




Mediciones de óxido nitroso (N₂O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche

Nitrous oxide (N₂O) measurements in managed soil under grazing with dairy cattle

Pedro Antonio Núñez-Ramos^{1‡} , Gregorio García-Lagombra²,
Joaquín Caridad del Rosario³  y Víctor José Asencio-Cuello³ 

¹ Investigador Titular proyecto MESCyT 2015-1A1-085 “Medición, Cuantificación y Opciones de Mitigación de Gases con Efecto Invernadero (Óxido Nitroso y Metano Entérico) Emitidos por la Ganadería Dominicana que Influyen en el Cambio Climático”. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), UASD. ² Líder del proyecto e Investigador Titular proyecto MESCyT 2015-1A1-085. IDIAF. ³ Investigadores Asociados. IDIAF. C/ Rafael Augusto Sánchez # 89, Ensanche Evaristo Morales. Santo Domingo, República Dominicana.

[‡] Autor para correspondencia (pnunez@idiaf.gov.do, pnunez58@gmail.com)

RESUMEN

La medición de emisiones de óxido nitroso (N₂O) en sistemas ganaderos de la República Dominicana es una prioridad para su gobierno. El N₂O ha sido responsable por el 5% del GEI (gas efecto invernadero) total en los últimos 100 años. En la ganadería dominicana se utilizan diversos fertilizantes nitrogenados y enmiendas para aumentar la productividad de estos sistemas. Sin embargo, si estos fertilizantes no son bien manejados pueden generar emisiones de N₂O. Por lo tanto, se realizó la investigación con el objetivo de cuantificar las emisiones de N₂O provenientes de un forraje de pastoreo con bovinos de leche. Se utilizó una pastura de bermuda grass (*Cynodon dactylon*) de Casa de Alto, República Dominicana. Se realizó el estudio durante el periodo junio - agosto de 2018. Se usó un diseño de parcelas sub divididas completamente al azar, con tres factores, cuatro repeticiones y tres tratamientos (orina, urea, y control). Se utilizaron cámaras de PVC de flujo cerrado para la obtención de las muestras de gases y se determinaron las emisiones de N₂O. Además, se registraron los factores climáticos, nitrógeno (N) en orina, suelo y pasto y se analizaron los datos con el programa estadístico InfoStat. Las emisiones de N₂O fueron en promedio de 0.56 mg L⁻¹ para el control, 1.02 mg L⁻¹ para la orina y 1.18 mg L⁻¹ para la urea. Solo el tratamiento con urea resultó estadísticamente diferente al testigo ($P < 0.05$). Las emisiones fueron

de 5.6, 10.2 y 11.8 kg ha⁻¹ para el testigo, la orina y urea, respectivamente. Siendo las emisiones altas en comparación con los resultados obtenidos en otras investigaciones en el país.

Palabras clave: cámara, gas, GEI, nitrógeno, pastoreo.

SUMMARY

Nitrous oxide (N₂O) emissions measurements in livestock systems in the Dominican Republic are a priority for its government. The N₂O has been responsible for 5% of total GHG (greenhouse gas) in the last 100 years. In Dominican livestock, various nitrogen fertilizers and amendments are used to increase the productivity these systems. However, if these fertilizers are not properly managed, these could generate N₂O emissions. Therefore, our research was carried out with the aim of quantifying N₂O emissions from grazing forage with dairy cattle. A Bermuda grass pasture (*Cynodon dactylon*) from Casa de Alto, Dominican Republic was used. The study was conducted during the period of June – August, 2018. A completely randomized sub-divided plot design was used with three factors, four repetitions and three treatments (urine, urea, and control). Closed-flow PVC chambers were used to obtain gas samples and determine N₂O emissions. In addition, climatic factors, nitrogen (N) in urine, soil and grass

Cita recomendada:

Núñez-Ramos, P. A., García-Lagombra, G., Caridad del Rosario, J. y Asencio-Cuello, V. J. (2021). Mediciones de óxido nitroso (N₂O) en suelo manejado bajo pastoreo con bovinos de leche. *Terra Latinoamericana* 39: 1-12. e813. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.813>

Recibido: 20 de junio de 2020. Aceptado: 16 de octubre de 2020.

Artículo. Volumen 39, enero de 2021.

were recorded. Data were analyzed with the InfoStat statistical software. The N₂O emissions averaged the following values: 0.56 mg L⁻¹ for control, 1.02 mg L⁻¹ for urine and 1.18 mg L⁻¹ for urea. The only treatment that showed statistical differences with the control ($P < 0.05$) was urea. Emissions were 5.6, 10.2 and 11.8 kg ha⁻¹ for the control, urine and urea, respectively, with high emissions compared to results obtained in other research in the country.

Index words: chamber, gas, GHG, nitrogen, grazing.

INTRODUCCIÓN

El óxido nitroso (N₂O) es un gas efecto invernadero que interviene directamente en el cambio climático (CC), su permanencia en la estratósfera genera la destrucción de la capa de ozono provocando que ésta se vuelva cada vez más fina (CATIE, 2015). Los efectos que se producen por este gas están generando preocupación a nivel mundial debido a las variaciones climáticas observadas a diario (Bolan *et al.*, 2004; Lampe *et al.*, 2004; Saggar *et al.*, 2004; De Klein y Monaghan, 2011; McMillan *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2018). Se estima que el N₂O tiene un potencial de calentamiento global alto, su efecto es mayor al liberar gases a la atmósfera (Ihobe, 2013).

La actividad ganadera es una fuente importante de emisiones de N₂O. Se describe a Argentina y Brasil como los países que generan el mayor porcentaje GEI de América del Sur, donde habitan 300 millones de bovinos de un total de 1300 millones en el planeta (Intainforma, 2011). Saggar *et al.* (2007) indican que el N₂O aporta aproximadamente un 6% de la emisión de GEI en el calentamiento global y un 16% de la contribución del sector agrícola. Estos autores reportan que los factores ambientales, manejo de la pradera, método de aplicación de fertilizantes nitrogenados, sistema de pastoreo, compactación del suelo, tipo de pradera y drenaje estarían controlando las emisiones de N₂O.

