
		Kikuyo 42 días Remolacha 4 Kg en sequia Concentrado	Manejo de pasturas Suplementación
		Kikuyo 42 días Alfalfa 4 kg Concentrado	Manejo de pasturas Suplementación
Ecuador	Sogueo	Pastoreo continuo Genética: Holstein Friesian x Brown Swiss	Manejo de pasturas Genética mejorada
		Pastoreo en mezcla forrajera Suplemento concentrado Genética: Holstein Friesian x Brown Swiss	Manejo de pasturas Suplementación Genética mejorada
		Paquete tecnológico: mezclas forrajeras, pastos de corte y forrajes conservados Mayor suplemento concentrado Genética: Holstein Friesian x Brown Swiss	Manejo de pasturas Suplementación Genética mejorada
Perú	Pastoreo en pradera nativa y alfalfa Heno de avena	Pastoreo en pradera nativa y alfalfa Heno de avena Heno de alfalfa	Manejo de pasturas Forrajes conservados
		Pastoreo en pradera nativa y alfalfa Ensilado de avena	Manejo de pasturas Forrajes conservados

4.3.1. Bolivia

Se determinó, para el caso de los Andes bolivianos del altiplano de La Paz - Oruro, que la estrategia de alfalfa al pastoreo, heno de cebada (2 kg/día en época seca) y ensilaje de cebada (5 kg/día en época seca) podrían reducir en 32% las emisiones de metano entérico respecto al sistema tradicional. Este consistía en pastoreo de alfalfa, heno de cebada (7 a 8 kg/día en época seca) y afrechillo de trigo (0.5 kg en época lluviosa y 1 kg en época seca). En ambos casos se comparan animales con el mismo potencial productivo. En el cuadro siguiente se muestran algunos parámetros productivos, económicos y de emisiones comparando la base tradicional con la mejor estrategia analizada.

Cuadro 6. Comparación de base tradicional y escenario de mitigación de metano para el altiplano La Paz - Oruro

Parámetros	Base tradicional (BT)	Estrategia de alimentación (ET1)
Producción de leche kg/lactancia	1,068	1,251
Promedio litro/día	5.0	5.9
Margen bruto	-25	249
Costo de producción \$/kg	0.45	0.23
Emisión metano total, kg/año	64	48
Metano g/kg leche	37	24

Las zonas de altiplano (Perú y Bolivia) se hayan en una estacionalidad marcada de época de lluvias y seca. Es en esta época cuando se limita la disponibilidad de forraje; sin embargo, los productores pequeños (5 a 15 vacas) no suelen practicar la conservación de forrajes debido al trabajo que implica, y porque –hasta cierto punto– se pueden permitir el descenso de condición de sus animales durante esa época para remontarla al inicio de lluvias. Los escenarios de mitigación para Bolivia plantean mejoras de la calidad nutritiva y digestibilidad de la dieta incorporando forrajes conservados y mejorando la utilización de concentrados. El éxito en el incremento de la producción lechera y la reducción de emisiones radicaría en su utilización en reemplazo de los recursos tradicionales, menos nutritivos y digestibles.

4.3.2. Colombia

Se determinó para el caso del altiplano colombiano –de Cundinamarca y Boyacá– que la estrategia planteada no lograba reducir las emisiones de metano respecto al sistema tradicional. Sin embargo, este escenario de pastoreo en kikuyo, con frecuencia de 42 días y suplementación de 8 kg de concentrado al día, elevaría en 7% la producción de leche y duplicaría el margen bruto del productor. El cuadro siguiente muestra los parámetros productivos, económicos y de emisiones, comparando el sistema tradicional con la mejor estrategia encontrada.

Cuadro 7. Comparación de base tradicional y escenario de mitigación de metano para el altiplano de Cundinamarca - Boyacá

Parámetros	Base tradicional (BT)	Estrategias de alimentación (ET1)
Producción de leche kg/lactancia	4,929	5,305
Promedio litro/día	13.5	14.5
Margen bruto	477	966
Costo de producción \$/kg	0.23	0.15
Emisión metano total, kg/año	157	168
Metano g/kg leche	32	32

Las estrategias planteadas para Colombia no logran reducir la intensidad de las emisiones. Esto tiene que ver con el margen reducido para las mejoras de la digestibilidad de los forrajes, pues el tope se halla entre el 62% y 70%. Sin embargo, las mejoras en la calidad nutritiva de los forrajes, mediante el manejo del tiempo de pastoreo luego del rebrote, sí tienen un considerable impacto en la producción lechera, llegando a duplicar el margen bruto del productor. Es decir, si bien las mejoras en la alimentación no resultan en una reducción sustancial de emisiones, sí pueden mejorar las ganancias de un productor y son tan amigables con el ambiente como si se empleara la práctica tradicional.

4.3.3. Ecuador

Se determinó para la región andina de Pichincha y Chimborazo que el uso de pasturas mejoradas (mezclas forrajeras), suplementación de concentrado y ganado mejorado permitiría la reducción del 65% de las emisiones de metano respecto a la base tradicional o sistema al sogueo —en el que se pastorea exclusivamente en kikuyales—, que es utilizado por la mayoría de los pequeños productores. El cuadro siguiente muestra los parámetros productivos, económicos y de emisiones, comparando la base tradicional de alimentación con la mejor estrategia encontrada.

Cuadro 8. Comparación de base tradicional y escenario de mitigación de metano para la región andina de Pichincha y Chimborazo

Parámetros	Base tradicional (BT)	Estrategias de alimentación (ET2)
Producción de leche kg/lactancia	1,403	2,527
Promedio litro/día	3.8	7.6
Margen bruto	205	493
Costo de producción \$/kg	0.21	0.26
Emisión metano total, kg/año	103	61
Metano g/kg leche	73	26

Las estrategias analizadas para Ecuador se enfocan en el aumento de la calidad del forraje y la suplementación con balanceado, que mejoran la digestibilidad, los nutrientes y energía de la dieta. Se logra así reducciones considerables en las emisiones, pues se reemplaza en gran medida al pasto nativo, que tiene una calidad inferior. Además, el potencial productivo de los animales deja un espacio para el incremento de la producción lechera. Dichas opciones, así como el uso de concentrado, que incrementan el contenido de energía-proteína en las dietas, estarían más al alcance de los productores con animales de mayor potencial productivo (alrededor de 4,000 kg/lactancia), que son quienes podrían asumir los elevados costos de producción de estas estrategias.

4.3.4. Perú

Se determinó para el altiplano de Puno que tanto la alimentación tradicional –basada en el pastoreo en pastos nativos y alfalfa, con el uso de heno de avena en época seca– como las estrategias evaluadas –que contemplaban suplementación con heno de alfalfa y ensilado– no presentan grandes diferencias en las emisiones de metano que producen. Sin embargo, es el sistema tradicional el que deja el mayor margen al productor. El cuadro siguiente muestra los parámetros productivos, económicos y de emisiones, comparando el sistema tradicional con la mejor estrategia encontrada.

Cuadro 9. Comparación de base tradicional y escenario de mitigación de metano para el altiplano de Puno

Parámetros	Base tradicional (BT)	Estrategias de alimentación (ET2)
Producción de leche kg/lactancia	1,480	1,511
Promedio litro/día	7.0	7.1
Margen bruto	197	132
Costo de producción \$/kg	0.12	0.16
Emisión metano total, kg/año	112	99
Metano g/l leche	41	38

En los sistemas del altiplano peruano ya se están reemplazando los pastos naturales por alfalfa dormante, lo que representa una estrategia mejorada que se empieza a hacer común entre los criadores. Esta mejora, asimilada en la base tradicional de alimentación, así como el bajo potencial productivo de los animales criollos, serían las razones del reducido impacto de las estrategias de mitigación.

4.3.5. Discusión general

Las estrategias de mitigación tienen carácter específico para cada realidad y son válidas para las condiciones y parámetros productivos similares a los del escenario base planteado. Como puede observarse en el informe consolidado, referido en el Anexo 1, las estrategias se han basado en mejoras del rendimiento de pasturas y en la suplementación de la dieta con concentrados y

forrajes conservados, así como en el manejo de pasturas. Pero aquellas estrategias que funcionan para un sistema productivo en un país no necesariamente funcionan bien en otro, y esto debido a la diversidad de los sistemas productivos propios de la región andina, además del estado de incorporación de las estrategias mejoradas en la forma tradicional de crianza.

En general, las estrategias planteadas son una guía preliminar de las posibles combinaciones de recursos productivos en cada zona, considerando algunos recursos foráneos (teniendo en cuenta su costo); especialmente para formular concentrados o suplementos en cada zona y que no sean traídos de otros lugares a costos elevados, lo que en todos los casos reduce el margen de ganancia de las explotaciones lecheras.

Las mejoras en la calidad forrajera tienen sus propias limitaciones debido al tope de digestibilidad al que llegan las pasturas, aproximadamente 62% a 70%. Cuando las estrategias de mitigación alcanzan estos límites, entran a tallar en los sistemas otras alternativas –como la adición de grasas a la dieta y el uso de inhibidores de metanogénesis, entre otros– que aún no están al alcance del productor común.

4.4. Fortalecimiento de las capacidades de investigación y su contribución en las políticas públicas (componente 5)

4.4.1. Resultados del fortalecimiento de las capacidades de investigación

A continuación se muestran los resultados de los diferentes mecanismos empleados para el fortalecimiento de las capacidades de investigación en GEI. Estos mecanismos han contribuido al capacitamiento de profesionales y público vinculado a la producción, investigación y planteamiento de políticas en los sectores ganadero y ambiental. Hubo un particular interés en capacitar a profesionales de los organismos coejecutores, en su mayoría institutos de investigación agraria. Ellos son los llamados a dar continuidad a la aplicación de las capacidades generadas en cuantificación de GEI, y en el planteamiento y evaluación de estrategias de mitigación en ganadería.

a. Capacitaciones y visitas técnicas

Cuadro 10. Capacitaciones y visitas técnicas

Fecha	Actividad	Resultado
16 al 20 de noviembre del 2015	Curso taller internacional: “Mitigación de gases de invernadero. Uso de modelos de simulación para la evaluación de estrategias de alimentación”, en el que se capacitó en el uso de la herramienta de simulación LIFE-SIM.	12 profesionales de Colombia, Ecuador y Perú capacitados en el uso de modelos para simular estrategias de alimentación.
15 de agosto al 16 de setiembre del 2016	Capacitación en la técnica de colección y cuantificación de metano entérico en la Universidad San Antonio Abad del Cuzco.	01 estudiante doctoral capacitado en la técnica de cuantificación de metano. 01 tesis doctoral.
02 al 08 de octubre del 2016	Capacitación en la técnica de colección y cuantificación de óxido nitroso en el INIA Remehue (Chile).	01 profesional capacitado en la técnica de cuantificación de metano. 02 tesis de maestría.
23 al 29 de octubre del 2016	Capacitación en la técnica de colección y cuantificación de metano entérico en el CATIE (Costa Rica).	02 estudiantes de maestría capacitados en la técnica de cuantificación de metano. 02 tesis de maestría.
07 al 16 de noviembre del 2016	Capacitación en la técnica de colección y cuantificación de metano entérico en el INIA Remehue (Chile).	01 estudiante de maestría capacitado en la técnica de cuantificación de metano. 01 tesis de maestría.
1 al 5 de marzo y del 3 al 9 de setiembre del 2017	Consultoría técnica del Dr. Nicolas diLorenzo (Universidad de Florida, Estados Unidos) a CORPOICA para afinamiento de la técnica de cuantificación de metano entérico.	Equipo técnico de CORPOICA obtiene mejor dominio de la técnica de cuantificación de metano (03 personas)

21 al 25 de agosto del 2017	Una visita técnica para intercambio de información y capacitación por parte de CORPOICA, por medio del ingeniero Edgar Mancipe, al experimento de campo en Perú	Equipos técnicos de Perú y Colombia intercambiaron conocimientos en metodologías de medición.
Setiembre - octubre 2017	Los tesisistas Jorge Medrano y Víctor Alvarado fueron capacitados en la Universidad de Hohenheim (Alemania) en análisis de digestibilidad de la materia orgánica (DMO) in vitro, fibra y determinación de consumo por marcador de titanio.	02 tesisistas de la UNALM capacitados en técnicas complementarias a la cuantificación de gases.
3 al 5 de octubre de 2017	Taller de "Identificación, simulación y evaluación de estrategias de alimentación para mitigar las emisiones de metano entérico en ganadería andina" (programa en Anexo 6) organizado por el proyecto, para fortalecer criterios técnicos para el diseño de estrategias de mitigación de metano entérico y su evaluación con ayuda de la herramienta LIFE-SIM.	12 profesionales de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú capacitados en evaluación de estrategias de mitigación.
6 al 11 de noviembre del 2017	Taller "Medición de metano entérico y óxido nitroso en sistemas de producción ganadera" (programa en Anexo 8) organizado por el proyecto. Buscó capacitar en los fundamentos de las técnicas de medición de metano entérico y óxido nitroso.	12 profesionales de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú capacitados en técnicas de cuantificación de gases.
Abril 2017 a febrero 2018	Capacitación en operación del cromatógrafo de gases para calibración y lectura de metano entérico y óxido nitroso, por parte de la consultora Marcela Vidalón.	02 técnicos, que operan equipos de laboratorio, capacitados en manejo de cromatógrafo de gases.



