

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“EMISIÓN DE ÓXIDO NITROSO EN SUELOS DE PASTURAS  
CULTIVADAS EN ESTACIÓN SECA EN GANADERÍA LECHERA  
ALTOANDINA”**

**Presentada por:**

**LIDA GARCIA GARCIA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE EN  
CIENCIAS AMBIENTALES**

**Lima - Perú**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A Dios, a mis queridos padres Julián y Cristina, por el amor y apoyo incondicional y a mi familia Teófilo y Jazmín que fueron parte de mi motivación.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Nacional Agraria la Molina, por permitirme ser parte de ella y brindarme los conocimientos en mi formación de maestría y ser la impulsora en hacerme una mujer de ciencia al servicio de nuestro Medio Ambiente.

Al proyecto “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la Región Andina dentro del contexto de cambio climático”, ejecutada por la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), con el apoyo administrativo del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) - Coronado, Costa Rica y financiada por el Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria (FONTAGRO).

A mi patrocinador el Ph. D. Javier Ñaupari Vásquez, por el apoyo en la realización de mi tesis, por su paciencia a las correcciones y respuestas a las consultas para la conclusión del presente estudio.

Al Ph.D. Carlos Gómez Bravo y al Mg. Sc. José Haro por las experiencias compartidas.

A mis miembros de jurado, al Mg. Sc. Ever Menacho Casimiro; Mg. Sc. Ángel G. Cornejo Garrido y Mg. Sc. Rubén Bazán Tapia, por la conclusión del presente estudio.

A las instituciones de apoyo local, la cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri Junín y al Instituto San Ignacio del Oyola de Junín, por el acogimiento para la evaluación.

A mi familia, Jazmin, Teofilo y mi papa Julian por el apoyo incondicional, gracias.

A mis queridos compañeros de las maestrías en ciencias ambientales, producción animal y doctorantes, que aprendí de ustedes de cómo se trabaja en equipo de manera solidaria, responsable, disciplinada en beneficio de nuestros logros los tendré presente.

A las personas que de alguna manera contribuyeron a mi ánimo personal.

# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Pasturas para la ganadería lechera de la región puna.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Cambio climático.....</b>	<b>3</b>
2.2.1 Cambio climático e impacto en la agricultura mundial.....	3
2.2.2 Impacto del cambio climático en la ganadería peruana. ....	4
2.3 Gases de efecto invernadero.....	5
2.3.1. Gases de efecto invernadero provenientes de la Ganadería a nivel mundial. ....	7
<b>2.4 Nitrógeno en sistemas en ganaderos.....</b>	<b>7</b>
<b>2.5 Óxido Nitroso.....</b>	<b>10</b>
2.5.1 Importancia del Óxido Nitroso como GEI. ....	10
2.5.2 Origen del Óxido Nitroso proveniente del suelo – agricultura. ....	11
2.5.3 Ciclo del óxido nitroso en suelos de pastoreo. ....	12
2.5.4 Fuentes de emisión de Óxido Nitroso relacionadas con la Ganadería. ....	13
<b>2.6 Medición de emisiones de óxido nitroso en el sector agricultura del Perú. ....</b>	<b>15</b>
2.6.1 Ecuacion de estimación de emisiones directas de óxido nitroso utilizado en el Peru procedente de los suelos agrícolas (nivel 1). ....	16
2.6.2 Ecuacion de emisiones directas de óxido nitroso en el Peru procedente de manejo del estiércol.....	17
2.6.3 Incertidumbre de la metodología por defecto propuesta por el IPCC. ....	18
<b>2.7 Monitoreo Ambiental Agrario. ....</b>	<b>19</b>
2.7.1 Metodos de medición de las emisiones de N <sub>2</sub> O del suelo.....	19
<b>2.8 Factores que controlan la magnitud de las emisiones de N<sub>2</sub>O de los pastizales apacentados en invierno.....</b>	<b>20</b>
2.8.1 Espacio poroso lleno de agua (EPLLA).....	20
2.8.2 Temperatura del suelo.....	21
2.8.3 pH.....	21
2.8.4 Disponibilidad de C (Carbono). ....	21
2.8.5 Disponibilidad de N (Nitrato y Amonio). ....	22
2.8.6 Compactación del suelo y emisiones de N <sub>2</sub> O en invierno.....	22
<b>2.9 Propuestas estratégicas de reducción y mitigación de Óxido Nitroso en pasturas.....</b>	<b>23</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Lugar de ejecución.....</b>	<b>25</b>

3.1.1 Características climáticas.....	26
<b>3.2 Protocolo de medición de emisión de flujo de Óxido Nitroso en suelo.....</b>	<b>26</b>
3.2.1 Tratamientos.....	28
3.2.2 Construcción de cámara estática y sistema al vacío.....	28
3.2.2.1 Diseño y construcción de las cámaras estáticas cerradas.....	28
3.2.2.2 Diseño y construcción del Sistema de vacío.....	29
3.2.3 Consideraciones para el acondicionamiento, distribución, instalación y tratamientos de las cámaras.....	31
3.2.3.1 Acondicionamiento del sitio experimental en campo.....	31
3.2.4 Fase de Muestreo.....	33
3.2.4.1 Muestreo del aire.....	33
3.2.4.2 Medidas auxiliares de parámetros físico químicos del suelo que inciden en la emisión de óxido nitroso.....	38
3.2.5 Fase analítica.....	41
3.2.5.1 Lectura por cromatografía de gases.....	41
3.2.6 Cálculo de emisiones.....	41
3.2.6.1 Transformaciones y cálculos de concentraciones de flujos de gas óxido nitroso.....	41
3.2.7 Diseño Estadístico.....	42
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1 Parámetros físico químicos del suelo que mayor influyeron en la emisión de óxido nitroso.....</b>	<b>44</b>
4.1.1 Parámetros Físicos del suelo.....	45
4.1.2 Parámetros Químicos.....	47
<b>4.2 Emisiones de óxido nitroso.....</b>	<b>49</b>
<b>4.3 Correlación de parámetros.....</b>	<b>52</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>54</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>56</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>73</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Principales Gases de Efecto Invernadero GEI. ....	6
Cuadro 2: Valores métricas del potencial de calentamiento global (PCG) de los principales GEI (EI2 - EI5). ....	6
Cuadro 3: Óxidos de Nitrógeno (NOx). ....	8
Cuadro 4: Aproximación de emisiones de N-N <sub>2</sub> O a un año de medición de algunos estudios internacionales, en producción animal, en suelos de pasturas cultivadas. ....	14
Cuadro 5: Inventario de emisiones de GEI para el sector Agricultura Perú – 2012. ....	16
Cuadro 6: Comparación entre las técnicas de la cámara estática y las técnicas micrometeorológicas. ....	20
Cuadro 7: Emisión promedio por cámara de flujo mg N-N <sub>2</sub> O /m <sup>2</sup> /h. ....	51
Cuadro 8: Emisión de flujos acumulados en cámaras N-N <sub>2</sub> O por tratamientos. ....	51
Cuadro 9: Emisiones de N <sub>2</sub> O del proyecto 34 días. ....	52
Cuadro 10: Correlación de parámetros de mayor influencia a la emisión de N <sub>2</sub> O. ....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: El Ciclo general del nitrógeno (Adaptado de Harrison, 2003). .....	8
Figura 2: Distribución del óxido nitroso a nivel global .....	11
Figura 3: Ciclo del Nitrógeno en los Sistemas Bovinos.....	12
Figura 4: Mapa de Ubicación del experimento .....	25
Figura 5: Flujo de secuencias del diseño.....	27
Figura 6: Diseño de la cámara estática.....	29
Figura 7: Sistema al Vacío de viales .....	30
Figura 8: Crimpado o sellado de viales.....	31
Figura 9: Potrero de ubicación de la parcela experimental de pastura .....	32
Figura 10: Distribución de las cámaras en la parcela.....	32
Figura 11: Instalación de las cámaras .....	33
Figura 12: Toma de muestra .....	37
Figura 13: Recirculación del aire .....	37
Figura 14: Parámetros físico del suelo que mayor influye en la emisión de óxido nitroso.....	44
Figura 15: Precipitación del periodo en estudio.....	45
Figura 16: Parámetros químicos del suelo que mayor influyeron en la emisión de óxido nitroso.....	47
Figura 17: Distribución del Flujo diario de N-N <sub>2</sub> O en 34 días de evaluación .....	50