Se estima que los sistemas agropecuarios son responsables directamente entre un 10 y un 12% de las emisiones totales de GEI (Smith *et al.*, 2008), mientras que la actividad ganadera aporta entre el 7 y el 18% de las emisiones a nivel mundial. Por lo que, instituciones como el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Food and Agriculture Organization

of the United Nations (FAO), The Environmental Protection Agency (EPA), entre otras, están realizando cálculos para determinar las emisiones de gases que se producen por actividades agropecuarias. Su finalidad es cuantificar las emisiones y de esa manera establecer medidas para mitigar los efectos que se producen a través de la liberación masiva de estos gases (Hristov *et al.*, 2013). El N₂O ha sido responsable por el 5% del GEI total a lo largo de los últimos 100 años (IPCC, 2006) y presenta un potencial de calentamiento global de 310 veces al de CO₂ (IPCC, 2007).

República Dominicana ocupa el lugar 110 en emisiones de GEI, representando el 0.07% de las emisiones globales. Las emisiones brutas de N₂O para los años 1990, 1994, 1998 y 2000 para este país fueron de 2.71, 2.51, 9.09 y 9.75 Gg, respectivamente. Mientras que para el año 2010 fueron de 7.01 Gg de N₂O (BMUB-GIZ, 2015). De acuerdo a la Primera Comunicación Nacional, el sector agrícola era responsable por el 1% de dichas emisiones en 1994 (IICA, 2015), mientras que el 2010 representó un 19.90%, es decir aumentando sustancialmente (BMUB-GIZ, 2015). Del total de las emisiones de N₂O, el 86% son atribuidas a actividades agrícolas (IICA, 2015).

En relación a las emisiones de N₂O proveniente del lixiviado de los sistemas de manejo de estiércol durante el periodo 2000 a 2013 (14 años), este varió con el tipo de animal y sistema de producción, siendo superior en bovinos lecheros en un rango de 95 a 151 kg y bovino no lechero en un rango de 48-76 kilogramos.

La República Dominicana contribuye con apenas el 0.06% de las 49 Giga toneladas (Mg) de GEI registradas como cifras récord en las emisiones históricas desde la Revolución Industrial. La Tercera Comunicación Nacional contiene el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) y el análisis de la composición de la matriz de emisiones nacionales (PNUD, 2010). Según el Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (MEPyD) y otras instituciones como el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y el Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio (CNCCMDL), la República Dominicana emite menos del 0.1% de las emisiones globales de GEI. Sin embargo, dada su condición de insularidad es muy vulnerable a los impactos del cambio climático, tales como el incremento en la temperatura, el aumento del nivel del mar, y la variabilidad extrema de las precipitaciones (MEPyD, 2016).

Entre el año 2010 y 2015 República Dominicana ha realizado varios proyectos de investigación para monitorear las emisiones de gases con efecto invernadero en sistemas ganaderos. Tal es el caso del Fondo Regional para la Agropecuaria (FONTAGRO) y el Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDOCYT), en dichos proyectos se levantó información sobre las emisiones de N_2O desde suelos pastoreados bajo la influencia de heces, orina y fertilizantes de liberación lenta, así como metano entérico (CH_4) proveniente de animales bovinos bajo pastoreo y con suplementación.

Núñez *et al.* (2019), indican que en la ganadería se utilizan diversos fertilizantes nitrogenados y deyecciones de animales para aumentar la productividad. Sin embargo, si estos fertilizantes no son bien manejados, pueden generar gases como el N_2O conocido como un potente gas de efecto invernadero. Estos reportan valores de emisión de N_2O de 0.36 mg L^{-1} para la orina bovina, 0.26 mg L^{-1} en el control y 0.22 mg L^{-1} en la urea en promedio para 19 eventos. Los resultados obtenidos por Núñez *et al.* (2012) en una pastura templada del sur de Chile indican que la mayor emisión de N_2O proviene de la orina, seguida del control y luego la urea. Se reporta que las mayores emisiones de N_2O se produjeron con el pastoreo intenso con un promedio anual de $3.24 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ reduciéndose la emisión con el pastoreo suave ($3.1 \text{ kg N}_2\text{O ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), pero sin diferencias estadísticas entre estos ($P \leq 0.05$). Estos resultados muestran que una mayor intensidad del pastoreo produjo mayor emisión de N_2O . En ese sentido, Bhatia *et al.* (2004), indican que las altas emisiones de GEI debidas a N_2O en sistemas de producción ganadera son provocadas por el mal manejo del estiércol, así como por la deposición de orinas y heces de los bovinos en las praderas.

Núñez *et al.* (2012), reporta que los sistemas de pastoreo tienen un impacto ambiental importante con implicaciones a nivel social. La productividad y calidad de forraje mejora con la aplicación de fertilizantes nitrogenados y el reciclaje de nutrientes. Sin embargo, un manejo inadecuado de los sistemas de pastoreo puede incrementar las pérdidas de nitrógeno (N) a través de la producción de gases como el N_2O .

Actualmente, el país dispone de tres inventarios de gases para las emisiones brutas de GEI de los años 2004, 2009 y 2017 publicados como comunicaciones nacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, así como la primera

actualización del Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (fBUR-RD). Sin embargo, estas emisiones fueron realizadas por estimaciones, por lo tanto, es de sumo interés para el país, medir las emisiones de N_2O producidas en suelos dedicados a la producción de pasturas para ganado. La emisión de N_2O y otros gases son tema de investigación vigente en las últimas décadas (Krupa y Moncrief, 2002; Krupa, 2003), por contribuir al calentamiento global y al efecto invernadero. La preocupación sobre el tema ha llevado a países como la República Dominicana a mostrar mayor interés y carácter para obtener datos cuantificados a nivel de suelo bajo condiciones de pastoreo de las emisiones de N_2O . Por lo tanto, la presente investigación se realizó con el objetivo de cuantificar las emisiones de N_2O provenientes de la pastura pastoreada con bovinos de leche con aplicación de orina y fertilizante de liberación lenta bajo condiciones de pastoreo, determinar las concentraciones de N en suelo, orina, y pasto; así como registrar informaciones climáticas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización, Tipo de Pastura y Sistema de Pastoreo

La investigación se realizó en una pastura de bermuda grass (*Cynodon dactylon*) con siete años de establecida, ubicada en la Estación Experimental Lechera Casa de Alto, del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), localizada en Pimentel, provincia Duarte, República Dominicana. Situada en las coordenadas $19^\circ 13'' \text{ N}$ y $70^\circ 07'' \text{ O}$. Con precipitación promedio de 1766 mm, temperatura media anual de 26.4° C . Tiene una superficie de 53 hectáreas. En el pastoreo se usaron las razas de leche Gyr, Hosltein y Pardo Suizo, de un peso aproximado de 450 kg, y una carga animal de 2.5 animales por hectárea.