Foto 8. Participantes con canister de vacunos preparados por ellos mismos (Taller en medición de gases, UNA La Molina).

b. Documentos técnicos

El proyecto ha generado cuatro documentos técnicos (Anexo 1):

- “Manual de procedimientos de colección de gases para la estimación de emisiones de metano entérico y óxido nitroso de origen ganadero”. Detalla los aspectos prácticos de la elaboración de elementos de colección de gases, así como los procesos de acondicionamiento experimental y colección de gases, recopilando la experiencia de implementación de las metodologías en Colombia y Perú.
- “Mitigación de emisiones provenientes de la ganadería en la región andina”. Brinda un marco genérico de las emisiones ganaderas en los países de la región andina, muestra cómo evaluar y priorizar las estrategias de mitigación, e informa sobre las acciones a nivel de Estado para la reducción de emisiones ganaderas.
- Nota técnica: “Emisiones de metano entérico por ganadería lechera en zona altoandina”. Muestra los resultados de cuantificación de metano en el experimento de Perú.
- Nota técnica: “Cuantificación de las emisiones de metano entérico en vacas Holstein bajo condiciones de pastoreo en el trópico alto colombiano”. Muestra los resultados de la cuantificación de metano en el experimento de Colombia.

c. Publicación de contenidos en plataforma virtual

El proyecto creó un micro sitio web dentro del dominio de la web de FONTAGRO con la información de objetivos, estructura, equipo de investigación y noticias del proyecto. Es un espacio donde pueden publicarse noticias relacionadas a la medición, adaptación y mitigación de gases efecto invernadero, tanto de actividades conducidas por el proyecto como realizadas por otros medios en las instituciones coejecutoras. También se encuentra información sobre la red de investigadores generada, tanto ejecutores como colaboradores externos, y los documentos técnicos producidos.

El link de la web es el siguiente:

<https://www.fontagro.org/micrositios/proyecto-emision-de-gases-efecto-invernadero-14653/>

d. Capacidades físicas instaladas

Se implementaron dos unidades de investigación (UNA La Molina y CORPOICA) con capacidad técnica y física instalada para la colección y el análisis cromatográfico de gases de sistemas ganaderos.

e. Generación de proyectos de investigación vinculados

Este proyecto ha generado capacidades físicas y técnicas que refuerzan otros proyectos de investigación en la línea de ganadería y cambio climático. En el caso de CORPOICA han reforzado la Meta C09516: “Un modelo de balanceo de raciones validado para el manejo eficiente de forrajes en sistemas de producción de lechería especializada”. Y en la UNA La Molina ha complementado las investigaciones en “Innovación en la evaluación de sistemas silvopastoriles de Selva Alta peruana como estrategia de adaptación y mitigación al cambio climático”, financiado por PNIA (260,000 USD), y el proyecto “Composición química de forrajes y emisión de metano entérico”, financiado por DAAD y CONCYTEC (80,000 USD). Además, le ha permitido a la UNA La Molina desarrollar otras investigaciones con fondos nacionales; como “Emisión de metano entérico en toretes de carne al pastoreo bajo condiciones de selva”, financiado por UNA La Molina y UNAS (40,000 USD), y “Emisión de metano entérico por alpacas en sistemas pastoriles”, financiado por CONCYTEC (20,000 USD).

El equipo técnico del INIA (Perú), con la colaboración de la UNA La Molina, obtuvo financiamiento del PNIA, BID y Banco Mundial, para dos propuestas de investigación: “Medición de metano entérico en bovinos lecheros alimentados con *rye grass*/trébol y alfalfa en la EEA Santa Ana - Huancayo en época lluviosa” (USD 120,000.00) y “Cuantificación de la emisión de metano entérico en alpacas y ovinos alimentados con pastos naturales alto andinos” (USD 95,000.00).

El equipo técnico de INIAP (Ecuador) ha presentado el proyecto de investigación “Medición de óxido nitroso en maíz para ensilaje bajo diversos métodos de fertilización” a la convocatoria INEDITA del Senescyt (USD 50,000.00), que actualmente se encuentra en fase de evaluación para otorgar financiamiento.

f. Capacidades de investigación en GEI provenientes de ganadería en los países andinos

Las instituciones de investigación agraria de los cuatro países coejecutores poseen las capacidades físicas y técnicas para desarrollar investigaciones de medición de metano entérico y óxido nitroso; sin embargo, en el caso de Ecuador y Bolivia no cuentan con los equipos de cromatografía que les permitirían cerrar el ciclo del proceso de determinación de emisiones. Los técnicos han señalado el interés de investigar en estrategias de adaptación y mitigación al cambio climático, y proponen una serie de instituciones nacionales e internacionales involucradas con dichos fines (Anexo 9). Ellos indican también que son las universidades y ministerios de Agricultura y Ambiente los que estarían más interesados en los resultados de dichas investigaciones. No obstante, encuentran en la falta de financiamiento, de capacidades técnicas y de interacción con los tomadores de decisiones los principales limitantes para que los conocimientos en medición, mitigación y adaptación de gases efecto invernadero se consoliden en las políticas nacionales.

4.4.2. Actividades de contribución a la formulación de políticas públicas en mitigación para el sector ganadero

Los eventos de divulgación, para la contribución a las políticas de mitigación para el sector ganadero, se llevaron a cabo en 2018 en los cuatro países coejecutores: el 18 de mayo en

Ecuador, 21 de mayo en Colombia y el 23 de mayo en Bolivia y Perú. El programa base del evento en Perú puede verse en el Anexo 10, y los resultados de los paneles se sintetizan en el Cuadro 12.

Las políticas de mitigación en la mayoría de países andinos se encuentran enmarcadas principalmente en políticas y estrategias contra el cambio climático y en las contribuciones nacionales determinadas (NDC), que son llevadas a la acción a través de planes, programas sectoriales (agricultura y ambiente) y proyectos nacionales. Sin embargo, existe aún la necesidad de una investigación más consensuada para determinar los factores de emisión con los estándares apropiados que requieren los estados. También de un mayor acceso a la información técnica que producen las universidades e institutos de investigación y una expansión de acciones de mitigación con un enfoque de intensificación sostenible, que considere la mejora productiva y económica de la ganadería para la facilitar la adopción –por parte de los productores– de prácticas que reduzcan las emisiones.

Cuadro 11. Síntesis de estatus y acciones a seguir en la implementación políticas públicas de mitigación de GEI en ganadería en la región andina.

País	Estatus de políticas y acciones vinculadas a la mitigación	Acciones futuras para continuar la implementación de políticas de mitigación
Bolivia	<ul style="list-style-type: none"> • Fuertes compromisos para eliminar la deforestación y promover la reforestación como medidas nacionales de alto impacto para la mitigación en el largo plazo. • Programas de asistencia técnica a ganaderos, pero que no se vinculan a una política de reducción de emisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Orientar las acciones de mitigación como acciones de intensificación sostenible de la ganadería, mostrando a los productores los beneficios respecto a la productividad. • Coordinar con las universidades la generación de una línea base en emisiones, así como ampliar el enfoque a otras especies de importancia nacional, como los ovinos. • Recopilar información nutricional de las praderas nativas para el planteamiento de estrategias de alimentación apropiadas con potencial de mitigación. • Generación de los espacios para discusión sobre estatus y objetivos de la investigación en mitigación.
Colombia	<ul style="list-style-type: none"> • Política contra el cambio climático - CONPESS 3700. • Estrategia Nacional de Desarrollo Bajo en Carbono. • NAMA de Ganadería Sostenible • Diversidad de investigaciones en cuantificación de gases que muestran alta variabilidad de emisiones respecto a las calculadas con lineamientos del IPCC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generar una agenda de investigación para estandarizar metodologías y generar factores de emisión, de modo que se tenga información científica válida que pueda aportar a las políticas. • Facilitar la divulgación rápida de resultados de las investigaciones.

Ecuador	<ul style="list-style-type: none"> • Proyecto de Ganadería Climáticamente Inteligente (GEF, MAE, MAG y FAO) en ejecución, que incluye – al finalizar– una propuesta de NAMA ganadero. • Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible (disminución de deforestación). • Propuesta Nacional de NDC para febrero del 2019 • Proyecto Nacional de Ganadería Sostenible (MAG), que propone prácticas racionales de pastoreo. • Investigación en forrajes nacionales por el INIAP. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor inclusión de actores en los procesos de validación de las emisiones nacionales cuantificadas. • Las entidades deben facilitar la publicación de información científica y bases de datos que ayuden a plantear factores de emisión o estrategias de mitigación. • Buscar financiamiento externo para investigación en GEI. El sector privado nacional ya está interesado. • Determinar las emisiones nacionales reales, como línea base para el planteamiento de estrategias de mitigación. • Trabajar en el relevo generacional de la actividad ganadera para la adopción de estrategias de mitigación en el largo plazo.
Perú	<ul style="list-style-type: none"> • Plan Nacional de Desarrollo Ganadero, que involucra la siembra de 43,000 ha de pastos cultivados, que constituye una estrategia de mitigación frente a los pastos naturales. • El Ministerio del Ambiente ha propuesto y trabaja en conjunto con el de Agricultura tres medidas de mitigación en ganadería para las NDC. • Los análisis de ciclo de vida han mostrado que la ganadería andina impacta 10 veces más que en otras regiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación de intervenciones con el CATIE en pastos degradados del trópico. • Investigaciones en factores de emisión, que respondan directamente a las necesidades de los inventarios nacionales. • Desarrollo de acciones de mitigación basadas en la “intensificación sostenible de la agricultura”.

4.5. Difusión de las actividades y resultados del proyecto

Las actividades y resultados del proyecto han sido difundidos a través de reuniones, presentaciones, conferencias, participación de grupos de investigación y notas de prensa, involucrando como público objetivo a productores, académicos y tomadores de decisiones. En el Cuadro 11 se detallan las actividades de difusión del proyecto.