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Prueba de vacío de viales .....	73
Anexo 2: Cromatografía de gases .....	73
Anexo 3: Adición de Orina las cámaras de medición .....	73
Anexo 4: Vaciado de viales.....	74
Anexo 5: Almacenamiento y transporte en cajas de tecnopor .....	74
Anexo 6: Muestras de suelo en la estufa, para determinar el % de Humedad .....	74
Anexo 7: Muestreador metálico .....	75
Anexo 8: Flujo lineal N-N <sub>2</sub> O mg/m <sup>2</sup> /h - Época seca (sin extrapolar).....	75
Anexo 9: Flujo diario y acumulado de N-N <sub>2</sub> O mg/m <sup>2</sup> /h - Época seca (interpolado) .....	76
Anexo 10: Cálculos de conversión de las emisiones de N <sub>2</sub> O-N en emisiones de N <sub>2</sub> O en la parcela de pastura en evaluación de la cooperativa agraria San Francisco de Chichausri Junin. ....	77
Anexo 11: Distribución de las cámaras en la parcela.....	79
Anexo 12: Parámetros adicionales (Caracterización del suelo) .....	79
Anexo 13: Resultados de concentraciones de nitrato y amonio del laboratorio de suelos UNALM .....	80
Anexo 14: Parámetros físico químicos que mayor influyen en la emisión N-N <sub>2</sub> O.....	82
Anexo 15: Medidas de alturas internas de las cámaras, para ecuación del flujo lineal de óxido nítrico (donde $h = \text{Volumen} / \text{Área}$ ) .....	82
Anexo 16: Corrida del SAS en flujos acumulados de N-N <sub>2</sub> O (con y sin orina) .....	83
Anexo 17: Resultados del DCA - flujos acumulados de N-N <sub>2</sub> O y N <sub>2</sub> O.....	83



## LISTA DE ACRÓNIMOS

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
<b>CENAGRO</b>	Censo Nacional Agropecuario
<b>CFC</b>	Clorofluorocarbonos
<b>CG</b>	Cromatografía de gases
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>CMNUCC</b>	Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>ECD</b>	Detector por Captura de Electrones
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>GgCO<sub>2e</sub></b>	Gigagramos de dióxido de carbono equivalente
<b>IE2</b>	Segundo informe de evaluación IPCC 2007
<b>IE5</b>	Quinto informe de evaluación IPCC 2014
<b>INGEI</b>	Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel intergubernamental del cambio climático)
<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente
<b>N<sub>2</sub></b>	Dinitrogeno (N=Nitrógeno)
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido nitroso
<b>NH<sub>4</sub></b>	Amonio
<b>NO<sub>2</sub></b>	Nitrito
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrato
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono troposférico
<b>PPM</b>	Partes por millón
<b>PVC</b>	Policloruro de vinilo
<b>EPLLA</b>	Espacio poroso lleno de agua

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar directamente las emisiones de óxido nitroso ( $N_2O$ ) en un suelo de pastura cultivada en ganadería lechera altoandina durante la estación seca en la Cooperativa de Agraria de San Francisco de Chichausiri, departamento de Junín, Perú. Se evaluaron dos tratamientos, con y sin orina, para medir la emisión de flujos de  $N_2O$  en 16 cámaras de flujo cerrado durante 34 días de experimentación en Agosto – Setiembre 2017. También se evaluaron los factores ambientales, físicos-químicos con mayor influencia en las emisiones de  $N_2O$ , como temperatura, densidad, espacio poroso lleno de agua (EPLLA), amonio ( $NH_4$ ) y nitrato ( $NO_3$ ). Las muestras de gases se colectaron en viales vaciados obtenidos de las cámaras de flujo cerrado, las cuales fueron luego enviadas al laboratorio de bioquímica nutricional de la facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina, para la respectiva lectura por cromatografía de gases. El estudio mostró una diferencia significativa ( $P<0.05$ ) en emisiones de flujo acumulado promedio por cámara siendo 427.34 mg de N- $N_2O$  / $m^2$  y 92.78 mg N- $N_2O$ / $m^2$  para el tratamiento con orina y sin orina respectivamente. Así mismo, se identificó una correlación alta y positiva de la emisión  $N_2O$  con la concentración de  $NH_4$  ( $r=0.9$ ). El flujo de emisión de  $N_2O$  del tratamiento con orina mostró valores 4.6 veces más altos sobre el tratamiento sin orina.