Descripción y Ubicación de las Cámaras

Se utilizaron cámaras de PVC de flujo cerrado (Figura 1), importadas desde Nueva Zelanda, con un diámetro de 9.5" y altura de 8.4". Estas fueron colocadas a una profundidad de 10 cm y distribuidas en el centro de cada parcela. En total doce cámaras utilizadas en doce parcelas de medición con una dimensión de $2 \times 1 \text{ m}$ (2 m^2) con una distancia entre parcelas de 0.5 metros.



Figura 1. Cámaras de PVC utilizadas durante el experimento. Fuente: Tomadas por el autor.
Figure 1. PVC chambers used during the experiment. Source: Produced by the author.

Tipo de Investigación y Diseño Experimental

Diseño experimental. Se usó un diseño de parcelas sub divididas completamente al azar. Hubo tres factores en estudios: 1) factor parcela: cámaras utilizadas. Emisiones de óxido nitroso de orina bovino, urea de liberación controlada, pasto o testigo, cada una con cuatro repeticiones; 2) factor intervalo de evaluación: 11 muestreos a los 1 día, 2 d, 3 d, 4 d, 5 d, 8 d, 12 d, 17 d, 23 d, 30 d, 38 d, 52 d. Tiempo de emisión de óxido nitroso en un periodo de 52 días; 3) factor Sub parcela: 0, 20, 40 minutos. Tiempo de emisión de N_2O por muestreos a 0, 20, y 40 min de cerrada la cámara. En cada muestreo se tomaron muestras del aire al final de cada evento, para poder comparar las emisiones generadas con las concentraciones de N_2O en el ambiente.

Descripción del factor parcela. Para la aplicación de la orina de bovinos, se tomó como referencia un litro, simulando la cantidad de orina de un animal. Se aplicó un 0.250 L de orina bovina cámara⁻¹ de flujo cerrado de PVC, equivalentes a 2500 L ha⁻¹ a una concentración de 0.43% de nitrógeno. La aplicación fuera de la cámara se realizó para tomar muestras del suelo con orina en forma natural. En el caso de la aplicación de la urea de liberación controlada al 46%, se aplicó de acuerdo al área ocupada por la cámara en dosis promedio a la usada por los ganaderos en la región. La cantidad de urea aplicada en la cámara fue de 36 g cámara⁻¹. El valor se obtuvo tomando en cuenta el área de la cámara equivalente a 0.044 m² y tomando como referencia una dosis de aplicación de 218 kg ha⁻¹ de urea como fertilizante nitrogenado.

Tratamientos. Se evaluaron tres tratamientos distribuidos al azar en las parcelas y cuatro repeticiones. Los tratamientos (T) fueron: 1) control o testigo (T1),

consistió en colocar cámaras de flujo cerrado sobre el pasto, sin ninguna aplicación de N; 2) orina (T2), consistió en colocar cámaras de flujo cerrado sobre pasto con aplicación de orina bovina, a una dosis de 0.250 L de orina bovina cámara⁻¹; 3) urea de liberación controlada (T3), consistió en colocar cámaras de flujo cerrado sobre pasto con aplicación de urea de liberación lenta al 46%, de acuerdo al área ocupada por la cámara y a la dosis promedio usada por los ganaderos en la región al inicio del experimento (36 g cámara⁻¹, equivalente a 218 kg ha⁻¹).

Descripción del factor intervalo de evaluación. El tiempo de emisión fue evaluado durante un periodo de 51 días en 11 evaluaciones, se refiere a la frecuencia de muestreos/intervalo de recolección de aire. La semana con mayor número de evaluaciones fue la primera con cuatro, dos en segunda y las demás con 1, excepto la séptima con cero (semana (S) 1 = 4E evaluaciones (E), 2S = 2E, 3S = 1E, 4S = 1E, 5S = 1E, 6S = 1E, 7S = 0E, 8S = 1E).

Descripción del factor Sub parcela. Se refiere al tiempo de recolección por día de muestreo, después de tapar herméticamente cada cámara. Se realizó en tres tiempos 0, 20 y 40 min, siendo el tiempo 0, el momento de cierre y el tiempo 40 el momento de post apertura.

Procedimientos de muestreo de aire y recolección de datos. Antes de iniciar el proceso de muestreo de N_2O en el campo, se tomó en cuenta una curva de calibración ya establecida por una investigación realizada en la cual se determinó que los tiempos de mayor emisiones fueron a las 11:00 a.m. pero tomando en cuenta que antes y después de las 11:00 a.m. hay un flujo de emisiones, se decidió realizar muestreos entre las 10:00 a.m. y la 1:00 p.m. para no subestimar dichas pérdidas de conformidad con las experiencia obtenida en los otros países (Núñez *et al.*, 2019).

Los muestreos de aire en las cámaras se realizaron cerrando las mismas e inmediatamente tomando la muestra del tiempo cero, utilizando jeringas de propileno de 60 mililitros. Antes de colectar la muestra de aire, se mezclaba el aire dentro de la cámara presionando el émbolo de la jeringa por tres o cuatro veces para de esa manera homogenizar el aire dentro de la cámara. El mismo procedimiento fue aplicado para los tiempos 20 y 40 min. Al finalizar el muestreo de cada fecha correspondiente se retiraban las tapas de las cámaras para liberar los gases acumulados hasta la próxima fecha de muestreo.

Las muestras fueron envasadas en viales al vacío con capacidad de 5.9 ml, a presión, los cuales fueron identificados, sellados y almacenados a temperatura ambiente bajo condiciones de oscuridad para evitar cambio de temperatura. Los análisis químicos fueron realizados por el Laboratorio Medio Ambiente del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. La toma de muestra inició el día 06 de julio y terminó el día 26 de agosto del 2018, con 11 eventos (Núñez *et al.*, 2019). En cada medición se obtuvieron tres muestras por cámara (36) desde el primer muestreo hasta el noveno una muestra de aire del ambiente para un total de 37 muestras/eventos, el décimo y el undécimo dos muestras de aire del ambiente antes y después de la toma de muestra (38 muestra/evento); equivalentes a 409 muestras. Terminando el experimento se enviaron las muestras para ser analizadas a Chile. Los resultados de laboratorio fueron expresados en mg L^{-1} y luego transformados en kg ha^{-1} , usando el acumulado de las emisiones y usando el área ocupada por las cámaras en el terreno.