Cuadro 12. Participación en conferencias, eventos y grupos de investigación

Fecha	Actividad
14 de octubre del 2016	Presentación en el II Congreso Nacional de Ganado Vacuno de Carne, organizado por la asociación nacional de productores de carne bovina del Perú (FONDGICARV), con el tema “Ganadería sustentable y competitiva en el Perú: desafíos y oportunidades desde la salud animal y el ambiente”.
18 de agosto del 2017	Presentación del proyecto ante el Grupo de Trabajo Técnico de Seguridad Alimentaria y Cambio Climático (GTTSACC) del Ministerio de Agricultura (Perú), que es responsable de proponer una visión sectorial del cambio climático en los sistemas productivos agrarios del país y recomendar medidas orientadas a reducir la vulnerabilidad del agro y contribuir a la seguridad agroalimentaria. Ellos visitaron las instalaciones que la UNA La Molina tiene implementadas para el estudio de gases de efecto invernadero en ganadería.
Octubre 2017	Presentación del proyecto y experimento de metano entérico por parte del coordinador técnico, doctor Carlos Gómez, y los tesisistas ingeniero Jorge Medrano e ingeniero Víctor Alvarado, ante el equipo de investigación de la doctora Uta Dickhofer, en la Universidad de Hohenheim (Alemania).
13 de octubre del 2017	Presentación del tema “Gases de efecto invernadero. Restricciones y posibilidades dentro y fuera de la cadena productiva de carne”, en la que se incorporaron los avances del proyecto, en la primera Reunión Anual de la Cadena productiva en Ganadería de Carne, organizada por FONDGICARV.

15 de noviembre de 2017	Presentación del proyecto al grupo de investigación en forrajes Serida (España), con el que la UNA La Molina se encuentra trabajando proyectos conjuntos.
8 de febrero del 2018	Presentación del proyecto en la pasantía de Ganadería y Cambio Climático, organizada por la UNA La Molina y financiada por el PNIA, con el tema “Cuantificación de óxido nitroso” y una demostración de colección de gases en cámara estática.
22 y 23 de febrero del 2018	Presentación en el taller regional de las NDC, organizado por el IICA y el MINAGRI, sobre “Experiencia de cuantificación de N ₂ O en pasturas”, llevado a cabo en la EEA Vista Florida del INIA en Chiclayo.
13 al 15 de junio del 2018*	Presentación de la charla magistral: “Simulación de mitigación de metano proveniente de la ganadería de leche: escenario sierra-centro ecuatoriana”, durante el primer Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Agropecuaria “Fomentando la seguridad y soberanía alimentaria”, organizado por el INIAP en Quito, Ecuador.
5 de julio del 2018*	Presentación de “Emisiones de GEI en sistemas ganaderos lecheros en zona altoandina” en el webinar: “Alimentación y nutrición de bovinos: su relación con la productividad y emisiones de gases de efecto de invernadero en tres regiones de América Latina”, como invitados en la Plataforma Latinoamericana de Intensificación Sostenible de la Ganadería en LAC, coordinada por el CATIE.

*Comprometido para ejecutarse posteriormente al cierre del proyecto.

4.6. Impactos del proyecto

Los resultados de las investigaciones sobre emisiones de metano entérico y óxido nitroso constituyen información nueva, que no tiene precedentes, y que permite la comparación de sistemas típicos de producción lechera en los Andes sobre los 2500 m s. n. m., bajo las metodologías empleadas.

La realización de los experimentos ha permitido ajustar, tanto en Colombia como en Perú, los elementos y procedimientos de colección de gases, de acuerdo con la disponibilidad de materiales y las condiciones ambientales locales, dejando implementadas tecnologías que no existían en la región andina. También dejan la capacidad física instalada en CORPOICA para la cuantificación de metano entérico; y en la UNA La Molina, para la cuantificación de metano

entérico y óxido nítrico. Estas capacidades técnicas contribuirán en la elaboración de factores de emisión en cada país, que permitirán realizar inventarios con estimaciones más precisas de las emisiones ganaderas. También permitirán evaluar de manera tangible la capacidad de diversas estrategias y tecnologías para la mitigación de dichas emisiones.

Los institutos de investigación agraria de los países coejecutores, a través de sus profesionales participantes del proyecto, han sido capacitados en técnicas de medición de gases de efecto invernadero en los sistemas ganaderos, así como en el planteamiento y evaluación de estrategias de mitigación de metano entérico. Esto les brinda la posibilidad de realizar investigaciones en el tema y encontrar soluciones bajas en emisiones para el manejo alimenticio en sus localidades.

El proyecto ha permitido además afianzar la relación institucional con el Ministerio de Agricultura de Perú, que ha considerado al equipo técnico del IICA y de la UNA La Molina como apoyo en la elaboración de inventarios y cuantificación de emisiones para las contribuciones nacionales determinadas (NDC) en ganadería, así como para el proceso de estructuración del NAMA ganadero. El INIA y el Ministerio del Ambiente también han solicitado apoyo técnico del IICA para la implementación de mediciones de metano y óxido nítrico en el cultivo de arroz, que utiliza la misma técnica de colección de gases que se usó en las pasturas para el ganado.

Se han generado nuevos proyectos de investigación en cuantificación de GEI, elaborados por los profesionales del INIA, la UNA La Molina y el INIAP (Ecuador), que demuestran el conocimiento adquirido durante el proyecto. Gracias al proyecto, estos grupos de investigación ahora están en contacto con una red de investigadores colaboradores de Agri-Food Canada (Canadá), Universidad de Florida (Estados Unidos), INIA Remehue (Chile), Agri Business Group (Nueva Zelanda) y CATIE (Costa Rica), además de las entidades coejecutoras.

5. CONCLUSIONES

- Los sistemas ganaderos lecheros de la zona andina se caracterizan por una base forrajera de kikuyales (Colombia y Ecuador) y alta variedad de pastos nativos, en combinación con forrajes conservados durante la época seca (Bolivia y Perú). La crianza de ganado se realiza fundamentalmente entre los 2,500 y los 4,200 m s. n. m., con una mayor proporción de ganado con diverso grado de cruzamiento, manejado en su mayoría por pequeños productores.
- La intensidad de emisiones de metano entérico es menor en sistemas mejorados que en tradicionales en los dos experimentos de la zona andina, lo que demuestra la eficiencia de los sistemas mejorados para estos casos. En Perú los resultados obtenidos en sistemas basados en pasturas y pastos nativos fueron de 26.0 y 97.0 gr CH₄/ litro de leche, respectivamente; mientras que en Colombia la diferencia entre la suplementación estratégica y a la tradicional fue de 26.5 a 30.6 gr CH₄/ litro de leche.
- Las emisiones de óxido nitroso son similares en pastos de sistemas productivos tradicionales y mejorados (238 vs. 260 mg N-N₂O/m²/34 días) de la zona andina de Perú, durante la época seca, siendo la incorporación orina un factor determinante en elevar las emisiones acumuladas.
- Las estrategias de mitigación de metano entérico analizadas en este proyecto, basadas en ajustes de la alimentación animal, son particulares para cada país y sistema ganadero, y muestran la capacidad para contribuir en una reducción de 0.2% (Colombia), 32% (Bolivia) y 65% (Ecuador) de las emisiones por litro de leche producida, y de 5% (Perú) en las emisiones anuales, Todas estas porcentajes respecto a la base tradicional de alimentación planteada para cada país.
- El proyecto ha permitido capacitar a 22 profesionales en el planteamiento y evaluación de estrategias de mitigación de GEI de origen ganadero, y a 22 profesionales en diversos aspectos de la cuantificación de GEI, todos ellos provenientes de Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú.
- El avance en políticas de mitigación de la actividad ganadera requiere una línea base de emisiones con factores de emisión locales, rápida difusión de información y proyectos orientados a la intensificación sostenible de la ganadería.

6. BIBLIOGRAFÍA

Berndt, A., Boland, T. M., Deighton, M. H., Gere, J. I., Grainger, C., Hegarty, R. S., Iwaasa, A. D., Koolaard, J. P., Lassey, K. R., Luo, D., Martin, R. J., Martin, C., Moate, P. J., Molano, G., Pinares-Patiño, C., Ribaux, B. E., Swainson, N. M., Waghorn, G. C., & Williams, S. R. O. (2014). *Guidelines for use of sulphur hexafluoride (SF₆) tracer technique to measure enteric methane emissions from ruminants*. M. G. Lambert, ed. Wellington: Ministry for Primary Industries.

Blaxter, K. L., & Clapperton, J. L. (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition* 19, 511-522.

Bowatte, S., Hoogendoorn, C. J., Newton, P. C. D., Liu, Y., Brock, S. C., Theobald, P. W. (2018). Grassland plant species and cultivar effects on nitrous oxide emissions after urine application. *Geoderma* 323: 74–82.

Breuer, L., Papen, H., Butterbach-Bahl, K. (2000). N₂O emission from tropical forest soils of Australia. *Journal of Geophysical Research* 105 (D21): 26353-26367.

Broucek, J. (2014). Production of methane emissions from ruminant husbandry: a review. *Journal of Environmental Protection* 5: 1482-1493.

Johnson, K. A., & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science* 73: 2483-2492.

Hoeft, I., Steude, K., Wrage, N., Veldkampa, E. (2012). Response of nitrogen oxide emissions to grazer species and plant species composition in temperate agricultural grassland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 151: 34–43.

Hristov, A. N., Kebreab, K., Niu, M., Oh, J., Bannink, A., Bayat, A. R., Boland, T. M., Brito, A. F., Casper, D. P., Crompton, L. A., Dijkstra, J., Eugène, M., Garnsworthy, P. C., Haque, N., Hellwing,

A. L., Huhtanen, P., Kreuzer, M., Kuhla, B., Lund, P., Madsen, J., Martin, C., Moate, P. J., Muetzel, S., Muñoz, C., Peiren, N., Powell, J. M., Reynolds, C. K., Schwarm, A., Shingfield, K. J., Storlien, T. M., Weisbjerg, M. R., Yáñez-Ruiz, D. R., Yu, Z. (2018). Symposium review: Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models. *Journal of Dairy Science* 101:6655–6674.

Huang, T., Gao, B., Hu, X. K., Lu, X., Well, R., Christie, P., Bakken, L. R., Ju, X. T. (2014). Ammonia-oxidation as an engine to generate nitrous oxide in an intensively managed calcareous Fluvo-aquic soil. *Sci. Rep.* 4:3950.

Klein, C. A. M. & Harvey, M. J. (eds.) (2015). *Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines*. Wellington: Ministry for Primary Industries.

Liebig, M. A., Morgan, J. A., Reeder, J. D., Ellert, B. H., Gollany, H. T., Schuman, G. E. (2005). Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agricultural practices in northwestern USA and western Canada. *Soil & Tillage Research* 83: 25–52.

Nichols, K. L., Del Grosso, S. J., Derner, J. D., Follett, R., Archibeque, S., Stewart, C. E., Paustian, K. (2016). Nitrous oxide and methane fluxes from cattle excrement on C3 pasture and C4-dominated shortgrass steppe. *Agriculture Ecosystems and the Environment* 225: 104–115.

Núñez, P., Demanet, R., Matus, F., Mora, M. L. (2007). Grazing management, ammonia and nitrous oxide emissions: a general view. *J. Soil Sc. Plant Nutr.* 7(3): 61-99.

Pinares-Patiño, C. S. (2008). Measurement of methane emission from sheep by the sulphur hexafluoride tracer technique and by the calorimetric chamber: failure and success. *Animal* 2(1): 141–148.

Teh, Y. A., Diem, T., Jones, S., Huaraca Quispe, L. P., Baggs, E., Morley, N., Richards, M., Smith, P., Meir, P. Methane and nitrous oxide fluxes across an elevation gradient in the tropical Peruvian Andes. *Biogeosciences* 11: 2325–2339.

Wanapat, C., Cherdthong, A., Phesatcha, K. & Kang, S. (2015). Dietary sources and their effects on animal production and environmental sustainability. *Animal Nutrition* 1(3), 96-103.