**Palabras clave:** óxido nitroso; suelo; pastura; cámara estática; amonio

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions in soils of cultivated pastures from San Francisco of Chichausiri, an Agrarian Cooperative in the Department of Junín, Peru, during the dry season. Two treatments were experimentally evaluated, with and without urine, to measure flux emissions of N<sub>2</sub>O in 16 flow chambers during 34 days of experimentation in August and September 2017. Environmental, physical-chemical factors with higher influence on N<sub>2</sub>O emissions such as temperature, density, porous space filled with water (EPLLA), ammonium (NH<sub>4</sub>) and nitrate (NO<sub>3</sub>) were also evaluated. Gas samples were collected in emptied vials obtained from closed flow chambers, which later were sent to the Nutritional Biochemistry Laboratory of the Animal Science College at La Molina National Agrarian University, for gas chromatography assessment. Significant differences (P <0.05) were found in mean cumulative flux emissions per flow chamber where 427.34 mg of N-N<sub>2</sub>O / m<sup>2</sup> and 92.78 mg N-N<sub>2</sub>O / m<sup>2</sup> were the numbers found for with and without urine treatments respectively. Likewise, a high and positive correlation of the N<sub>2</sub>O emission was identified with the NH<sub>4</sub> concentration (r = 0.9). The flow of N<sub>2</sub>O emission for the urine treatment was 4.6 higher than the without urine treatment.

**Keywords:** nitrous oxide; soil; pasture; static camera; ammonium

## I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático global es un tema importante en el debate científico y político a nivel mundial, particularmente en los países de actividad agrícola y ganadera. El Perú se incorporó al protocolo de Kioto el año 2002, ratificando el compromiso y obligaciones de estabilizar las concentraciones y reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmosfera ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (MINAM, 2016a). Es así que el Perú mediante el Ministerio del Ambiente (MINAM) obtuvo el último Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), donde se reporta que el tercer sector con mayor emisión de GEI es Agricultura, y dentro de ella el suelo agrícola es la principal fuente de emisión directa del óxido nitroso ( $N_2O$ ) (MINAM, 2016b).

Es así que en el manejo de pasturas, uno de los contribuyentes potenciales para la emisión directa del  $N_2O$  en el suelo son las deposiciones de heces y orina de los animales en pastoreo (Mosier *et al.*, 1998). Cabe mencionar que este último reporte de las emisiones de  $N_2O$  en suelos de praderas y pasturas, se calcularon en base a los lineamientos de las directrices del Panel Intergubernamental del cambio climático (IPCC), aplicando para ello metodologías de medición por estimaciones, cuyo dato de emisión que se reporta, puede diferir la capacidad de emisión de  $N_2O$  en estos sistemas de alimentación y genera incertidumbre. El sistema de alimentación con pastura cultivada en altura es muy relevante para la mejora de la producción del ganado lechero en el Perú. Sin embargo no existen estudios de emisiones directas de  $N_2O$  en los suelos de pasturas en alturas, por lo que es necesario generar información a través de métodos más directos.

Es por ello que el presente trabajo de investigación se tiene como principal objetivo determinar la emisión de Óxido Nitroso en suelo de una pastura cultivada de estacion seca en ganadería lechera de la cooperativa agraria San Francisco de Chichausiri - Junín y se identificaran los principales factores físico químicos del suelo que influyen en dicha emisión.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Pasturas para la ganadería lechera de la región puna.

El Perú cuenta con 38'742,465 hectáreas dedicadas a la actividad agropecuaria, equivalente al 30.1% del territorio nacional según el último Censo Nacional Agropecuario CENAGRO 2012 (MINAM, 2016b) y evaluaciones efectuadas en el año 1994 (MINAG, III CENAGRO) determinaron que la superficie agropecuaria de la Sierra del Perú se extiende en unos 22'694,100 ha, de las cuales 2'833,800 ha (12.5 %) corresponde a superficie agrícola (MINAGRI, 2015a). Se considera a la ganadería como la principal actividad de ocupación y ingresos económicos del poblador altoandino, debido a que esta actividad se ubica a más de 3,500 metros sobre el nivel del mar, posee la presencia de los recursos pastoriles (praderas naturales y cultivadas) trascendente e importante para el desarrollo de esta actividad; las cuales se concentran principalmente en las comunidades campesinas de bajos ingresos económicos, educación y nivel de vida, por lo que otras actividades agrarias son menos posibles o imposibles de desarrollarse (Vivanco, 2007).

En este escenario la zona alto andina del Perú alberga sistemas de producción animal una de ellas se «*caracteriza por la utilización de bovinos de doble propósito (leche y carne), alimentados en praderas naturales y pasturas*» (FONTAGRO, 2014). Según datos estadísticos proporcionados por la Dirección de estadística Agraria del Ministerio de agricultura y riego (MINAGRI), las población de vacuno a nivel nacional para el año 2012 fue 5'660,948, con una población nacional de ganado lechero de 859,630 unidades de vacas en ordeño (MINAM, 2016b) y el departamento de Junín considerado como uno de los primeros productores de leche en el Perú (Perulactea, 2018), con una población de 29,927 vacunos de leche (MINAM, 2016b).

El desarrollo de la ganadería lechera altoandina (rural) se basa principalmente en pasturas cultivadas permanentes bajo riego o secano (Vivanco, 2007). La composición de especies de pasturas comprende gramíneas tales como Ryegrass (*Lolium perenne* o *L. multiflorum*), pasto ovillo o dactylis (*Dactylis glomerata*) y leguminosas tales como trébol blanco (*Trifolium repens*) y rojo (*T. pratense*) o monocultivos de avena forrajera. Adicionalmente

se suman el heno y ensilado ofrecidos en periodos de escasez de forraje (FONTAGRO, 2014).

## **2.2 Cambio climático.**

De acuerdo a los registros históricos de los eventos climáticos, se reporta que los cambios climáticos fueron por causas naturales, en diferentes escalas de tiempo (Crowley y North, 1988) y por actividades antrópicas durante los últimos 50 años (Oreskes, 2004). Para el Panel Intergubernamental del cambio climático (IPCC), es la variación del estado del clima durante largos períodos de tiempo, que se han llegado a demostrar e identificar mediante pruebas estadísticas; para la Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), conceptualiza como al cambio del clima que altera la composición de la atmósfera de la tierra a consecuencia de a actividad humana observada durante períodos de tiempo comparables (IPCC, 2007)

Cuando se habla del cambio climático los principales temas a tratar son la temperatura, patrones climáticos, niveles del mar, hielo y el ozono (Teague y Gallicchio, 2017). Para Eggleton (2017) son patrones climáticos casos como el incremento del nivel del mar, reducción del hielo marino del Ártico, aumento del calor oceánico, reducción del pH del océano (cambios en la salinidad) y el incremento de la temperatura global a una tasa de 1.6 °C por siglo.