Se realizó un registro de datos por evento para cada una de las variables, usando un protocolo del INIA de Chile para el N_2O , de Suelo Estación Experimental Mata Larga del Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), de Suelos Junta Agroempresarial Dominicana (JAD) y Fertilizantes Químicos Dominicanos (Ferquido). Además, se determinaron las concentraciones de N_2O por evento y tratamiento, y también de N en suelo, orina y pasto.

Registro de Variables Climáticas y de Suelo

Temperatura interna de la cámara: Fueron cuantificadas con un termómetro fijo de 12 cm de longitud en cada una de las cámaras, durante las horas de toma de muestras de aire. Temperatura del

ambiente: fue medida con un termómetro análogo. Precipitaciones: Se utilizó un pluviómetro análogo, fijo por el periodo de estudio y se colectaban los mm caídos durante todo el periodo del experimento.

Análisis de Suelo y Manejo de Muestras

En cada evento se realizaron muestreos de suelo para la determinación de temperatura, pH, conductividad eléctrica (CE) y nitrógeno (N). En cada evento se tomaron cinco sub-muestras de suelo, las cuales se homogeneizaban para hacer una muestra representativa para un total de 12 muestras.

Se tomó una muestra de suelos por horizonte para los análisis de laboratorio para un total de cuatro (4) y se dividieron en tres porciones para los análisis físicos, químicos y biológicos. Se tomó una muestra de 2 kg de suelo por muestra, de esta muestra se separaron 0.5 kg para el análisis microbiológico, 0.5 kg para análisis físicos y 1 kg para análisis químicos. Las muestras biológicas fueron debidamente identificadas en una funda y puestas en una hielera a 4 °C hasta su envío al laboratorio. La porción restante de 1.5 kg se dividió y se enviaron al laboratorio de Fertilizantes Químicos Dominicanos para el análisis químico y la otra porción fue enviada al laboratorio de la estación Mata Larga del Idiaf para su análisis biológico y físico.

Medición de N y Biomasa de la Pastura

Se utilizó una pradera de zacate bermuda o pasto bermuda (*Cynodon dactylon*) con siete años de establecida, a la cual se le determinó el porcentaje de N y manejo realizado. Se tomaron muestras correspondientes al área experimental de la pastura, con tres (3) sub-muestras aleatorias, utilizando el método directo y se pesaron individualmente. Posteriormente, se enviaron las muestras al laboratorio para determinar el contenido de materia seca (MS) y Proteína Cruda (PC) por el método Kjeldahl.

Análisis Estadístico

Los datos de emisiones de N_2O durante los 11 eventos fueron analizados, usando el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). Se realizaron análisis de varianza para un diseño de parcela subdividida, evaluando las interacciones triples, dobles y los efectos principales de los factores. Para los factores de

naturaleza cualitativas con cuantitativas se realizaron análisis de varianza y separación de media usando la prueba de rango múltiple de Duncan. Para los factores y variables de naturaleza cuantitativa, se realizaron análisis de regresión y se ajustaron los modelos que mejor R^2 mostraron y cuyas pendientes resultaron significativas. En los casos donde hubo interacción significativa se evaluaron los efectos simples de los niveles de los factores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Emisiones Promedio de N_2O desde el Suelo

Las emisiones de N_2O fueron en promedio de 0.56 mg L^{-1} para el testigo, 1.02 mg L^{-1} para la orina y 1.18 mg L^{-1} para la urea, durante las 11 semanas de mediciones (Cuadro 1). Se observó una mayor emisión en los tratamientos con urea y orina, siendo estadísticamente similares ($P > 0.05$). Sin embargo, solo el tratamiento con urea fue estadísticamente diferente al testigo ($P < 0.05$).

En condiciones de pastoreo con abundancia de orina y pastura manejada con fertilización con urea, se tendría una tasa de incremento de emisión de un 35% en comparación a una pastura no fertilizada.

Cuadro 1. Emisiones promedios de óxido nitroso (N_2O) en suelos pastoreados durante el período del experimento (2018).
Table 1. Average nitrous oxide (N_2O) emissions in grazed soils the during period of the experiment (2018).

Tratamiento	Emisión de N_2O		% diferencia [†]
	Promedio mg L^{-1}	kg ha^{-1}	
Testigo (T1)	0.56b	5.6b	0
Orina (T2)	1.02ab	10.2ab	↑46.00
Urea (T3)	1.18a	11.8a	↑62.00

T1 = testigo, consiste en colocar cámaras de flujo cerrado sobre el pasto; T2 = orina, aplicación de 0.250 L de orina de bovino cámara⁻¹ sobre el pasto, equivalente a 2500 L ha^{-1} ; T3 = aplicación de urea de liberación lenta al 46%, a una dosis de 36 g cámara^{-1} equivalente a 218 kg ha^{-1} de urea. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($P < 0.05$). Error experimental = 0.14; un error estándar de 0.9130; [†]Con respecto al control. Fuente: Elaborado por el autor.

T1 = control, consists of placing closed flow chambers on the grass; T2 = urine, application of 0.250 L of chamber⁻¹ bovine urine on the pasture, equivalent to 2500 L ha^{-1} ; T3 = application of 46% slow-release urea, at a dose of $36 \text{ g chamber}^{-1}$ equivalent to 218 kg ha^{-1} of urea. Means with a common letter are not significantly different, according to Duncan's test ($P < 0.05$). Experimental error = 0.14; a standard error of 0.9130; [†]With respect to control. Source: Prepared by the author.

Las emisiones en kg ha^{-1} fueron de 5.6 en el testigo, 10.2 en orina y 11.8 en urea, estas emisiones varían con el tipo de fertilizante aplicado, así como las condiciones edafoclimáticas, según lo reportado por Núñez *et al.* (2012), donde las mayores emisiones de N_2O se produjeron en el pastoreo frecuente intenso y poco frecuente intenso, con un promedio anual de $3.24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ de N_2O , reduciéndose la emisión en el pastoreo suave y el control. De acuerdo a Costantini *et al.* (2018), en el sector ganadero de Argentina la mayor contribución de N_2O se produce a partir de las excretas animales, principalmente las líquidas, es decir las deyecciones de los animales.

Los resultados obtenidos en este experimento son opuestos a los reportados por Núñez *et al.* (2019) en una pastura Tanner (*Brachiaria radicans* Napper), donde la emisión fue de 0.22 y 0.36 mg L^{-1} para urea y orina, respectivamente. Sin embargo, se aplicó una mayor dosis de orina (5000 L ha^{-1}) y mayor concentración de N (0.43%), esto podría explicar la diferencia en las emisiones de N_2O . Otro factor que pudo afectar las emisiones fue el tipo de orden de suelo y las fluctuaciones climáticas; por las propiedades físicas, químicas y biológicas presentadas por los suelos Entisoles.