Yang, X., Chen, H., Gong, Y., Zheng, X., Fan, M., Kuzyakov, Y. (2015). Nitrous oxide emissions from an agro-pastoral ecotone of northern China depending on land uses. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 213: 241–251.

7. ANEXOS

Anexo 1. Documentos anexos externos

A continuación se listan los documentos que se anexan en archivos externos al informe (con los códigos), en los que se detallan los procesos, aspectos metodológicos y resultados de los componentes del proyecto.

1. A1_MANUAL: Manual de procedimientos de colección de gases para la estimación de emisiones de metano entérico y óxido nítrico de origen ganadero.
2. A2_MITIGACION: Mitigación de emisiones provenientes de la ganadería en la región andina.
3. A3_NOTAPER: Nota técnica: “Emisiones de metano entérico por ganadería lechera en zona altoandina”. Muestra los resultados de la cuantificación de metano en el experimento realizado en Perú.
4. A4_NOTACOL: Nota técnica: “Cuantificación de las emisiones de metano entérico en vacas Holstein bajo condiciones de pastoreo en el trópico alto colombiano”. Muestra los resultados de la cuantificación de metano en el experimento realizado en Colombia.
5. A5_CROMACH4: Informe de las pruebas para desarrollar metodología de cuantificación cromatográfica de metano y SF₆.
6. A6_CROMAN2O: Informe de las pruebas para desarrollar metodología de cuantificación cromatográfica de óxido nítrico.
7. A7_INFOEST: Informe de los resultados del taller de estrategias de mitigación
8. A8_INFOMODEL: Informe de ajuste de herramienta de modelación para condiciones de ganadería en región andina.
9. A9_PROYALP: Proyecto de investigación en cuantificación de metano entérico en alpacas.
10. A10_PROYVAC: Proyecto de investigación en cuantificación de metano entérico en vacunos.
11. A11_BECA: Resoluciones de becarios y constancia de estudiantes involucrados en el proyecto y que conducen ensayos que le dan continuidad.

-
12. A12_SUST: Acta de sustentación de la tesis de Víctor Alvarado, tesista del proyecto.
 13. A13_ART: Artículos con resultados del proyecto y sometidos a revistas científicas.
 14. A14_INFOCOL: Informe de desarrollo experimental del experimento de cuantificación de metano realizado en Colombia.

Anexo 2. Diferencias metodológicas en la elaboración de elementos y en el proceso de colección de gases

Elemento o proceso diferenciado	Experimento Colombia	Experimento Perú
Diseño y vacío del canister	Se utiliza un canister de forma rectangular, con codos de 90 °C, cuyo volumen es de 2170 ml. y con el codo unido al adaptador por medio de una manguera de ¼". Se maneja una presión de vacío de -711 mbar. Este diseño evita que la manguera de la línea del cabezal se doble y presente fallas.	Se utiliza un canister en forma de V (con doblez hecho con calor), cuyo volumen es de 2000 ml., con el codo y adaptador unidos entre sí. Se maneja una presión de vacío de -688 mbar. El diseño permite un ajuste más pegado al cuello del animal.
Ajustes de capilares de flujo	Para realizar el corte del capilar se utiliza un cortador de disco manual. La longitud del capilar es de 10 cm. Para el ajuste de la tasa de paso del capilar se utiliza la succión del aire por el vacío, que se genera en un canister rectangular, con una presión de -711 mbar.	Para realizar el corte del capilar se utilizan una lima metálica y unas pinzas para pelar cables. La longitud de los capilares es de 5 cm. Para el ajuste de la tasa de paso del capilar se utiliza N ₂ , almacenado en un canister cilíndrico (31.5 x 9.5 cm) con una presión de 800 mbar.
Utilización de filtro	No se utiliza filtro de partículas. El capilar se encuentra en la parte media de la línea.	Se utiliza filtro para partículas y el capilar se encuentra unido a este.
Saturación de canister y toma de submuestras	Los canister son saturados con N ₂ . Se tiene adaptadores independientes para la toma de las submuestras. Antes de muestrear un canister, se limpia con N ₂ los adaptadores. Las submuestras son almacenadas en vacutainer (volumen recolectado por muestra 7 ml).	Los canister son saturados con N ₂ . Se tiene adaptadores independientes, con silicagel, para la toma de las submuestras. Antes de muestrear un canister, se limpia el adaptador purgando 2 veces, extrayendo muestras (50 ml) del contenido. Las submuestras son almacenadas en viales de 22 ml.
Marcador para cálculo de producción de heces	Se utiliza óxido de titanio, en dos dosis por día, en cantidad de 10 gramos/vaca/día. Para suministrar el marcador a los animales se preparan dulces en papel, y se remojan en melaza y/o glicerina cruda.	Se utiliza óxido de titanio, en una dosis por día, en cantidad de 25 gramos/vaca/día. Para suministrar el marcador se mezcló con el alimento o se suministró en cápsulas de gelatina, con ayuda de un lanza bolos.

Anexo 3. Protocolo de ensayos de cuantificación de metano entérico en Perú

La cuantificación de metano entérico en Perú se realizó en tres ensayos: uno a realizarse con ovinos en la UNA La Molina, y los otros con vacunos en sistemas de producción lechera tradicionales (pastos naturales) y mejorados (pastos cultivados).

1. Ensayo con ovinos en la UNA La Molina

Lugar de ejecución: Unidad metabólica de ovinos, perteneciente a la Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Animales experimentales: Se utilizaron 10 ovinos machos enteros Junín, con un peso promedio de 32-46 kg y edad promedio de 1.5 años.

Instalaciones y equipos: Los animales fueron alojados de manera individual en jaulas metabólicas de madera (53 x 96 x 143 cm), dotadas de comederos externos de madera individuales, así como de bebederos con agua a libre disponibilidad.

Tratamientos: Se evaluaron dos raciones, obtenidas utilizando una formulación al mínimo costo por programación lineal, que cubra los requerimientos proteico y energético del ovino, teniendo en cuenta la adición de los dos niveles de carbohidratos no estructurales:

T1: alimento con 50% CHOS no estructurales

T2: alimento con 30% CHOS no estructurales

Tabla 1. Fórmula de las dietas experimentales

Ingredientes	T1-50% CNE	T2-30% CNE
	%	%
Pancamel (80/20)	38.4	77.5
Maíz	42.7	
Torta de soya	15.7	18.4
Sal	0.5	0.5
Suplemento de vitaminas y minerales	0.3	0.3
Subproducto de trigo	2.3	3.2
Total kg	100.00	100.00

Tabla 2. Contenido nutricional de las dietas

Contenido nutricional (base seca)	T1	T2
NDT %	74.2	60.4
Proteína cruda %	15	15
Fibra cruda %	12.5	22.7
FDN %	26.6	45.1
Grasa %	2.5	1.2
CNE %	50	30

Tabla 3. Secuencia experimental

Ovinos	1.º periodo		2.º periodo		3.º periodo		4.º periodo	
	Adaptación a la dieta (20 días)	Muestreo (10 días)	Adaptación a la dieta (20 días)	Adaptación a la dieta (20 días)	Adaptación a la dieta (20 días)	Muestreo (10 días)	Adaptación a la dieta (20 días)	Muestreo (10 días)
5	T1		T2		T1		T2	
5	T2		T1		T2		T1	

Procedimiento experimental: Comprendió cuatro periodos. Las submuestras de aire de los canister se tomaron dejando un día (días 1, 3, 5, 7, 9) y los días 2, 4, 6, 8 y 10 se tomaron las muestras de heces.

Parámetros a evaluar: Peso inicial y final de los ovinos, consumo kg/ms/día (método de colección total cada 24 horas por 5 días), digestibilidad aparente de FDN, emisión de CH₄ por animal (g/ovino/d), CH₄ g/kg, MS consumida, CH₄ g/kg PV, CH₄ g/kg ganancia de peso y conversión alimenticia.

Diseño experimental: Se empleó un diseño completamente al azar, 2 tratamientos, 5 repeticiones y 4 periodos de alimentación, con un arreglo factorial de sobrecambio doble. La comparación de medias se hará mediante la prueba de Tukey.

2. Ensayo con vacunos en pasto cultivado

Lugar de ejecución: Instituto Regional de Desarrollo de Sierra (IRD-Sierra) de la UNALM, ubicado en la localidad de San Juan de Yanamucllo, distrito de San Lorenzo, provincia de Jauja, departamento de Junín.

Duración del ensayo: Se efectuó en dos meses, febrero y agosto de 2017, correspondientes a la época de lluvias y seca, respectivamente. Los ensayos *per se* tuvieron una duración de 15 días por temporada, 8 días de adaptación y 7 días de colección de muestras de gas.

Animales: Se utilizaron 12 vacas de la raza Brown Swiss múltiparas. Estas se encontraban dentro de los primeros 90 días de lactación para el mes de febrero, y alrededor de los 270 días en el mes de agosto.

Alimentación: Las vacas recibieron una dieta diaria compuesta por 1 kg de concentrado y pastoreo en campos de avena (*Avena sativa*) y en otros casos de alfalfa (*Medicago sativa*), manejados con cerco eléctrico, por 2 y 4 horas al día aproximadamente. Las emisiones de CH₄ entérico fueron medidas los últimos siete días de cada periodo, mediante la técnica de gas marcador hexafluoruro de azufre. Para ello se contaba con doble juego de los elementos de colección de gases.

Parámetros a evaluar: Se tomaron medidas de los siguientes parámetros:

- Composición química (proteína, FDN y ceniza), materia seca y energía bruta del forraje, obtenidos por simulación manual y del concentrado.
- Digestibilidad de la materia orgánica, a base de proteína fecal.
- Producción de leche y producción de leche corregida a energía (ECM).
- Composición química de la leche.
- Consumo con indicador externo (dióxido de titanio).
- Consumo de materia orgánica.

Cálculo de emisiones: Las emisiones de metano entérico (CH₄Q, g/d) serán calculadas con las mediciones de concentración de las muestras de SF₆ y CH₄ de los canisters (SF₆C y CH₄C), las concentraciones de SF₆ y CH₄ de los blancos (SF₆B y CH₄B), la tasa de permeación de SF₆ predeterminada (SF₆Q) y la masa molar de los gases (MM) según la siguiente ecuación:

$$\text{CH}_4\text{Q} = [\text{SF}_6\text{Q}] \times [(\text{CH}_4\text{C} - \text{CH}_4\text{B}) / (\text{SF}_6\text{C} - \text{SF}_6\text{B})] \times [\text{CH}_4\text{MM} / \text{SF}_6\text{MM}]$$

Variables respuesta:

- Emisiones de metano por día (g CH₄/vaca/día).
- Emisiones de metano por unidad de consumo (g CH₄/kg MO y g CH₄/kg MS).
- Emisiones de metano por unidad de leche corregida (g CH₄/kg de leche corregida)
- Producción de CH₄ como % de la EB ingerida (Y_m).

3. Ensayo con vacunos en pasto natural

Lugar de ejecución: Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri, en el distrito, provincia y región Junín, ubicada a 4100 m s. n. m.

Duración del ensayo: Se llevó a cabo en dos épocas: la lluviosa, en febrero de 2017, y la seca, en julio de 2017.

Animales: Se seleccionaron 12 vacas criollas cruzadas con Brown Swiss, multíparas y en lactación.

Parámetros a evaluar: Se tomó la medida de los siguientes parámetros:

- Disponibilidad de pasto y censo agrostológico.
- Composición química (proteína, FDN y ceniza), materia seca y energía bruta del forraje obtenido por simulación manual.
- Digestibilidad de la materia orgánica, a base de proteína fecal.
- Producción de leche y producción de leche corregida a energía (ECM).
- Composición química de la leche.
- Consumo de forraje con indicador externo (dióxido de titanio).
- Consumo de materia orgánica.