### **2.2.1 Cambio climático e impacto en la agricultura mundial.**

El cambio climático, se verá reflejada en los cambios de precipitación, desaparición de los glaciares, las cuales afectaran la disponibilidad de agua para el consumo humano, para la agricultura y para la generación de energía. (IPCC, 2007); la agricultura será la más vulnerable al cambio climático, y en aquellos países en vías de desarrollo, principalmente en aquellos agricultores pequeños que dependen del régimen de las lluvias debido al impacto directo en el rendimiento de los cultivos mas destacados bajo riego, por el incremento de las temperaturas y cambios en el régimen de las lluvias, estos daños serán severamente afectadas e impactaran en la producción agrícola (Altieri, 2009; FAO, 2009).

En la producción pecuaria también será afectada y tendrá impactos significativos en los recursos globales dando lugar a la competencia agua y pastos (FAO, 2006). Los años de sequía serán frecuentes esto conllevara a una reducción de rendimiento de forraje y valor

nutricional, lo que constituye una restricción clave en el bienestar y salud animal; ello se vería reflejada en la producción y reproducción de la ganadería (Amamou, 2018). Por ello en la producción láctea, los pastizales de riego son probables que se vean afectados por los cambios climáticos, obstaculizando en las vacas su expresión de alto rendimiento a medida que aumentan los requerimientos de agua y esta se vea disminuida (Hanslow *et al.*, 2013).

Muchos estudios y modelos predicen una disminución de la seguridad alimentaria en países en desarrollo asumiendo escenarios de severos cambios en el clima y poca capacidad de adaptación a los cambios a nivel de fincas (Reddy y Hodges, 2000 citado por Altieri, 2009).

### **2.2.2 Impacto del cambio climático en la ganadería peruana.**

El Perú posee la cordillera de los Andes, un fenómeno geológico que divide al país en las tres regiones geográficas: costa, sierra y selva; por lo que determina y modifica sus condiciones ecológicas y climáticas. Pero sin embargo las características del cambio climático a nivel nacional se manifiesta mayormente como el aumento de la temperatura, incremento y disminución de las precipitaciones en la costa y la sierra respectivamente, disminución de áreas cubiertas por glaciares; estas han cambiado lenta y progresivamente durante los últimos años. También se han registrado eventos climáticos extremos como sequías (particularmente en la sierra central), inundaciones y heladas tienen impactos significativos en el territorio nacional, generando importantes pérdidas económica (BID y CEPAL, 2014)

*«La mayoría de vacunos, ovinos y camélidos en el Perú se localizan entre los 2200 y 4500 metros sobre el nivel del mar, y están en manos de las comunidades campesinas, que utilizan los pastizales como recurso básico para la alimentación de sus animales. La ecorregión Puna, donde se desarrolla la mayoría de la ganadería extensiva, abarca un área de más de 21 millones de hectáreas, de pastizales, humedales, glaciares, cuerpos de agua y zonas de protección, y es un ecosistema clave para la economía nacional, por los productos y servicios ambientales que brinda a la sociedad»* (Brown y MacLeod, 2011) citado por (BID y CEPAL, 2014). *«Debido a la fragilidad de los ecosistemas que alberga esta zona y a los altos índices de pobreza que exhibe, ha sido considerada como una zona de alta vulnerabilidad a los impactos del cambio climático»* (Vidal y Muñoz 2010 y Flores *et al.*, 2011 citados por BID y CEPAL, 2014).

Así como también por la competencia de espacio del sector agrícola, debido a los desplazamientos a las zonas más altas, esta afectaría en la reducción de los ecosistemas de pajonales, bofedales, arbustales y por ende la capacidad de carga de los pastizales en el sector ganadero, por efecto del cambio climático para fines de siglo. En consecuencia la contribución a la sostenibilidad de la seguridad alimentaria y la economía nacional se vería notablemente afectada. (BID y CEPAL, 2014)

El Perú es uno de los países que cuenta con un marco legal para mitigación y adaptación al cambio climático. La ley 30754, promulgada el 18 de abril del 2018 tiene por objeto « *establecer los principios, enfoques y disposiciones generales para coordinar, articular, diseñar, ejecutar, reportar, monitorear, evaluar y difundir las políticas públicas para la gestión integral, participativa y transparente de las medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, a fin de reducir la vulnerabilidad del país al cambio climático, aprovechar las oportunidades del crecimiento bajo en carbono y cumplir con los compromisos internacionales asumidos por el Estado ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, con enfoque intergeneracional*»

### **2.3 Gases de efecto invernadero.**

Los gases de efecto invernadero (GEI) son los componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antropógenos. En los últimos años se han estimado aumentos de temperatura en la atmósfera y los océanos, esto debido principalmente a las emisiones de GEI como; el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), ozono troposférico (O<sub>3</sub>) y los clorofluorocarbonos (CFC)); en consecuencia el calentamiento global (Benavides y León, 2007 y IPCC 2007). Los gases de efecto invernadero (GEI) se clasifican directos e indirectos (Cuadro 1).



**Cuadro 1: Principales Gases de Efecto Invernadero GEI.**

	Nombre	Fuente
Directos Principales gases causantes del calentamiento en el planeta	Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	Asociado a las actividades humanas como el consumo de combustibles fósiles como el carbón, leña, petróleo, derivados y gas natural, para generar energía.
	Metano CH <sub>4</sub>	De la descomposición de materia orgánica, así como las actividades agropecuarias, en la fermentación entérica como consecuencia del proceso digestivo del ganado, descomposición en condiciones anaerobias del estiércol generado por especies pecuarias, cultivos de arroz y quemadas de sabanas; así como la disposición de residuos sólidos y el tratamiento anaerobio de las aguas residuales domésticas e industriales.
	Óxido Nitroso N <sub>2</sub> O	De origen natural y de actividades antropogénicas, la fuente más importante del óxido nitroso son las emisiones generadas por suelos agrícolas y en menor grado por los combustibles fósiles para generar energía y por descomposición de proteínas de las aguas residuales domésticas. Otras fuentes menores de N <sub>2</sub> O son la quema de residuos y biomasa.
Indirectos Son precursores de ozono troposférico	Óxidos de nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	Se originan en actividades antropogénicas (motores de automóviles y centrales de energía) y naturales (quema de biomasa, relámpagos y actividad microbiana del suelo).

Fuente: Adaptado de Benavides y León, (2007) y Garzón y Cárdenas (2013).