La emisión de N_2O varía de acuerdo a la localización de la pastura, nivel de compactación del suelo por pisoteo de los animales y cantidad de heces y orina depositadas en la pradera (Van Groenigen *et al.*, 2005). Los resultados del experimento están en el amplio rango reportado en una revisión bibliográfica por Núñez *et al.* (2007), para diversas pasturas y tipos de manejos aplicados en estos sistemas de producción entre 0.1 - $24 \text{ kg ha}^{-1} N_2O$. Los datos mantienen la consistencia para los reportes encontrados en praderas templadas, sin embargo se observa que los factores que afectan estas emisiones son muy diversos.

Emisiones Promedio de N_2O desde el Suelo Día⁻¹ de Muestreo

Las mayores emisiones de N_2O se produjeron entre las mediciones 5 y 6 (5-8 días) con 1.98 y 1.54 mg L^{-1} , respectivamente ($P < 0.05$), reduciendo en las demás fechas de muestreo hasta un mínimo promedio de 0.44 mg L^{-1} (Cuadro 2).

De acuerdo a Oenema y Sapek (2000) y Saggart *et al.* (2007) los factores ambientales y de manejo de la pradera, como el tipo, cantidad y método de aplicación

del fertilizante nitrogenado, sistema de pastoreo, compactación del suelo, tipo de pradera y drenaje estarían controlando las emisiones de N_2O . Núñez *et al.* (2012) indican que la intensidad del pastoreo afecta las emisiones de N_2O . En la investigación afectaría el pastoreo y las deyecciones de los animales en condiciones naturales y la fertilización con N, ya que las mayores emisiones se producen de 5 a 8 días post aplicación de los tratamientos. En términos de tratamientos las mayores emisiones se producen en orina en la medición 5 (3.51 $mg L^{-1}$), seguido por la urea con 2.63 y 2.09 $mg L^{-1}$ para las mediciones 6 y 5, respectivamente ($P > 0.05$), (Cuadro 3).

Tiempos de Emisión de N_2O

Las mayores emisiones promedios de N_2O ($P < 0.05$), ocurrieron en el tiempo 40 min, post cierre de las cámaras. Siendo la urea y la orina no

Cuadro 2. Emisiones promedio de óxido nitroso (N_2O) en los días de medición en suelos con bovinos en pastoreo, 2018.

Table 2. Average nitrous oxide (N_2O) emissions on the measurement days in soils with grazing cattle, 2018.

Días	N_2O^{\dagger} $mg L^{-1}$
5	1.98 a
6	1.54 b
1	1.13 c
10	0.91 cd
7	0.86 cd
2	0.79 cde
4	0.70 de
9	0.65 de
3	0.62 de
8	0.51 de
11	0.44 e

Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($P < 0.05$). Error experimental = 0.14; un error estándar de 0.9130. [†]Promedio de los tres tratamientos por día de muestreo. Fuente: Elaborado por el autor.

Means with a common letter are not significantly different, according to Duncan's test ($P < 0.05$). Experimental error = 0.14; a standard error of 0.9130. [†]Average of the three treatments per sampling day. Source: Prepared by the author.

significativos, aunque superiores al testigo en los tres tiempos (Cuadro 4). Resultando en promedio 1.98 y 1.54 $mg L^{-1}$ N_2O para urea y orina en comparación con el testigo que reportó 0.64 $mg L^{-1}$.

Esto puede deberse a que a mayor tiempo con la cámara cerrada hay mayor concentración de gases y hay una menor exposición a escapes de estos.

Cuadro 3. Emisiones promedio por tratamiento de óxido nitroso (N_2O) en los días de medición en suelos con bovinos en pastoreo (2018).

Table 3. Average emissions per nitrous oxide (N_2O) treatment on the measurement days in soils with grazing cattle (2018).

Días	Tratamiento	N_2O $mg L^{-1}$	Días	Tratamiento	N_2O $mg L^{-1}$
5	Orina (T2)	3.51 a	9	Orina (T2)	0.50 hij
6	Urea (T3)	2.63 b	1	Urea (T3)	0.50 hij
5	Urea (T3)	2.09 bc	9	Testigo (T1)	0.49 hij
10	Urea (T3)	1.93 cd	3	Testigo (T1)	0.44 ij
7	Urea (T3)	1.85 cde	7	Orina (T2)	0.41 ij
1	Testigo (T1)	1.68 cdef	10	Orina (T2)	0.41 ij
2	Orina (T2)	1.36 defg	4	Urea (T3)	0.40 ij
4	Orina (T2)	1.34 defg	2	Testigo (T1)	0.39 ij
1	Orina (T2)	1.22 efgh	10	Testigo (T1)	0.38 ij
6	Testigo (T1)	1.10 fghi	8	Orina (T2)	0.36 ij
9	Urea (T3)	0.65 ghij	4	Testigo (T1)	0.36 ij
3	Orina (T2)	0.89 ghij	11	Orina (T2)	0.36 ij
6	Orina (T2)	0.89 ghij	11	Testigo (T1)	0.35 ij
8	Urea (T3)	0.83 ghij	5	Testigo (T1)	0.34 ij
2	Urea (T3)	0.61 hij	8	Testigo (T1)	0.32 j
11	Urea (T3)	0.61 hij	7	Testigo (T1)	0.31 j
3	Urea (T3)	0.52 hij			

T1 = testigo, consiste en colocar cámaras de flujo cerrado sobre el pasto; T2 = orina, aplicación de 0.250 L de orina de bovino cámara⁻¹ sobre el pasto, equivalente a 2500 L ha⁻¹; T3 = aplicación de urea de liberación lenta al 46%, a una dosis de 36 g cámara⁻¹ equivalente a 218 kg ha⁻¹ de Urea. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($P < 0.05$). Error experimental = 0.25; un error estándar de 0.9131. Fuente: Elaborado por el autor.

T1 = control, consists of placing closed flow chambers on the grass; T2 = urine, application of 0.250 L of chamber⁻¹ bovine urine on the pasture, equivalent to 2500 L ha⁻¹; T3 = application of 46% slow release urea, at a dose of 36 g chamber⁻¹ equivalent to 218 kg ha⁻¹ of Urea. Means with a common letter are not significantly different, according to Duncan's test ($P < 0.05$). Experimental error = 0.25; a standard error of 0.9131. Source: Prepared by the author.