Variable respuesta: Las mismas que en el caso del pasto cultivado.

Determinación cromatográfica de metano (CH₄) y hexafluoruro de azufre (SF₆)

La concentración de CH₄ (ppm) y SF₆ (ppt) en los viales submuestreados fue determinada por cromatografía gaseosa.

En el experimento realizado en Perú se inyectó manualmente 0.5 ml de aire procedente del vial a un cromatógrafo de gases modelo 7890B, marca Agilent Technologies. La temperatura del inyector fue de 200 °C, con una presión de 11.2 psi y un flujo de 8.12 ml/min. La temperatura del horno fue de 30 °C, con un tiempo de espera de 4.5 min. Se utilizó una columna GS-GasPro (marca Agilent Technologies) de 30 m y diámetro interno de 0.32 mm. El CH₄ se determinó con un detector de ionización de flama (FID), con una sensibilidad ≤ 1.4 pg. La temperatura del detector fue de 250 °C, y se utilizó helio como gas portador (10 ml/min), hidrógeno como gas combustible (40 ml/min) y aire como gas oxidante (350 ml/min). La medición de SF₆ se realizó en el mismo cromatógrafo, gracias a un divisor de flujo que conectaba la columna a los dos detectores, ya que el SF₆ requería ser determinado con un micro detector de captura de electrones (ECD). La temperatura del detector fue de 200 °C utilizándose nitrógeno como gas portador (30 ml/min). Así mismo, se realizó la calibración con un estándar (Scott-Marrin Inc.) de concentración conocida, 48.7 ppm de CH₄ y 237.9 ppt de SF₆. El tiempo de retención del CH₄ y SF₆ fue de 1.5 y 2.9 minutos respectivamente.

En el experimento realizado en Colombia para la detección de metano, se inyectó manualmente 1 ml de aire procedente del vial a un cromatógrafo de gases Perkin Elmer Autosystem XL. La temperatura del inyector fue de 150 °C. La temperatura del horno fue de 40 °C durante 2.5 minutos y rampa 20 °C/minuto hasta los 70 °C y 1 min de espera. Se utilizó columna capilar de aluminosilicato, referencia # N931-6361 PE-MOLESIEVE marca Perkin Elmer de 30 m y diámetro interno de 0.53 mm. El CH₄ se determinó con un detector de ionización de flama (FID), a una temperatura de 250 °C, y se utilizó nitrógeno como gas portador (15 ml/min), hidrógeno como gas combustible (35 ml/min) y aire como gas oxidante (35 ml/min). Así mismo, se realizó la calibración con estándares Supelco con concentración variable entre 13.1 y 105.0 ppm, bajo condiciones ambientales definidas, temperatura de 20 °C y presión de 0.743 atm, y un tiempo de retención de 2.75 min.

En el caso de SF₆, se utilizó un cromatógrafo de gases marca Shimadzu GC-2014, en el que se inyectó manualmente 1 ml de muestra de aire. La temperatura del inyector fue de 150 °C. La temperatura del horno fue de 40 °C. Se utilizó columna capilar marca Restek Rt-M sieve 5A (40-60 mesh) de 30 m x 0.53 mm x 50 μ m con un flujo de 15 ml/min. Se calibró con estándares con concentración variable entre 8.1 y 61.3 ppt, preparados a partir de SF₆ al 99,9% comercializado por Linde, bajo condiciones ambientales de temperatura (20 °C) y presión atmosférica (0.743 atm). El tiempo de retención fue 7.25 min.

Una vez obtenidas las concentraciones de los gases, las emisiones se calcularon según las ecuaciones y método explicados en la guía de Berndt et al. (2014).

Anexo 4. Protocolo de ensayos de cuantificación de óxido nitroso realizados en Perú

Objetivo: Establecer la magnitud de las diferencias en los patrones de emisión de óxido nitroso durante la época de lluvias y la seca en dos sistemas de alimentación, uno bajo pastoreo en alfalfa y otro en praderas nativas.

Áreas de estudio: Sitios de pastos cultivados y naturales en la Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri

Metodología: Se tomaron muestras de aire para cuantificar el óxido nitroso en parcelas de 320 m² y representativas de cada sistema de alimentación. Estaban subdivididas en 16 subparcelas de 2 x 1 m con dos secciones, una para instalar la cámara estática para medir los flujos de emisión de óxido nitroso y otra para tomar muestras del suelo. Una vez estimada la hora de emisión promedio, cada día de muestreo, a dicha hora, se cerraban las cámaras y se tomaban 3 muestras de aire por cada una, en intervalos de tiempo de 0, 20 y 40 minutos, para poder determinar flujos de emisión del gas. El experimento duró 6 semanas en cada época, midiéndose 3 veces por semana durante la semana 1 y 2, y solo 1 vez por semana de las semanas 3 a la 6.

Tratamientos: Sin aplicación de orina o control (C) y con aplicación de 1 litro de orina por cámara (T1), solo al inicio de cada época experimental. Además, el tipo de sistema: tradicional o mejorado.

Diseño estadístico: Un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2x2) usando la prueba DLS para comparar las medias.

Parámetros a evaluar:

- Densidad aparente (de cada subparcela), concentración de nitratos y amonio (una muestra compuesta por cada dos subparcelas).
- Temperatura interna de la cámara.
- Temperatura del suelo. Una toma por parcela cada día de medición.
- Precipitación durante los periodos experimentales.
- Humedad del suelo y cálculo de espacios porosos llenos de agua (WFPS %).
- Nitrógeno en orina incorporada al suelo.

Determinación cromatográfica de óxido nitroso (N₂O):

La concentración de N_2O (ppm) en los viales submuestreados fue determinada por cromatografía gaseosa. Se inyectó manualmente 0.5 ml de aire procedente del vial a un cromatógrafo de gases modelo 7890B, marca Agilent Technologies. La temperatura del inyector fue de 200 °C con una presión de 11.2 psi y un flujo de 8.12 ml/min. La temperatura del horno fue de 30 °C con un tiempo de espera de 4 min. Se utilizó una columna GS-GasPro (marca Agilent Technologies) de 30 m y diámetro interno de 0.32 mm. El N_2O se determinó con un detector de captura de electrones (ECD). La temperatura del detector fue de 250 °C y se utilizó helio como gas portador (3 ml/min) y nitrógeno como gas *makeup* (30 ml/min). Así mismo, se realizó la calibración con un estándar (Scott-Marrin Inc.) de concentración conocida: 48.7 ppm de CH_4 y 237.9 ppt de SF_6 . El tiempo de retención del CH_4 y SF_6 fue de 1.5 y 2.9 minutos respectivamente.

Anexo 5. Información complementaria de experimentos de cuantificación de gases

A. Ensayo de cuantificación de metano entérico con ovinos (Perú)

Cuadro 1. Peso vivo promedio de ovinos en el periodo experimental

Parámetro	Inicio*	Primer periodo de colección		Segundo periodo de colección		Tercer periodo de colección		Cuarto periodo de colección	
		Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
		15-mar	26-mar	17-abr	28-abr	20-may	29-may	21-jun	02-jul
Peso promedio (Kg)	37.7	40.1	41.3	43.8	45.4	47.5	48.0	50.0	50.1

* Cada periodo corresponde a 11 días de colección de gases. Excepto el tercero, que consta de 9.

Cuadro 2. Consumo voluntario promedio de los ovinos

Parámetro	1er periodo de colección	2do periodo de colección	3er periodo de colección	4to periodo de colección
Consumo voluntario promedio (kg MS/día)	1.44	1.53	1.71	1.72

Cuadro 3. Ganancia de peso durante experimento con ovinos

Parámetro	1er periodo de colección	2do periodo de colección	3er periodo de colección	4to periodo de colección
Ganancia de peso (kg/ovino/día) promedio	0.11	0.15	0.06	0.13

B. Ensayo de cuantificación de metano entérico con vacunos (Perú)

Cuadro 4. Disponibilidad de forraje y caracterización nutricional de la dieta

Atributo (base seca)	Pasto natural		Pasto cultivado	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
Biomasa disponible (kg/ha)	3300	2448	2618	1899
MO (g/kg)	947	961	925	930
PC (g/kg)	110	72	200	161
FDN (g/kg)	677	660	360	396
Digestibilidad de la MO (g/kg)*	478	476	721	650
EM (MJ/kg)*	6.5	6.6	10.1	9.1

*Estimado a partir de la producción de gases (Hohenheim gas test). MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra Detergente Neutra; EM: Energía metabolizable.

Atributo (base seca)	Concentrado	
	Lluviosa	Seca
MO (g/kg)	941	964
PC (g/kg)	92	159
FDN (g/kg)	291	320
Digestibilidad de la MO (g/kg)*	707	726
EM (MJ/kg)*	10.2	11.1

*Estimado a partir de la producción de gases (Hohenheim gas test). MS: Materia seca; MO: Materia orgánica; PC: Proteína cruda; FDN: Fibra Detergente Neutra; EM: Energía metabolizable.

Cuadro 5. Consumo y producción de leche

Atributo	Pasto natural		Pasto cultivado	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
CMS (kg/d)	9.3	10.4	13.2	9.7
CMO (kg/d)	8.8	10.0	12.3	9.1
Producción de leche* (kg/vaca/día)	3.1	2.0	13.1	10.0

*Leche corregida a un mismo nivel de energía, 749.5 kcal/kg. CMS: Consumo de materia seca, estimado con marcador externo dióxido de titanio.

C. Ensayo de cuantificación de óxido nítrico en pastos naturales y cultivados (Perú)

Cuadro 6. Caracterización de las propiedades físico - químicas de los suelos

PASTO NATURAL

DEPARTAMENTO : JUNÍN, DISTRITO: JUNÍN, PROVINCIA: JUNÍN, PREDIO: CHICHAUSIRI

REFERENCIA: H.R. 59024-073SC-17

FECHA: 20/06/2017

NUMERO DE MUESTRA		pH (1:1)	C.E (1:1) DS/M	CaCO ₃	MO	P	K	Análisis mecánico			Clase textural	CIC	Cationes cambiabiles					Suma de cationes	Suma de bases	% Sat. de bases
LAB	Claves			%	%	ppm	ppm	Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ H ⁺			
				%	%	meq/100 g														
4274	MC	5.67	0.1	0	10.92	32.3	414	47	33	20	Fr.	29.8	8.93	1.1	1.34	0.12	0.2	11.7	11.5	39

*La muestra de suelo para análisis se colectó durante el primer periodo de la época seca.

PASTO CULTIVADO

DEPARTAMENTO : JUNÍN, DISTRITO: JUNÍN, PROVINCIA: JUNÍN, PREDIO: CHICHAUSIRI

REFERENCIA: H.R. 60512-119C-17

FECHA: 22/09/2017

NUMERO DE MUESTRA		pH (1:1)	C.E (1:1) DS/M	CaCO ₃	MO	P	K	Análisis mecánico			Clase textural	CIC	Cationes cambiabiles					Suma de cationes	Suma de bases	% Sat. de bases
LAB	Claves			%	%	ppm	ppm	Arena	Limo	Arcilla			Ca ⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ³⁺ H ⁺			
				%	%	meq/100 g														
9853	C1	7.54	0.19	20.50	4.14	82.8	388	45	42	13	Fr.	21.92	18.81	1.87	1.12	0.12	0.00	21.92	21.92	100

*La muestra de suelo para análisis se colectó durante el segundo periodo de la época seca.