Según el IPCC (2007) y IPCC (2014), el incremento de las concentraciones mundiales de CO<sub>2</sub> se debe principalmente al uso de combustibles de origen fósil, CH<sub>4</sub> se debe predominantemente a la agricultura y al uso de combustibles fósiles y de N<sub>2</sub>O se debe principalmente a las actividades agrícolas. En el (Cuadro 2) se tiene los valores del potencial de calentamiento global (PCG) que se han actualizado desde el en el IE2 y IE4 al IE5 del IPCC.

**Cuadro 2: Valores métricas del potencial de calentamiento global (PCG) de los principales GEI (EI2 - EI5).**

Potencial de calentamiento global (PCG)				
		IE2-1995	IE4-2007	IE5-2014
GEI	Duración (años)	Forzamientos acumulados durante 100 años	Forzamientos acumulados durante 100 años	Forzamientos acumulados durante 100 años
CO <sub>2</sub>	b	1	1	1
CH <sub>4</sub>	12,4	21	25	28
N <sub>2</sub> O	121,0	310	298	265

b\* No se puede asignar un único período de duración al CO<sub>2</sub>.

Fuente: adaptado de IPCC (1995, 2007 y 2014)

### **2.3.1. Gases de efecto invernadero provenientes de la Ganadería a nivel mundial.**

Los principales GEI inducidas por el ser humano y generados por la ganadería a nivel mundial es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), con cifras de 18 por ciento según (FAO, 2006) y 14,5 por ciento según el IPCC y estas son medidas en equivalentes de CO<sub>2</sub>; actualmente el IPCC indica que la ganadería emite 7,1 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> - eq por año, frente al total global de las emisiones antropógenas de 49 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> - eq por año (Gerber *et al.*, 2013).

En el sector ganadero se distribuye la emisión de los gases alrededor de : 44 por ciento de CH<sub>4</sub>; 29 por ciento de N<sub>2</sub>O y el 27 por ciento de CO<sub>2</sub>, de las cuales resultando que la especie principal que genera mayores emisiones en el sector, es el vacuno (Gerber *et al.*, 2013)

Gerber *et al.* (2013), también distribuye las contribuciones de las emisiones por especies en el sector de la siguiente manera: Vacunos de carne con 2,9 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> - eq (41 por ciento); Vacunos de leche con 1,4 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> - eq ( 20 por ciento); Carne de cerdo con 0,7 gigatoneladas de CO<sub>2</sub> - eq (9 por ciento); Búfalos de carne y leche (8 por ciento); Pollo de carne y huevos (8 por ciento); Leche y carne de los pequeños rumiantes (6 por ciento) y el resto de las emisiones de otras especies de aves de corral y productos no comestibles (8 por ciento).

### **2.4 Nitrógeno en sistemas en ganaderos.**

Llamado también nitrógeno gaseoso, dinitrogeno y nitrógeno molecular diatómico (N<sub>2</sub>), es un gas que representa el 78.08 por ciento del volumen total de la atmósfera de la Tierra, para que las plantas y los animales puedan utilizar el N<sub>2</sub> en primer lugar tiene que ser convertida a una forma química disponible como es el amonio (NH<sub>4</sub>), nitrato (NO<sub>3</sub>) y el nitrógeno orgánico (*urea*); por lo tanto el N<sub>2</sub> que se origina en la atmósfera para los procesos biológicos también retornara finalmente a la atmosfera como gas de N<sub>2</sub> (Vitousek *et al.*, 1997; Harrison, 2003 y Thomson *et al.*, 2012).

Existe una familia muy interesante e importante que contribuyen a la contaminación del aire que son los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Donde el nitrógeno (N) en su forma monoatómica, puede reaccionar y poseer niveles de ionización llamados estados de valencia; por lo que el nitrógeno forma varios óxidos diferentes (Cuadro 3). Los óxidos de nitrógeno más

abundantes en el aire son el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el óxido nítrico ( $NO$ ) y el bióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) (EPA, 1999).

**Cuadro 3: Óxidos de Nitrógeno ( $NO_x$ ).**

Fórmula	Nombre	Valencia del Nitrógeno	Propiedades
$N_2O$	óxido nitroso	1	gas incoloro soluble en agua
$NO, N_2O_2$	óxido nítrico, bióxido de dinitrógeno	2	gas incoloro ligeramente soluble en agua
$N_2O_3$	trióxido de dinitrógeno	3	sólido negro, soluble en agua, se descompone en agua
$NO_2, N_2O_4$	bióxido de nitrógeno, tetróxido de dinitrógeno	4	gas café rojizo, muy soluble en agua, se descompone en agua
$N_2O_5$	pentóxido de dinitrógeno	5	sólido blanco, muy soluble en agua, se descompone en agua

Fuente: (EPA, 1999)

**a. Ciclo general del Nitrogeno.**

En la Figura 1 podemos observar muy claramente el ciclo general del nitrógeno: las flechas amarillas indican las fuentes de nitrógeno en el ambiente de origen antropico, las flechas rojas indican la actividad microbiana de transformaciones del nitrógeno, las flechas azules indican las fuerzas físicas sobre el nitrógeno y las flechas verdes los procesos naturales y no microbianos.

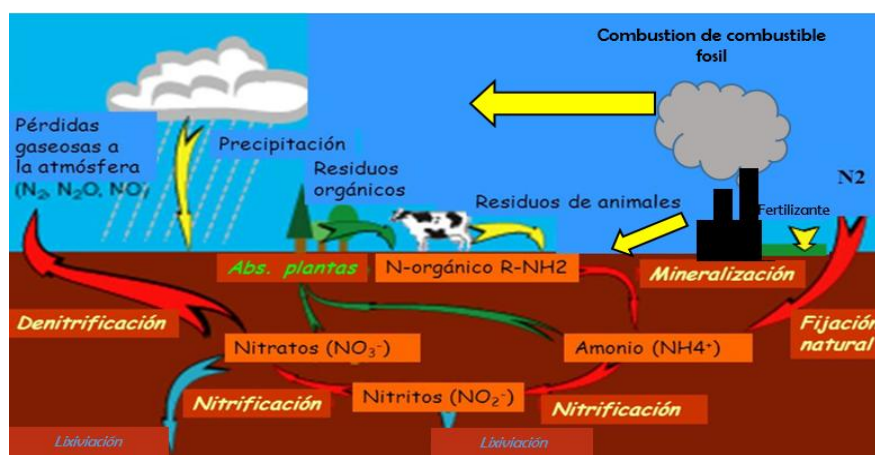
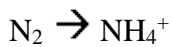


Figura 1: El Ciclo general del nitrógeno (Adaptado de Harrison, 2003).