Cuadro 4. Emisiones promedios de N₂O/tiempo de emisión (0, 20 y 40 minutos) en los diferentes días de medición en suelos con bovinos en pastoreo (2018).

Table 4. Average N₂O emissions/emission time (0, 20 and 40 minutes) on the different measurement days in soils with grazing cattle (2018).

Tratamiento	Tiempo	Emisión N ₂ O
		mg L ⁻¹
Testigo (T1)	0	0.58d
	20	0.46d
	40	0.64d
Orina (T2)	0	0.47d
	20	0.92cd
	40	1.54ab
Urea (T3)	0	0.43d
	20	1.15bc
	40	1.98a

T1 = testigo, consiste en colocar cámaras de flujo cerrado sobre el pasto; T2 = orina, aplicación de 0.250 L de orina de bovino cámara⁻¹ sobre el pasto, equivalente a 2500 L ha⁻¹; T3 = aplicación de urea de liberación lenta al 46%, a una dosis de 36 g cámara⁻¹ equivalente a 218 kg ha⁻¹ de urea. N₂O = óxido nitroso. Medias con una letra común no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($P < 0.05$). Error experimental = 1.28; un coeficiente de variación de 24%. Fuente: Elaborado por el autor.

T1 = control, consists of placing closed flow chambers on the grass; T2 = urine, application of 0.250 L of chamber⁻¹ bovine urine on the pasture, equivalent to 2500 L ha⁻¹; T3 = application of 46% slow release urea, at a dose of 36 g chamber⁻¹ equivalent to 218 kg ha⁻¹ of urea. N₂O = nitrous oxide. Means with a common letter are not significantly different, according to Duncan's test ($P < 0.05$). Experimental error = 1.28; a coefficient of variation of 24%. Source: Prepared by the author.

Coincidiendo estos con los datos de Berger (2011) quien obtuvo un incremento lineal desde un tiempo uno a un tiempo dos en los casos que se aplicó orina. Otra razón importante, es que de acuerdo a los resultados de emisión obtenidos en esta investigación, la orina emite más óxido nitroso que la urea de liberación lenta y el pasto. Otros estudios fueron realizados en la Universidad Federal de Paraná, en Brasil, utilizando estiércol y orina de vacas lactantes durante 75 días con tiempos de recolección entre cámaras de 0,15, 30 y 45 minutos. El tratamiento con orina obtuvo las mayores emisiones en los primeros 5 días del experimento hasta el día 20 (Simón *et al.*, 2014), siendo los resultados diferentes a los obtenidos por Núñez *et al.* (2019) en un experimento con urea y orina, aunque con dosis mayor de orina.

Factores Climáticos (Temperatura, Pluviometría)

Temperatura (°C). La temperatura más alta en promedio dentro de las cámaras durante el experimento fue de 45 °C, registrándose esta los días 6 de julio, 8 de julio y 5 de agosto, en cambio la temperatura mínima fue de 30 °C el día 13 de agosto. Mientras que la temperatura del ambiente los días con mayor temperatura fueron 6 y 7 de julio con 33 °C y la menor de 26 °C el día 26 de agosto (Cuadro 5). El patrón de emisiones por fechas no fue afectado por las temperaturas, ya que los rangos son muy similares por fechas y por lo tanto afectaron a todas las emisiones por igual.

Pluviometría (mm). Los eventos de lluvias fueron registrados durante el experimento de campo. Se midieron con un pluviómetro y la mayor precipitación ocurrió el día 6 de agosto del 2018 con 1.7 mm y los días 20, 28 y 13 de julio con menor precipitación 0.15 mm (Cuadro 6). Las mayores emisiones ocurrieron en

Cuadro 5. Temperaturas expresadas en °C del ambiente e interior de las cámaras durante julio a agosto de 2018.

Table 5. Temperatures expressed in °C of environment and interior of the chambers during July to August 2018.

Fecha Año 2018	Temperatura promedio del suelo y ambiente		
	Suelo dentro de cámara	Ambiente fuera de cámara	Máx – Mín
	----- °C -----		
6 julio	45	33	48-41
7 julio	44	33	48-38
8 julio	45	31	50-42
9 julio	44	32	49-39
12 julio	40	29	44-36
18 julio	38	30	41-35
23 julio	41	30	46-37
29 julio	43	29	47-38
5 agosto	45	30	51-40
13 agosto	30	29	31-27
26 agosto	34	26	37-30

Fuente: Elaborado por el autor.

Source: Prepared by the author.

Cuadro 6. Pluviometría diaria durante julio a agosto de 2018.
Table 6. Daily pluviometry during July to August 2018.

Fecha año 2018	Pluviometría
	mm
20 julio	0.15
28 julio	0.15
2 agosto	0.26
6 agosto	1.75
13 agosto	0.15
21 agosto	0.68
23 agosto	0.40
29 agosto	0.52

Fuente: Elaborado por el autor.
 Source: Prepared by the author.

el intervalo de 5 a 8 días, en las mediciones 5 y 6; donde no se produjeron eventos de lluvia y por lo tanto, no afectaron las emisiones; ya que la lluvia más próxima a las mediciones ocurrió el 20 de julio de 2018.

N en orina, pasto y suelo. Las concentraciones de N en la orina de los animales, podrían ser consideradas altas (4300 mg L⁻¹), y es atribuido al tipo de pasto ingerido (19 900 mg kg⁻¹) y al estatus nutricional del mismo en base al N recibido (Cuadro 7). Se utilizó una pastura de zacate bermuda (*Cynodon dactylon*) con siete años de establecida. Los resultados de N en el suelo fueron entre 0.26 y 0.27% equivalentes a 2600 y 2700 mg L⁻¹ respectivamente, estos son niveles altos de N en el suelo. Estos niveles pueden haber afectado las emisiones de N₂O (datos no mostrados).

Cuadro 7. Contenido de nitrógeno (N) en la orina y el pasto, 2018.
Table 7. Nitrogen (N) content in urine and grass, 2018.

Variable	Nitrógeno (N)	Proteína cruda	N en orina y pasto
	----- % -----		mg L ⁻¹ y mg kg ⁻¹
N de la orina*	0.43	2.69	4300
Pasto zacate bermuda** (<i>Cynodon dactylon</i>)	1.99	12.44	19 900

*mg L⁻¹; **mg kg⁻¹. Fuente: Elaborado por el autor.

*mg L⁻¹; **mg kg⁻¹. Source: Prepared by the author.