Cuadro 7. Precipitación durante el periodo de muestreo

Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Precipitación (mm)	0.00	0.00	0.76	2.03	7.62	2.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Día	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Precipitación (mm)	0.00	2.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.54	0.00	0.00	0.00

Día	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Precipitación (mm)	0.76	0.00	5.08	2.54	2.54	1.27	2.54	0.76	0.00	0.25	0.25	0.76

Cuadro 8. Temperatura del suelo y temperatura interna de la cámara

Día	Pastos naturales		Pasto cultivado	
	Temperatura del suelo (°C)	Temperatura interna de la cámara (°C)	Temperatura del suelo (°C)	Temperatura interna de la cámara (°C)
1	18.2	23.9	14.2	25.4
2	14.4	23.9	12.1	30.3
3	15.4	24.1	12.1	22.6
4	11.8	16.6	5.2	16.6
5	12.6	18.2	10.1	22.4
6	15.8	25.7	13.8	26.6
7	11.0	17.0	11.1	20.4
8	10.4	14.0	8.8	12.3
9	19.0	23.7	11.9	21.4
10	10.3	17.9	11.1	11.9

Cuadro 9. WFPS (%), nitratos (ppm) y amonio (ppm) en pastos naturales

Días	1	3	5	7	9	11	13	20	27	34
WFPS (%) (C)	28.5	27.7	35.8	36.3	35.6	35.0	32.7	33.4	36.6	44.2
WFPS (%) (O)	29.9	28.6	35.2	36.9	34.2	33.4	33.6	32.8	32.7	42.5
Nitrato (C)	8.9	3.8	5.2	5.8	4.2	4.9	4.1	3.3	3.5	1.1
Nitrato (O)	29.9	5.8	6.9	6.4	9.7	11.3	13.4	6.3	2.3	2.5
Amonio (C)	63.9	69.3	74.7	58.5	65.7	46.8	65.7	64.8	65.7	45.0
Amonio (O)	133.7	66.3	61.7	54.5	66.3	54.5	56.6	56.6	58.6	49.9

(C): Control; (T): Tratamiento. Se eliminaron los valores para cámaras con emisiones no lineales.

Cuadro 10. WFPS (%), nitratos (ppm) y amonio (ppm) en pastos cultivados

Días	1	3	5	7	9	11	13	20	27	34
WFPS (%) (C)	17.1	14.5	20.9	19.7	22.4	15.5	23.9	21.8	26.1	44.0
WFPS (%) (O)	15.3	16.0	26.2	23.4	19.0	22.3	23.1	22.4	27.8	44.0
Nitrato (C)	5.8	6.9	5.6	7.2	9.0	7.8	2.9	4.1	3.3	8.8
Nitrato (O)	73.7	37.1	72.6	95.5	102.6	25.9	3.5	3.8	5.3	15.1
Amonio (C)	67.8	66.0	48.0	57.0	51.0	57.0	68.4	76.8	73.7	69.3
Amonio (O)	168.0	91.8	51.6	70.8	73.2	61.2	66.6	85.8	68.4	67.2

(C): Control; (T): Tratamiento. Se eliminaron los valores para cámaras con emisiones no lineales.

Anexo 6. Programas de los talleres de estrategias de mitigación

“Mitigación de gases de invernadero. Uso de modelos de simulación para la evaluación de estrategias de alimentación 2

Evento ofrecido conjuntamente por el Instituto Interamericano de Cooperación Agrícola, IICA y la Universidad Nacional Agraria La Molina, con el auspicio de FONTAGRO y el Gobierno de Nueva Zelandia.

Coordinadores: Ing. Erika Soto, (IICA), Javier Arias, MSc (UNALM), Carlos U. León-Velarde, PhD (IICA)

El objetivo y las actividades del curso-taller estuvieron orientados a que después de asistir al evento, el participante estará en capacidad de:

- Entender los problemas de los gases de efecto invernadero y su consecuencia en el cambio climático.
- Conocer los principios básicos de las modelación bio-matemática
- Entender las bases de los modelos de simulación de estrategias de alimentación de bovinos lecheros manejados en sistemas extensivos y/o semi intensivos.
- Utilizar el modelo Dairy, parte de LIFE-SIM, como herramienta para la evaluación bio-económica *ex ante* de diferentes estrategias de alimentación en sistemas de producción lechera.

Curso Taller Internacional

IICA, Lima, Perú, 16 al 20 noviembre del 2015

Día	Actividad	Responsable
Domingo 15;	Llegada de participantes	
Lunes 16 8:30- 9:00	Registro de participantes	
9:00 – 9:30	Apertura del curso-taller Representación del IICA en Lima, Perú Planteamiento del proyecto Presentación de participantes	María Febres Erika Soto Asistentes al evento
9:30 - 10:00	Aspectos técnicos-logísticos del desarrollo del proyecto	Erika Soto
10:00 - 10:30	Café	
10:30 - 11:00	Aspectos a desarrollar durante el evento	Carlos León Velarde
11:00 - 12:30	Gases de invernadero ; efecto en cambio climático	Javier Arias
12:30 - 14:00	Almuerzo	
14:00 – 15:00	Bases de modelación; simulación	Carlos León Velarde
15:00 – 15:30	Café	
15:30 - 16:30	Bases y requerimientos de bioenergía	Carlos León Velarde
16:30 – 17:00	Resumen y planteamiento de modelación;	Asistentes; facilitador

Martes 17 8:30 – 9:30	Bases, requerimientos y uso de la proteína	Carlos León Velarde
9:30 – 10:00	Modelación - simulación (uso de Excel)	Asistentes; facilitador
10:00 – 10:30	Café	
10:30 – 11:30	Modelo de análisis bio-económico de estrategias de alimentación; superficie de respuesta	Carlos León Velarde
11:30 – 12:30	Modelación - simulación; estrategias de alimentación	Asistentes; facilitador
12: 30 - 14:00	Almuerzo	
14:00 – 15:00	Modelación – simulación; estrategias de alimentación	Asistentes; facilitador
15:00 – 15:30	Café	
15:30 – 17:00	Modelación – simulación; estrategias de alimentación	Asistentes; facilitador
Miércoles 18 8:30 – 10:00	Presentación de modelación - simulación; trabajos asignados	Asistentes; facilitador
10:00 – 10:30	Café	
10:30 – 12:30	Uso y manejo de modelos de simulación; LIFESIM	Carlos León Velarde
12: 30 - 14:00	Almuerzo	
14:00 – 17:00	Uso de modelos; planteamiento de estrategias de alimentación;	Asistentes; facilitador

Lista de documentos generados:

Se elaboró información técnica sobre aspectos relativos a consumo, energía, proteína; cada una de ellos incluyo presentación visual (Power Point).

Sección	Documento	Páginas
A	Conceptos de control de consumo de alimento	7
B	Bioenergía; conceptos del uso de la energía por rumiantes	22
C	Conceptos del uso de la proteína; rumiantes	13
D	Análisis de estrategias de alimentación; conceptos sobre superficie de respuesta y de resultados de modelos de simulación	18
E	Referencias	4
F	Anexos:	
Desarrollo de programas de simulación:		
	Desarrollo de un programa de predicción de ganancia de peso de novillos en engorde	1
	Desarrollo de un programa de predicción de producción de leche en vacas	1
	Tablas de alimentación animal	13

Identificación, simulación y evaluación de estrategias de alimentación para mitigar las emisiones de metano entérico en ganadería andina¹

En el marco del proyecto Fontagro: “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina dentro del contexto de cambio climático”



Taller internacional

IICA, Lima, Perú, 3 al 5 de octubre de 2017

Objetivos del taller

1. Entender los problemas causados por los gases de efecto invernadero originados por la actividad ganadera, haciendo énfasis en la producción de rumiantes lecheros y su contribución en el cambio climático.
2. Recopilar y analizar información sobre los recursos de alimentación que se pueden usar para estructurar estrategias de alimentación que reduzcan las emisiones de metano por parte de bovinos manejados en sistemas extensivos o semi intensivos para la producción de leche o carne.

¹Evento ofrecido en el contexto de cambio climático y trabajo operativo del proyecto “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina”, ejecutado en forma conjunta entre el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura y la Universidad Nacional Agraria La Molina, con el auspicio de Fontagro, el BID y el Gobierno de Nueva Zelanda.

Facilitadores: Carlos U. León-Velarde, Ph. D. (consultor IICA-UNALM); José Haro, MgSc (IICA)

3. Plantear diferentes estrategias de alimentación para la reducción de emisiones de metano entérico, basadas principalmente en el manejo de recursos forrajeros, cambios en la calidad de la dieta y suplementación a utilizar en zonas piloto de cada país.
4. Analizar y evaluar en forma bio-económica las estrategias de alimentación que permitan reducir el metano entérico basado en modelación bio-matemática (uso de modelos de simulación).
5. Priorizar las estrategias de mitigación de metano entérico que brinden en conjunto las mejores respuestas productivas, económicas y ambientales obtenidas mediante simulación, y que sean factibles de ser implementadas según la realidad socioeconómica de los productores locales.

Resultados esperados

1. Los participantes serán capaces de plantear y evaluar, mediante simulación, estrategias basadas en la alimentación animal para la mitigación de las emisiones de metano entérico.
2. Se obtendrá un ranking de estrategias de mitigación de metano entérico, particularmente para los sistemas productivos prevalentes de los países participantes.

Cronograma del taller

Día	Actividad	Responsable
Lunes 2	Llegada de participantes	
Martes 3		
8:30-9:00	Registro de participantes	
9:00-9:45	Apertura del curso-taller Representación del IICA en Lima, Perú Planteamiento del proyecto Presentación de participantes	María Febres Carlos Gómez Asistentes al evento
9:45-10:15	Café	
10:15-10:30	Aspectos técnicos-logísticos del desarrollo del proyecto	José Haro
10:30-11:00	Aspectos a desarrollar durante el evento	Carlos León Velarde
11:00-11.45	Estrategias de mitigación de emisión de metano entérico	Carlos León Velarde
11.45-12.30	Bases del modelo LIFE-SIM; estrategias de alimentación	Carlos León Velarde
12:30-14:00	Almuerzo	
14:00-15:00	Estrategias de alimentación; operatividad	Participantes; facilitadores
15:00-15:30	Café	
15:30-17:00	Análisis y definición de estrategias de alimentación en grupos (zonas/países)	Participantes, facilitadores

Miércoles 4 8:30-10:00	Trabajo en grupos (zonas/países); estrategias de alimentación	Participantes; facilitadores
10:00-10:30	Café	
10:30-12:30	Trabajo en grupos (zonas/países); estrategias de alimentación	Participantes; facilitadores
12:30-14:00	Almuerzo	
14:00-15:00	Trabajo en grupos (zonas/países); estrategias de alimentación	Participantes; facilitadores
15:00-15:30	Café	
15:30-17:00	Compilación y preparación de estrategias de alimentación (zonas/países)	Participantes, facilitadores
Jueves 5 8:30-10:00	Presentación de trabajos; zonas/países	Participantes; facilitadores
10:00-10:30	Café	Participantes, facilitadores
10:30-12:30	Presentación de trabajos; zonas/países	Participantes; facilitadores
12:30-14:00	Almuerzo	Participantes, facilitadores
14:00-15:00	Presentación de trabajos; zonas/países	Participantes; facilitadores
15:00-15:30	Consideraciones finales y planteamiento de acciones	Participantes, facilitadores
15:30-16:00	Clausura del evento	Representación IICA
16:00-16:30	Café; refrigerio	Participantes
Viernes 6	Salida de participantes	

Anexo 7. Ajuste a herramienta LIFE-SIM para desarrollo de escenarios de mitigación

El ajuste del modelo diseñado en Excel resultó suficientemente robusto para estimar las emisiones de metano entérico de vacunos lecheros en la región andina. Al introducir los datos experimentales, que corresponden a una emisión real de 0.316 kg CH₄/animal/día, el modelo entregó un valor de 0.312 ± 0.004 estimado, con una variación de consumo de 5%. El error estimado es de 1.2%, que en materia de simulación está dentro de lo esperado (5%-8%). La producción de leche estimada es de 13.52 kg/día, y en su experimento el valor medido es de 13.68 kg/día. Por estas razones, la ecuación 1 del modelo para estimación de metano entérico es la que mejor se aproxima a la realidad.