## **b. Los procesos del ciclo del nitrógeno**

- **La fijación del Nitrógeno**



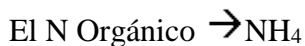
Ocurre generalmente en las raíces de las plantas de la familia de las leguminosas en simbiosis más conocidas a las bacterias del género *Rhizobium*, que fijan el nitrógeno a través de procesos metabólicos y es la única manera en el que los organismos vivos pueden obtener nitrógeno  $\text{N}_2$  directamente de la atmósfera para convertirla a amonio.

- **La toma del Nitrógeno**



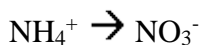
Se refiere al amonio asimilado por la planta que es incorporado rápidamente a los procesos dinámicos de las proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos de nitrógeno orgánico, ya sea por la planta, bacteria u otro organismo del suelo.

- **La mineralización del Nitrógeno**



Frecuentemente se convierte el nitrógeno orgánico a nitrógeno inorgánico ( $\text{NH}_4$ ) a través del proceso llamado mineralización del nitrógeno. Esto ocurre cuando la materia orgánica se descompone y es consumido por bacterias y hongos desintegramola, a amonio. Esta es donde el nitrógeno esta de forma disponible para ser asimilado por las plantas o para continuar el proceso de transformación a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a través del proceso llamado nitrificación.

- **Nitrificación**



Una parte del amonio producido en la descomposición de la materia orgánica, se convierte en nitrato a través del proceso llamado nitrificación. Las bacterias que actúan en este proceso obtienen energía de esta reacción, para que suceda la nitrificación se requiere ambientes ricos en oxígeno (proceso aeróbico), así como en el suelo y aguas que circulan o que fluyen en la superficie de los suelos y sedimentos.

- **La Desnitrificación**



Es el proceso donde el nitrato ( $\text{NO}_3$ ) y el nitrito ( $\text{NO}_2$ ) se convierten en dinitrogeno ( $\text{N}_2$ ), y en menor grado en gas de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Este proceso ocurre en condiciones anaeróbicas llevado a cabo por la bacteria que desnitrifica en la siguiente secuencia:



El resultado de este proceso, como el óxido nítrico ( $\text{NO}$ ) contribuye a formar el smog, y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es un gas de invernadero importante, por lo que contribuye a los cambios globales climatológicos (Harrison, 2003).

## **2.5 Óxido Nitroso**

El óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) es un gas volátil y estable, su estructura molecular consiste en la unión de dos moléculas de nitrógeno y una de oxígeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ), que no reacciona con otros elementos, posee una masa molecular de 44.013 g/mol. Desde su invento de la fijación abiótica ( $\text{NH}_3$ , llamado fijación de nitrógeno), dio lugar a la introducción e incremento de fertilizantes sintéticos nitrogenados en la agricultura, con ello al incremento de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  del suelo. (Thomson *et al.*, 2012; IPCC, 2007 y ECHA, 2018).

### **2.5.1 Importancia del Óxido Nitroso como GEI.**

Las concentraciones de óxido nitroso se han estado incrementado desde los últimos años desde la actividad preindustrial. Donde una molécula de este gas tiene un potencial de calentamiento de 298 veces más que una molécula de dióxido de carbono (Solomon *et al.*, 2007 y IPCC 2007); 296 (FAO 2006); 265 (IPCC, 2014). y 310 veces más que el  $\text{CO}_2$  según (IPCC, 1995). El  $\text{N}_2\text{O}$  es una sustancia que causa el agotamiento de la capa de ozono tanto en la tropósfera (debajo de los 10,000 pies sobre el nivel del mar) como en la estratósfera (50,000 - 150,000 pies de altura) (EPA, 1999 y Thomson *et al.*, 2012), su concentración mundial es alrededor del 0,03 por ciento de las emisiones totales de GEI y en unidad equivalente a  $\text{CO}_2$  representa aproximadamente el 10 % de las emisiones totales, con una vida útil de 114 años según (Thomson *et al.*, 2012); 100 años (Solomon *et al.*, 2007); 100 y 150 años (EPA, 1999); 121 años (IPCC, 2014).

En la Figura 2 se distribuye el total del óxido nitroso a nivel global, emitido por diversas fuentes y actividades humanas. Adaptado de los datos de la Contribución del Grupo de Trabajo III al cuarto informe de evaluación del panel intergubernamental sobre el cambio climático, 2007. (Thomson *et al.*, 2012)

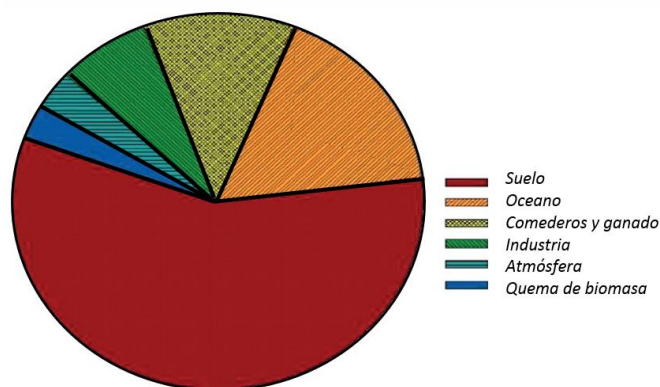


Figura 2: Distribución del óxido nitroso a nivel global

Fuente: IPCC (2007), adaptado por Thomson *et al.*, 2012).

### 2.5.2 Origen del Óxido Nitroso proveniente del suelo – agricultura.

Probablemente la actividad humana es el principal responsable de incrementar la concentración de  $N_2O$  en la atmósfera (Bouwman y Boumans, 2002). El alto porcentaje de emisión de  $N_2O$  se atribuye a la agricultura, debido principalmente a la aplicación de fertilizantes de N y el estiércol aplicado a los suelos (IPCC, 2007). Los suelos agrícolas proveniente de los pastizales utilizados por el pastoreo de los animales, son la mayor fuente de emisión de  $N_2O$  (Luo *et al.*, 2010), ya que el N es devuelto al suelo por parte de la orina y heces del ganado (Di y Cameron, 2006; Ambus *et al.*, 2007 citado por Berger, 2011); se calcula que el 65 por ciento de las emisiones antropogénicas globales de óxido nitroso, es a consecuencia del sector pecuario, estas tendencias de estos niveles pueden ser incrementados considerablemente durante las próximas décadas. (FAO, 2006)

La fuente natural del óxido nitroso se produce en el suelo, son por dos procesos microbiológicos muy importantes en el ciclo del nitrógeno que son: la nitrificación y la desnitrificación, que se suscita en el suelo, después de haber sido depositado como: materia orgánica, urea y estiércol (orina y heces), las cuales son asimiladas en los diferentes procesos por las bacterias aerobias y anaerobias que transformaran estos compuestos y darán origen a productos intermediarios como el  $N_2O$  (Smith *et al.*, 2003; Chapuis-Lardy *et al.*, 2007 citados por Arenas, 2015).