CONCLUSIONES

- Las mayores emisiones de óxido nitroso (N₂O) se produjeron con los tratamientos de urea y orina, obteniendo emisiones promedio de 1.18 y 1.02 mg L⁻¹, respectivamente. Las mayores emisiones acontecieron en las primeras semanas de muestreo, en especial las ocurridas entre los días 5 y 8, ocurriendo una reducción en los períodos siguientes por agotamiento de la fuente de N, la cual podría ser causada por una reducción de la actividad biológica por muerte de organismos y reducción de la fuente, pero esto no fue evaluado en el experimento. Las emisiones en kg ha⁻¹ fueron de 5.6 en el testigo, 10.2 en orina y 11.8 en urea, estas emisiones variaron con el tipo de fertilizante aplicado, así como las condiciones edafoclimáticas, el sistema de pastoreo usado y la carga animal. Las emisiones en kg ha⁻¹ son consideradas altas en los tres casos en comparación con resultados obtenidos en otras investigaciones en la República Dominicana y la región, variando con el tipo de suelo, fertilizante aplicado, nutrición del pasto, así como las condiciones edafoclimáticas existentes. En el tiempo 40 min posteriores al cierre de las cámaras, se registraron las mayores emisiones promedio. Esto provocado por el mayor tiempo con la cámara cerrada, lo que produce una mayor concentración de gases y una menor exposición a escapes de las cámaras.

- El suelo fue clasificado como Entisol, representativo de las principales zonas húmedas del país dedicadas a la producción de pasto para la crianza de ganado, por lo tanto, las emisiones de N₂O que sean medidas bajo estas condiciones podrían pronosticar emisiones en dichas zonas y ser aplicables a regiones similares aportando datos para los futuros inventarios nacionales de GEI en República Dominicana. Al final del estudio,

se recomienda a los ganaderos de la zona mejorar el sistema de drenaje de estos suelos, con la finalidad de reducir las emisiones de N₂O y permitir un mejor manejo de los bovinos en pastoreo sin dañar el suelo, esto en base a las propiedades de suelo determinadas.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Los conjuntos de datos utilizados o analizados durante la investigación actual están disponibles del autor correspondiente a solicitud razonable de los interesados.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflicto de intereses. Además se dan los créditos de financiamiento de la investigación y reconocimiento a la institución ejecutora.

FONDOS

La investigación fue financiada con recursos económicos del Fondo Nacional de Innovación y Desarrollo Científico y Tecnológico (Fondocyt), del Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología (MescyT) a través del proyecto MESCyT 2015-1A1-085 “Medición, cuantificación y opciones de mitigación de gases con efecto invernadero (óxido nitroso y metano entérico) emitidos por la ganadería dominicana que influyen en el cambio climático”.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Formulación y desarrollo de ideas, objetivos y desarrollo de la investigación, diseño, montaje y seguimiento de experimento, análisis de datos, así como la redacción del borrador original, correcciones del manuscrito final y sometimiento, correcciones y seguimiento del proceso en la revista: P.A.N.R.

Administración del proyecto y adquisición de fondos para la investigación, gestión de compras, levantamiento de informaciones de campo, seguimiento a los análisis de gases en el exterior y revisión de publicación: G.G.L. Dirección y supervisión de experimento, levantamiento de informaciones, análisis de datos y revisión de publicación: J.C.R. Co-dirección de experimento en campo y supervisión, levantamiento de informaciones, análisis de resultados y revisión de publicación: V.J.A.C.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al proyecto MESCyT 2015-1A1-085 “Medición, cuantificación y opciones de mitigación de gases con efecto invernadero (óxido nitroso y metano entérico) emitidos por la ganadería dominicana que influyen en el cambio climático”, del Ministerio de Educación Superior Ciencia y Tecnología, por el financiamiento de la investigación. Así también al Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF), por facilitar los terrenos de la Estación Experimental Lechera Casa de Alto para el establecimiento de los experimentos. Se agradece a las estudiantes María Solenny Alberto Plasencia y Angélica María De León Beltré, Universidad Autónoma de Santo Domingo por su participación en la recolección de datos en campo.

LITERATURA CITADA

- Berger, B. L. 2011. Emisiones de óxido nitroso producidas por la actividad ganadera en el Uruguay en condiciones de pastoreo. <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/1667/1/uy24-15490.pdf>. (Consulta: mayo 15, 2020).
- Bhatia, A., S. Pathak, and P. K. Aggarwal. 2004. Inventory of methane and nitrous oxide emissions from agricultural soils of India and their global warming potential. *Curr. Sci.* 87: 317-324.
- BMUB-GIZ (Ministerio Federal de Medio Ambiente, Protección de la Naturaleza, Obras Públicas y Seguridad Nuclear de la República Federal de Alemania-Sociedad Alemana para la Cooperación Internacional). 2015. Inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI) de la República Dominicana año base 2010. Tercera comunicación nacional del cambio climático (TCNCC). Ministerio de Medioambiente y Recursos Naturales; Presidencia de la República Dominicana, Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Santo Domingo, República Dominicana. <http://bioelectricidad.org/uploads/library/10.pdf>. (Consulta: abril 20, 2020).