El ajuste del modelo y el informe que detalla su elaboración y estructura se encuentran como archivo anexo al presente informe.

Anexo 8. Programa del taller de medición de gases

“Medición de metano entérico y óxido nítrico en sistemas de producción ganadera”²

En el marco del proyecto Fontagro: “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina dentro del contexto de cambio climático”



6 al 10 de noviembre, UNA La Molina, Lima, Perú

Objetivos del taller

1. Conocer los fundamentos de las técnicas de medición de metano entérico y óxido nítrico provenientes de los sistemas ganaderos.
2. Fortalecer las capacidades de los participantes para la implementación, planteamiento y ejecución de experimentos de medición de metano entérico y óxido nítrico.
3. Recopilar información sobre la capacidad de las entidades participantes para la ejecución de mediciones de metano entérico y óxido nítrico en sistemas ganaderos.

² Evento ofrecido en el contexto de las operaciones del proyecto “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina”, ejecutado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, en coordinación técnica con la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNA La Molina) y con el auspicio de Fontagro, el BID y el Gobierno de Nueva Zelanda.

Coordinador del taller: José Haro, MgSc (IICA); Coordinador técnico del proyecto: Carlos Gómez, Ph. D. (UNALM)

Actividades programadas

6 de noviembre

Hora	Actividad	Responsable	Lugar
08:00-08:15	Llegada e inscripción de los participantes	Sheila Quispe	Salón Programa de Leche
08:15-08:30	Presentación del taller por el coordinador técnico del proyecto y representante de IICA Perú	Javier Ñaupari María Febres	Salón Programa de Leche
08:30-09:00	Proyecto Fontagro	José Haro	Salón Programa de Leche
09:00-10:00	Metodologías de medición de metano entérico en sistemas ganaderos	Melisa Fernández	Salón Programa de Leche
10:00-10:15	Café		Salón Programa de Leche
10:15-11:00	Elementos y proceso en la técnica del trazador SF ₆ para la medición de metano	Melisa Fernández	Salón Programa de Leche
11:00-11:45	Calibración de cápsulas de permeación (Grupo 1)	Víctor Alvarado	Laboratorio de Rumiantes
	Calibración de cápsulas de permeación (Grupo 2)	Meliza Villar	Laboratorio POCA
11:45-12:30	Manejo de ficha de calibración de cápsulas de SF ₆	Víctor Alvarado	Salón Programa de Leche
12:30-13:30	Almuerzo		Restaurante UNA La Molina
13:30-17:00	Práctica en armado de canisters, distintos modelos (Grupo 1 y 2)	Víctor Alvarado Jorge Medrano	Laboratorio de Carnes Laboratorio de Rumiantes
	Café		

* POCA: Programa de Ovinos y Camélidos Americanos

7 de noviembre

Hora	Actividad	Responsable	Lugar
08:00-10:00	Proyectos de medición de metano entérico en la región andina	José Haro (coord.) Meliza Villar Jorge Medrano Medardo Díaz Andrea Sierra	Salón Programa de Leche
10:00-10:15	Café		

10:15-12:45	Práctica de armado de sistema de vacío de viales. Control de calidad del sistema. (Grupo 1)	Medardo Díaz	Laboratorio de Carnes
	Práctica en armado de líneas de flujo y calibración de capilares. Segunda parte de armado de canister (Grupo 2).	Víctor Alvarado	Laboratorio de Rumiantes
12:45-13:45	Almuerzo		Restaurante UNA La Molina
13:45-16:15	Práctica en armado de líneas de flujo y calibración de capilares. Segunda parte de armado de canister (Grupo 1).	Víctor Alvarado	Laboratorio de Rumiantes
	Práctica de armado de sistema de vacío de viales. Control de calidad del sistema. (Grupo 2)	Medardo Díaz Jorge Medrano	Laboratorio de Carnes
16:15-17:00	Demostración: sistema <i>in vitro</i> de medición de metano	Edis Macías Melisa Fernández	Laboratorio de Rumiantes
	Café		

8 de noviembre

Hora	Actividad	Responsable	Lugar
08:00-10:15	Práctica de preparación para colección de muestras, presurización de canisters y control de calidad en el muestreo (Grupo 1)	Medardo Díaz	Laboratorio de Rumiantes
	Práctica de muestreo en viales. Incluye vacío de viales (Grupo 2).	Víctor Alvarado	Laboratorio de Carne
10:15-10:30	Café		
10:30-12:30	Práctica de muestreo en viales. Incluye vacío de viales (Grupo 1).	Víctor Alvarado	Laboratorio de Carne
	Práctica de preparación para la colección de muestras, presurización de canisters y control de calidad en el muestreo (Grupo 2)	Medardo Díaz	Laboratorio de Rumiantes
12:30-13:30	Almuerzo		Restaurante UNA La Molina
13:30-16:00	Práctica con ovinos (usando canister preparados en práctica). Colocación de sistema de muestreo, consideraciones de manejo	Meliza Villar Medardo Díaz	Unidad Metabólica de Ovinos

16:00-17:00	Elementos y costos de experimentación para la medición de metano entérico	José Haro	Salón Programa de Leche
	Café		

9 de noviembre

Hora	Actividad	Responsable	Lugar
08:00-10:00	Conceptos sobre elementos de muestreo para medición de óxido nitroso y diseño de experimentos	José Haro Carlos Suquisupa	Sala de reuniones LEUP*
10:00-10:15	Café		
10:15-13:00	Reconocimiento de materiales y formatos de campo y laboratorio. Fundamentos de diseño de cámara y metodología de colección de óxido nitroso.	José Haro Carlos Suquisupa	Sala de reuniones LEUP
13:00-14:00	Almuerzo		Restaurante UNA La Molina
14:00-16:00	Práctica de colección de óxido nitroso en campo	José Haro Carlos Suquisupa Lida García	Jardín Agrostológico-LEUP
16:00-17:00	Toma de muestras de metano entérico de ovinos	Meliza Villar Medardo Díaz	Unidad Metabólica de Ovinos
	Café		

* LEUP: Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales

10 de noviembre

Hora	Actividad	Responsable	Lugar
08:00-09:30	Estructura del cromatógrafo de gases. Principios de cromatografía de gases. Manejo básico del software. Principios de desarrollo de curva de calibración, integración manual para obtención de áreas y conversión a concentraciones. Preparación de muestras para análisis.	Rosy Carrillo José Haro	Laboratorio de Bioquímica
09:30-09:45	Café		
09:45-10:15	Desarrollo de ficha de capacidades de investigación en metano entérico y óxido nitroso a nivel institucional	José Haro	Salón Programa de Leche
10:15-11:00	Lectura de muestras obtenidas por los participantes en el cromatógrafo de gases	José Haro Rosy Carrillo	Laboratorio de Bioquímica

11:00-13:00	Utilización de planillas Excel para el cálculo de emisiones de metano entérico	Víctor Alvarado	Salón Programa de Leche
13:00-14:00	Almuerzo		Restaurante UNA La Molina
14:00-15:30	Utilización de planillas Excel para el cálculo de emisiones de óxido nitroso	José Haro Carlos Suquisupa	Salón Programa de Leche
15:30-16:00	Mesa redonda sobre capacidades de investigación en las instituciones de investigación agraria en la región andina	José Haro	Salón Programa de Leche
16:00-16:30	Clausura del taller	María Febres Juan Chávez	Salón Programa de Leche

Anexo 9. Encuesta sobre capacidades de investigación en medición de gases de efecto invernadero

Al finalizar el taller de “Medición de metano entérico y óxido nitroso en sistemas de producción ganadera”, se realizó una encuesta a los participantes para conocer las capacidades de investigación de sus instituciones y sus intereses de investigación, así como la problemática para su ejecución. A continuación se muestra la encuesta aplicada y sus resultados tabulados.

Encuesta sobre capacidades de investigación en gases efecto invernadero

Nombre: Juan Pablo Garzón Prado

Institución a la que pertenece: INIAP Ecuador
Estación Experimental del Aosta

Infraestructura

1. Cuenta con un laboratorio donde pueda alojar un cromatógrafo de gases?
Si () No ()
De ser Si, con qué condiciones cuenta dicho laboratorio:
() Temperatura controlada
() Suministro eléctrico seguro
() Energía de emergencia
() Cabinas para gases fuera del laboratorio
2. Cuenta con espacios de taller/laboratorio para preparación mecánica de los elementos de colección?
Si () No ()
3. Cuenta con campos experimentales con animales?
Si () No (Es si)
4. Posee relacionamiento institucional para realizar experimentación (que puedan poner a disposición campos/instalaciones/animales) con alguna de estas instituciones:
() Universidades, cuáles: Universidad de Cuenca, Universidad Técnica de Manabí
() Centros de investigación, cuáles: _____
() Empresas pecuarias privadas, cuáles: Agro. AGROSAD, La Colina
() Asociaciones de productores, cuáles: Centro Agrícolas Cantonales / Prefecturas
() Pequeños productores individuales, cuáles: _____

Equipamiento

1. Marcar equipos de laboratorio con los que cuenta:
() Cromatógrafo de gases
() Headspace (parte del cromatógrafo)
() Detector ECD, captura de electrones (parte del cromatógrafo)
() Estufa de aire forzado
() Bomba de vacío

Capacidad técnica del personal en la institución

1. Tiene en su institución un personal exclusivo responsable de los equipos químicos/cromatográficos?
Si () No ()
De ser Si, cuál es la formación de este profesional:

Universitaria Técnica
En qué especialidad?: Ing. Químico

2. Dispone de personal para trabajo de campo (manejo animales y armado de dispositivos de medición) para incluir en un nuevo proyecto?
Si () No ()
De ser SI, cuántos puede destinar a esta labor? _____ y con qué porcentaje de su tiempo respecto a una jornada normal: _____ %

Capacidades e interés de investigación

1. Ha publicado resultados de medición de emisiones de metano entérico por animales?
Si () No ()
En caso SI, que metodología usó? _____
En caso NO, cuenta con la capacidad de conocimiento específico para ello pero no ha tenido posibilidad de hacerlo? Si () No ()
2. Ha publicado resultados de medición de emisiones de óxido nitroso por animales?
Si () No ()
En caso SI, que metodología usó? _____
En caso NO, cuenta con la capacidad de conocimiento específico para ello pero no ha tenido posibilidad de hacerlo? Si () No ()
3. Respecto al interés en su institución de implementar investigación sobre **mitigación de metano entérico**, se puede calificar como:
Alto () Medio () Bajo () Ninguno ()
4. Respecto al interés en su institución de implementar investigación sobre **mitigación de óxido nitroso**, se puede calificar como:
Alto () Medio () Bajo () Ninguno ()
5. Respecto al interés en su institución de implementar investigación sobre **adaptación de metano entérico**, se puede calificar como:
Alto () Medio () Bajo () Ninguno ()
6. Respecto al interés en su institución de implementar investigación sobre **adaptación de óxido nitroso**, se puede calificar como:
Alto () Medio () Bajo () Ninguno ()
7. Conoce sobre otra institución de su país que esté realizando medición de emisión de metano entérico por ganadería?
Si (), cual: Universidad de Cuenca No ()
8. Conoce sobre otra institución de su país que esté realizando medición de emisión de óxido nitroso por ganadería?
Si (), cual: _____ No ()

Financiamiento y vinculación de resultados

1. Mencione qué instituciones nacionales e internacionales estarían interesadas en financiar propuestas de investigación en gases efecto invernadero en sistemas ganaderos de su país:

- * Universidad de Cuenca (Facultad de Cs Agropecuarias)
- * Universidad Técnica Manabí (Escuela de Veterinaria)
- * Subsecretaría de Ganadería (Ministerio de Agricultura y Ganadería)
- * Ministerio del Ambiente
- * FAO

2. Mencione qué instituciones nacionales que estarían interesadas en los resultados de cuantificación de gases en sistemas ganaderos de su país:

- * Ministerio del Ambiente
- * Ministerio de Agricultura y Ganadería

- 3.Cuál es el principal problema para la implementación de políticas en reducción de emisiones en ganadería que encuentra en su país:

- * Financiamiento.
- * Falta crear una Red de gestores e investigadores, o Plataforma, que inicie una fase de involucramiento.