«La cantidad de óxido nitroso que se pueda producir en el suelo depende entonces de la cantidad de nitrato disponible junto a las condiciones de humedad del suelo, ya que en condiciones anaerobias tanto para bacterias anaerobias estrictas como las facultativas, el nitrato es un buen sustrato alternativo para los procesos de respiración en ausencia de oxígeno» (Arenas, 2015). Por lo que las actividades humanas son las encargadas de incrementar o disminuir estas emisiones, ya que estas fuentes antropogénicas están asociadas a la producción de alimentos para la seguridad alimentaria de los países y descargan cantidades de nitrógeno al suelo, el uso de fertilizantes sintéticos en suelos de cultivo y la excreción de estiércol por los animales en los suelos de areas ganaderas. (IPCC, 2007; Syakila y Kroeze., 2011 y Thomson *et al.*, 2012)

### 2.5.3 Ciclo del óxido nitroso en suelos de pastoreo.

A sabiendas que el óxido nitroso es un producto intermedio de los procesos de nitrificación (oxidación biológica del amoníaco a nitrito y nitrato) y desnitrificación (reducción biológica del nitrato a compuestos gaseosos de N) en el suelo (Firestone y Davidson, 1989).

En la Figura 3 se verifica el ciclo del nitrógeno en los suelos de pastoreo, donde las fuentes de N provienen del uso de fertilizantes sintéticos y estiércol (orina y heces) de los animales (Faverin *et al.*, 2014).

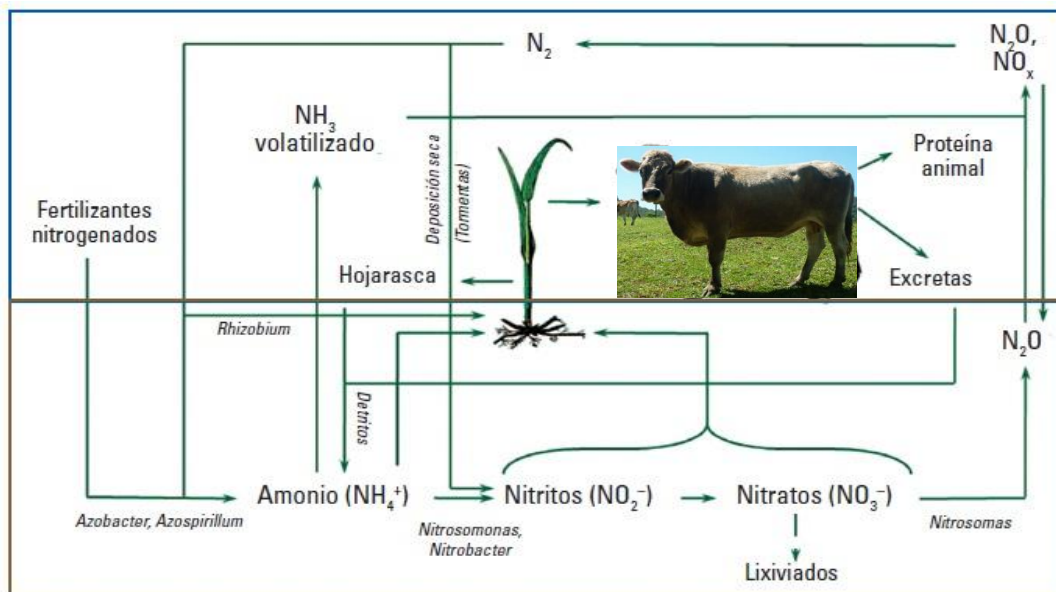


Figura 3: Ciclo del Nitrógeno en los Sistemas Bovinos

Fuente: de Klein y Legard (2005) y Subbarao *et al.*, (2006) adaptado por Garzón y Cárdenas 2013.

En la fertilización nitrogenada sintética principalmente se refiere a la aplicación de urea al suelo, donde esta es transformada por los géneros de bacterias (*Azobacter*, *Azospirillum*) a compuestos de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (Vallejo *et al.*, 2007). En el caso de compuestos nitrogenados orgánicos (materia orgánica - hojas rascas, excretas) detritus, estos son transformados a  $\text{NH}_4^+$  por medio de la amonificación por un grupo de descomponedores como hongos y Archaeas (organismos unicelulares procariotas) que también intervienen en estos procesos (Baggs, 2011 citado por Garzón, 2017). Pero en cambio en la nitrificación el  $\text{NH}_4$  es oxidado a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y luego a nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), la cual puede ser realizada en su mayor parte por bacterias autótrofas (Odu y Adeoye 1970); como las bacterias oxidantes del amonio llamadas *Nitrosomonas* y bacterias oxidantes de nitrito llamados *Nitrobacter*, siendo esta la forma nitrogenada soluble ( $\text{NO}_3^-$ ) de fácil absorción por las plantas (Orozco 1999; Subbarao *et al.*, 2006).

Las plantas obtienen el nitrógeno necesario para sus ciclos vitales, a través de los nitratos y el amonio, pero debido al incremento de nitrógeno en el suelo por la fertilización, la cantidad de nitratos es muy excedente para la asimilación por parte de las plantas, por lo que se lixivian por aguas subterráneas y terminan en pozos de agua, lo cual genera la eutrofización (Orozco, 1999). El nitrato que no se lixivian o absorbe por las plantas se transforma en óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y nitrógeno atmosférico ( $\text{N}_2$ ) por medio de la desnitrificación, esto en condiciones anaeróbicas en el suelo, realizada por bacterias del género *Nitrosomonas* (Mora *et al.*, 2007).

#### **2.5.4 Fuentes de emisión de Óxido Nitroso relacionadas con la Ganadería.**

En la producción animal se distinguen tres posibles fuentes directas de emisión de  $\text{N}_2\text{O}$ : (i) por los propios animales en los procesos digestivos (la rumia); (ii) Estiércol de los animales confinados; y la (iii) Deposición del estiércol (orina y heces) por los animales en suelos de pastoreo (Mosier *et al.*, 1998). Se reportan algunos estudios de emisión de Oxido relacionados con ganadería y su aproximación anual (Cuadro 4).