- Bolan, N. S., S. Saggar, J. Luo, R. Bhandral, and J. Singh. 2004. Gaseous emissions of nitrogen from grazed pastures: Processes, measurements and modelling, environmental implications, and mitigation. *Adv. Agron.* 84: 37-120. doi: [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)84002-1](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)84002-1).
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2015. Medición de óxido nitroso en pasturas de Costa Rica. <https://www.catie.ac.cr/catie-noticias/943-miden-oxido-nitroso-en-pasturas-de-costa-rica.html>. (Consulta: septiembre 10, 2018).
- Costantini, A., M. G. Pérez, M. Busto, F. González, V. Cosentino, R. Romaniuk y M. A. Taboada. 2018. Emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera. *Cienc. Invest.* 68: 47-54.
- De Klein, C. A. M. and R. M. Monaghan. 2011. The effect of farm and catchment management on nitrogen transformations and N₂O losses from pastoral systems can we offset the effects of future intensification? *Curr. Opin. Environ. Sustainab.* 3: 396-406. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2011.08.002>.
- Di Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. W. Robledo. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Hristov, A. N., J. Oh, C. Lee, R. Meinen, F. Montes, T. Ott, J. Firkins, A. Rotz, C. Dell, A. Adesogan, W. Yang, J. Tricarico, E. Kebreab, G. Waghorn, J. Dijkstra y S. Oosting. 2013. Mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero en la producción ganadera – Una revisión de las opciones técnicas para la reducción de las emisiones de gases diferentes al CO₂. Editado por Pierre J. Gerber, Benjamin Henderson y Harinder P. S. Makkar. Producción y Sanidad Animal FAO Documento No. 177. FAO. Roma, Italia.
- Itobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental). 2013. 7 Metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. Sociedad Pública de Gestión Ambiental Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial Gobierno Vasco. Bilbao, España. https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/7metodologias_gei/es_def/adjuntos/7METODOLOGIAS.pdf. (Consulta: mayo 20, 2020).
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2015. Ejes estratégicos para la adaptación al cambio climático del sub-sector ganadero en la República Dominicana. San José, Costa Rica. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/3011>. (Consulta: mayo 15, 2020).
- Intainforma. 2011. Ganadería y efecto invernadero: mejor producción, menos contaminación de intainforma.inta.gov.ar. <https://intainforma.inta.gov.ar/ganaderia-y-efecto-invernadero-mejor-produccion-menos-contaminacion/>. (Consulta: abril 20, 2020).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4. Agriculture, forestry and other land use. S. Eggleston, L. Buendía, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.). National Greenhouse Gas Inventories Programme. IGES. Hayama, Japan. ISBN: 4-88788-032-4.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, and H. L. Miller (eds.). Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. ISBN: 978 0521 88009-1.
- Krupa, S. V. 2003. Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. *Environ. Pollut.* 124: 179-221. doi: [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(02\)00434-7](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(02)00434-7).
- Krupa, S. V. and J. F. Moncrief. 2002. An integrative analysis of the role of atmospheric deposition and land management practices on nitrogen in the US agricultural sector. *Environ. Pollut.* 118: 273-283. doi: [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00319-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00319-0).
- Lampe, C., F. Taube, M. Wachendorf, B. Sattelmacher, and K. Dittert. 2004. Fluxes of N₂O from permanent grassland with different levels of nitrogen supply. pp. 336-337. *In: D. J. Hatch, D. R. Chadwick, S. C. Jarvis, and J. A. Roker (eds.). Controlling nitrogen flows and losses. Wageningen Academic Publishers. Wageningen, Netherlands.*
- Liu, Y., Y. Li, P. Harris, L. M. Cardenas, R. M. Dunn, H. Sint, P. J. Murray, M. R. F. Lee, and L. Wu. 2018. Modelling field scale spatial variation in water run-off, soil moisture, N₂O emissions and herbage biomass of a grazed pasture using the SPACSYS model. *Geoderma* 315: 49-58. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.029>.
- McMillan, A. M. S., M. J. Harvey, R. J. Martin, A. M. Bromley, M. J. Evans, S. Mukherjee, and J. Laubach. 2014. The detectability of nitrous oxide mitigation efficacy in intensively grazed pastures using a multiple-plot micrometeorological technique. *Atmos. Meas. Tech.* 7: 1169-1184. doi: <https://doi.org/10.5194/amt-7-1169-2014>.
- MEPyD (Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo). 2016. Política nacional de cambio climático. Consejo Nacional para el Cambio Climático y Mecanismo de Desarrollo Limpio. Santo Domingo, República Dominicana. <https://cambioclimatico.gob.do/Documentos/Politica-Nacional-de-Cambio-Clima%CC%81tico-2016.pdf>. (Consulta: mayo 10, 2020).
- Núñez R., P. A., R. Demanet, A. Jara y M. L. Mora. 2012. Emisión de amoníaco y óxido nitroso en diferentes sistemas de pastoreo en el sur de Chile. *Rev. APF.* 1: 21-28.
- Núñez R., P. A., R. Demanet, F. Matus, and M. L. Mora. 2007. Grazing management, ammonia and nitrous oxide emissions: A general view. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 7: 61-99. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912007000300006>.
- Núñez R., P. A., R. Medina M., G. García L., J. Caridad del R. y V. José Asencio. 2019. Emisiones de óxido nitroso (N₂O) desde un suelo pastoreado con bovinos en pasto Tanner (*Brachiaria radicans* Napper) de República Dominicana. 55 Reunión Anual Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios. Bávaro, La Altagracia, República Dominicana.
- Oenema, O. and A. Sapek. 2000. Controlling nitrous oxide emissions from grassland farming systems; the COGANOG project. pp. 7-13. *In: O. Oenema, and A. Sapek (eds.). Effects of liming and nitrogen fertilizer application on soil acidity and gaseous nitrogen oxide emissions in grassland systems. Falenty, IMUZ publisher. Wageningen, Netherlands. ISBN: 8385735909.*
- PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo). 2010. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y INGEI en la República Dominicana. www.agricultura.gob.do. (Consulta: octubre 18, 2018).

-
-
- Saggar, S., D. L. Giltrap, C. Li, and K. R. Tate. 2007. Modelling nitrous oxide emission from grazed grassland in New Zealand. *Agric. Ecosyst. Environ.* 119: 205-216. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.010>.
- Saggar, S., N. S. Bolan, R. Bhandral, C. B. Hedley, and J. Luo. 2004. A review of emissions of methane, ammonia, and nitrous oxide from animal excreta deposition and farm effluent application in grazed pastures. *New Zealand J. Agric. Res.* 47: 513-544. doi: <https://doi.org/10.1080/00288233.2004.9513618>.
- Simón, P. L., J. Dieckow, J. Zanatta, R. Brevilieri, J. Gonçalves, F. Ferreira, B. Da Silva Pereira, and M. N. Kreusch. 2014. Mitigación de la emisión de óxido nitroso del desecho bovino en la pradera subtropical utilizando un inhibidor de la nitrificación. pp. 62-63. *In: Primera conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas agropecuarios de Latinoamérica (GALA). Serie actas INIA – 54.* Chile.
- Smith, P., D. Martino, C. Zcong, D. Gwary, H. Janzen, P. Kumar, B. Mccarl, S. Ogle, F. O'mara, C. Rice, B. Scholes, O. Sirotenko, M. Howden, T. Mcallister, G. Pan, V. Romanenkov., U. Schneider, S. Towpra-Yoon, M. Wattenbach, and J. Smith. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosoph. Trans. The Royal Soc. B Biol.* 363: 789-813. doi: <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2184>.
- Van Groenigen, J. W., P. J. Kuikman, W. J. M. de Groot, and G. L. Velthof. 2005. Nitrous oxide emission from urine-treated soil as influenced by urine composition and soil physical conditions. *Soil Biol. Biochem.* 37: 463-473. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.08.009>.