Cuadro 1. Resultados tabulados de la encuesta sobre capacidades de investigación: infraestructura y equipamiento

Institución	País	Infraestructura								Equipamiento				
		Laboratorio	Condiciones cromatógrafo				Taller	Campo experimental	Relación con otras instituciones	Cromatógrafo	Headspace	Detector ECD	Estufa	Bomba vacío
			T°	Energía	E. Emergencia	Cabina gases								
Corpoica	Colombia	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
INIAP	Ecuador	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí
INIAF	Bolivia	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí
INIA	Perú	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí
UNALM	Perú	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí
Frecuencia %		100	60	100	100	100	100	100	80	40	20	40	100	100

INIA Central	Perú	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí
INIA Cajamarca	Perú	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	No	No	No	No	No
INIA Puno	Perú	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	No	Sí	Sí
Minagri	Perú	No					No	No	Sí	No	No	No	No	No
IICA	Perú	No					No	No	Sí	No	No	No	No	No

Cuadro 2. Resultados tabulados de la encuesta sobre capacidades de investigación: capacidad técnica

Institución	País	Personal químico			Personal de campo		
		Planta	Preparación	Especialidad	Disponible	Número	% jornada
Corpoica	Colombia	Sí	Universitaria	Química	Sí		
INIAP	Ecuador	Sí	Universitaria	Ing. químico	Sí	4	70
INIAF	Bolivia	No			Sí	2	100
INIA	Perú	No			Sí	5	35
UNALM	Perú	Sí	Universitaria	Ing. zootecnista	No		
Frecuencia %		60			80		

INIA Central	Perú	No	No	No	Sí	2	30
INIA Cajamarca	Perú	No	No	No	Sí	1	30
INIA Puno	Perú	No	No	No	Sí	2	50
MINAGRI	Perú	No	No	No			
IICA	Perú	No	No	No			

Cuadro 3. Resultados tabulados de la encuesta sobre capacidades de investigación: potencial para investigación

Institución	País	Metano			Óxido nitroso			Interés mitigación		Interés adaptación		Instituciones trabajando en metano	Instituciones trabajando en óxido nitroso
		Pub.	Met.	Cap.	Pub.	Met.	Cap.	M	ON	M	ON		
Corpoica	Colombia	Sí	In vitro sensor láser		No		No	3	2	3	2	Universidad Nacional de Colombia	Universidad Nacional de Colombia
INIAP	Ecuador	No		Sí	No		Sí	3	3	3	3	Universidad de Cuenca	
INIAF	Bolivia	No		Sí	No		Sí	3	3	2	2		
INIA	Perú	No		Sí	No		Sí	3	3	3	3	UNALM	UNALM
UNALM	Perú	No		Sí	No		Sí	3	2	3	2	UNSAAC	
Frecuencia %		20		100	0		80	3.0	2.6	2.8	2.4		

INIA Central	Perú	No		Sí	No		Sí	Alto	Alto	Alto	Alto	UNALM UNSAAC	UNALM
INIA Cajamarca	Perú	No		No	No		No	Alto	Alto	Medio	Medio	UNALM	UNALM
INIA Puno	Perú	No		No	No		No	Alto	Alto	Alto	Alto	UNALM	UNALM
Minagri	Perú	Sí	Info carbono		Si	Info carbono		Alto	Alto	Alto	Alto		
IICA	Perú	No			No			Alto	Alto	Alto	Alto		

Pub: Publicación, Cap: capacidad, Met: Metodología; M: Metano, ON: óxido nitroso

Cuadro 4. Resultados tabulados de la encuesta sobre capacidades de investigación: financiamiento

Entidad	País	Interés financiación investigación GEI	Interés en resultados	Problemas en políticas de reducción de emisiones
Corpoica	Colombia	Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Rural FAO Colociencias Convocatoria Newton-Caldas	IDEAM Ministerio de Desarrollo Rural	Vínculo de la academia y los tomadores de decisiones
INIAP	Ecuador	Ministerio del Ambiente FAO IICA Ministerio de Agricultura y Ganadería Universidad de Cuenca Universidad Técnica de Manabí INIAP	Ministerio del Ambiente Ministerio de Agricultura y Ganadería INIAP Universidades	Limitada disponibilidad de financiamiento. Falta de articulación de una red de investigación. Limitados recursos humanos capacitados.
INIAF	Bolivia	Banco Mundial, Crédito Bolivia/INIAF	Ministerio de Medio Ambiente y Agua (Dirección General de Biodiversidad y Cambio Climático)	Limitados recursos humanos capacitados. Limitada disponibilidad de financiamiento.
INIA	Perú	PNIA-INIA Concytec Alianza Global Euroclima	Minam Minagri Fongales UPN UNC	Concientización de ganaderos. Limitada disponibilidad de financiamiento. Limitada información de línea base de emisiones. Concientización de tomadores de decisiones.

Entidad	País	Interés financiación investigación GEI	Interés en resultados	Problemas en políticas de reducción de emisiones
Minagri	Perú	FAO Minam Minagri Agrobanco PNIA-INIA	Minam Minagri Empresas privadas-sector lácteo Universidades	Limitada información de línea base de emisiones y monitoreo. Limitada capacidad institucional para captar cooperación internacional.
IICA	Perú	Fondo Verde para el Clima		Desconocimiento general del beneficio de reducción de emisiones. Otros sectores prioritarios (forestal).

Anexo 10. Programa de eventos de divulgación

Se toma como modelo el programa del evento realizado en Perú. En los cuatro países se siguió la misma dinámica.

Cuantificación y mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería andina

Lima, 23 de mayo del 2018

Evento de divulgación de resultados del proyecto FONTAGRO “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina dentro del contexto de cambio climático”

Introducción

La actividad ganadera emite 7.1 Gt CO₂-eq por año, que representan el 14.5% de las emisiones antropogénicas globales. El 44% de las emisiones ganaderas ocurren bajo la forma de metano (CH₄) y un 29% bajo la forma de óxido nitroso (N₂O), desplazando en importancia al CO₂, que es el gas de efecto invernadero (GEI) más abundante. Dentro de las fuentes de emisión de la ganadería, la fermentación entérica de rumiantes ocupa el lugar más importante; es responsable en el 2014 del 39.7% de las emisiones del sector (FAOSTAT, 2018), principalmente producidas por el ganado vacuno.

Ante la necesidad de reportar con mayor precisión las emisiones de GEI y desarrollar estrategias para su reducción, el proyecto de ganadería andina “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina dentro del contexto de cambio climático”, financiado por FONTAGRO, inició actividades en el 2015.

Objetivo del proyecto

Mejorar el posicionamiento de los países de la región andina respecto a la cuantificación del metano entérico y óxido nitroso; así como el diseño de estrategias para su mitigación, con referencia a la ganadería lechera.

El proyecto busca alcanzar estos objetivos ofreciendo a las instituciones y países la capacidad técnica para el muestro y cuantificación de metano entérico y óxido nitroso en las condiciones de los Andes. También busca generar capacidad técnica para identificar, plantear y evaluar estrategias para su mitigación, basadas en ajustes de la alimentación animal.

Objetivo del taller

Dar a conocer los resultados principales de los trabajos de medición de gases efecto invernadero y simulación de estrategias de mitigación.

Contribuir a la formulación de políticas públicas para la mitigación de gases efecto invernadero provenientes de la ganadería, en base a los resultados y capacidades técnicas fortalecidas gracias al proyecto.

Dirigido a: Grupos de interés en ganadería y lucha contra el cambio climático, actores de instituciones públicas y privadas, investigadores, academia, productores, organismos de cooperación, miembros de la prensa especializada y otros.

Lugar: Oficina IICA Perú, Av. La Molina 1581, La Molina, Lima. Conexiones virtuales vía Webex con países invitados

Programa

Cuantificación y mitigación de gases de efecto invernadero en la ganadería andina

Lima, 23 de mayo del 2018

Hora	Actividad	Responsable
9.00 - 9.05 am	Bienvenida	María Febres <i>Representante IICA</i>
9.05 - 9.25 am	Proyecto Fontagro: “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la región andina dentro del contexto de cambio climático” - FTG/RF-14653-RG	José Haro <i>Gestión técnica del proyecto - IICA</i>
9.25 - 9.45 am	Emisión de metano entérico y óxido nitroso en sistemas ganaderos andinos	Carlos Gómez <i>Coordinador técnico del proyecto – UNALM</i>
9.45 – 10.00 am	Determinación de las emisiones de metano entérico a través de la técnica de SF ₆ . Experiencia en el Trópico Alto colombiano.	Juan de Jesús Vargas <i>Investigador – AGROSAVIA (CORPOICA)</i>
10.00 - 10.15 am	Coffee break	
10.15 - 10.35 am	Estrategias de alimentación para mitigación de gases efecto invernadero en ganadería	José Haro <i>Gestión técnica del proyecto - IICA</i>

10.35 - 11.35 am	Panel: Implementación de estrategias de mitigación de emisiones del sector ganadero en las políticas públicas nacionales	Alberto Barrón <i>Director de Ganadería - MINAGRI</i> Laura Secada <i>Directora de Mitigación de Gases de Efecto Invernadero - MINAM</i> Karin Bartl <i>Investigadora en el Departamento Académico de Ingeniería - PUCP</i>
11.35 – 12 .00 am	Clausura	María Febres <i>Representante IICA</i>

8. TABLA DE INDICADORES

Se han integrado los indicadores señalados en los POA anuales y sus ajustes.

N°	Indicador detalle	Unidad del indicador	Valor antes del proyecto	Valor después del proyecto	Notas
	Componente 1				
1	Informe de caracterización de sitios piloto	Unidad	0	1	
	Componente 2				
2	Ensayos en campo con sitios identificados, implementados, ejecutados y concluidos (4 ensayos de cuantificación de metano y 2 de óxido nitroso)	%	0	100	
3	Métodos analíticos implementados (metano + SF6 y óxido nitroso)	Unidad	0	2	
4	Publicaciones científicas sometidas a revistas indizadas	Unidad	0	2	
	Componentes 3 y 4				
5	Estrategias de alimentación potencia identificadas y evaluadas	Unidad	0	11	
6	Informe de análisis y priorización de estrategias	Unidad	0	1	

7	Modelo ajustado (módulo) para simulación de emisiones de metano en la región andina	Unidad	0	1	
8	Profesionales capacitados en desarrollo de escenarios de mitigación	Unidad	0	22	Provenientes de dos talleres en estrategias de mitigación
Componente 5					
9	Plataforma web con información técnica del proyecto	Unidad	0	1	Contiene los documentos técnicos producidos
10	Profesionales capacitados en los fundamentos teóricos y prácticos para la medición de metano entérico y óxido nitroso	Unidad	0	12	Provenientes del taller en medición de gases
11	Boletín técnico con la metodología de medición de metano y óxido nitroso	%	0	100	Se siguió sugerencia de convertirlo en un manual técnico
12	Documento de divulgación orientado a incidencia en políticas para mitigación en los países coejecutores	Unidad	0	1	Documento de mitigación de emisiones en la región andina
13	Notas técnicas con resultados de la cuantificación de gases	Unidad	0	2	Una del experimento de Perú y otra de Colombia