**Cuadro 4: Aproximación de emisiones de N-N<sub>2</sub>O a un año de medición de algunos estudios internacionales, en producción animal, en suelos de pasturas cultivadas.**

País	Aporte nitrógeno	Periodo muestreado	Emisión	Aproximación anual (kg N-N <sub>2</sub> O/ha/año)	Referencia
Nueva Zelanda	Orina	120 días	1,33 kg de N-N <sub>2</sub> O / ha	3,9	Luo <i>et al.</i> (2008)
Nueva Zelanda	Orina	90 días	1,14 kg de N-N <sub>2</sub> O / ha	4,6	Di y Cameron (2011)
Chile	Orina	365 días	1,9 kg de N-N <sub>2</sub> O / ha	1,9	Alfaro <i>et al.</i> (2013).
Brasil	Orina	90 días	586.7 mg N-N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup>	23,8	Sordi <i>et al.</i> (2014)
Colombia	Orina	27 días	80 mg N-N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup>	10,8	Byrnes <i>et al.</i> (2017)
Colombia	Orina	107 días	kg N-N <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup>	0,41	Garzón (2017)
Chile	Urea	56 días	70.8 g N-N <sub>2</sub> O/ha	0,5	Vistoso <i>et al.</i> (2012)
China	Urea	365 días	32.1 kg N-N <sub>2</sub> O/ha	32,1	Zhang <i>et al.</i> (2015)
Inglaterra	Urea	43 días	80 g N-N <sub>2</sub> O/ha	0,7	Barneze <i>et al.</i> (2015)

Fuente: Modificado y adaptado de (Garzón, 2017)

Según el IPCC las principales fuentes de emisión de N<sub>2</sub>O que derivan de la ganadería son: Emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes del manejo del estiércol; Emisiones directas de N<sub>2</sub>O procedentes de los suelos agrícolas y las Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura IPCC (2000) en el que se desarrolla de la siguiente manera:

**a) Emisiones de N<sub>2</sub>O procedentes del manejo del Estiércol.**

El término “*estiércol*” se usa tanto para las heces como para la orina producidos por el ganado, en la que se refiere al óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) producido durante el almacenamiento y/o tratamiento del estiércol y al estiércol de animales que pastan en praderas o pastizales que se deposita directamente en los campos, donde se alimentan con forraje o en potreros.

**b) Emisiones Directas de N<sub>2</sub>O Procedentes de los Suelos Agrícolas.**

La FAO (2006) indico que la fuente principal a nivel mundial para las emisiones de N<sub>2</sub>O es procedente del estiércol animal en el suelo. Según las Directrices del IPCC consta de dos partes: i) Las emisiones directas de N<sub>2</sub>O resultantes de los aportes de N a los suelos (excluidos los aportes de N de animales en praderas y pastizales) y ii) las emisiones directas de N<sub>2</sub>O procedentes del estiércol depositado por los animales en praderas y pastizales. «Sin embargo, debe señalarse que las emisiones directas de N<sub>2</sub>O procedentes del estiércol

*depositado en praderas y pastizales deben declararse dentro de la categoría de suelos agrícolas» (IPCC, 2000).*

### **c) Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura**

Existen cinco vías diferentes de emisión indirecta así:

*«La deposición atmosférica de NO<sub>x</sub> y amoníaco (NH<sub>3</sub>) en los suelos, incluyendo en las fuentes de N la volatilización de los aportes de N a los suelos, así como la combustión y los procesos industriales; La lixiviación y escorrentía del N que se aplica o se deposita en los suelos; La disposición del N contenido en las aguas residuales; la formación de N<sub>2</sub>O en la atmósfera a partir de emisiones de NH<sub>3</sub> procedentes de actividades antropogénicas; La disposición de efluentes industriales procedentes de la elaboración de alimentos y otras operaciones» (IPCC, 2000).*

## **2.6 Medición de emisiones de óxido nitroso en el sector agricultura del Perú.**

En el Perú se tiene un último Inventario nacional de gases de efecto invernadero (INGEI) del año 2012, donde las fuentes de emisión de GEI provenientes del sector agricultura son: la fermentación entérica, manejo del estiércol, cultivo de arroz, suelos agrícolas, quema de sabanas y quema de residuos agrícolas y las principales fuentes de emisión de GEI son la fermentación entérica y los suelos agrícolas debido al regular crecimiento de las poblaciones de ganado, principalmente vacuno como mayor emisor (MINAM, 2016b). La superficie agrícola desempeña un papel importante en el espacio para los sistemas lácteos basados en pasturas, que dependen de la conversión eficiente de pasto a leche (Macdonald *et al.*, 2008; Chapman *et al.*, 2009 citado por Hanslow *et al.*, 2013).

Los resultados para el sector Agricultura fueron de 26,043.68 GgCO<sub>2</sub>e que representa el 15.20 % del INGEI del total nacional 2012. En el Cuadro 5, se reporta las emisiones de GEI para el sector Agricultura Perú, como mayores fuentes de emisión son los *Suelos agrícolas* con 12,195.57 GgCO<sub>2</sub>e, que representa el 46.83% del sector, *Fermentación entérica* con 10,735.14 GgCO<sub>2</sub>e, que representa el 41.22% del sector y *Manejo de estiércol* con 1,318.66 GgCO<sub>2</sub>e, que representa el 5.06% del sector (MINAM, 2016b).

**Cuadro 5: Inventario de emisiones de GEI para el sector Agricultura Perú – 2012.**

Categorías de fuentes y sumideros	Metano [GgCH <sub>4</sub> ]	Óxido nitroso [GgN <sub>2</sub> O]	Emisiones de GEI [GgCO <sub>2</sub> e]	Participación %
Fermentación entérica	511.20	-	10,735.14	41.22%
Manejo de estiércol	14.11	3.30	1,318.66	5.06%
Cultivos de arroz	55.77	-	1,171.27	4.50%
Suelos Agrícolas	-	39.34	12,195.57	46.83%
Quema de sabanas	14.72	0.18	365.71	1.40%
Quema de residuos agrícolas	9.06	0.22	257.33	0.99%
<b>Total Agricultura</b>	<b>604.87</b>	<b>43.04</b>	<b>26,043.68</b>	<b>100.00%</b>

Fuente: (MINAM, 2016b).

e : equivalente

Se asume que las emisiones de N<sub>2</sub>O generadas por el estiércol en el praderas y pastizales, se deben declararse dentro de la categoría de suelos agrícolas (IPCC, 2000). Por lo que se reporta en este inventario del cuadro anterior a los suelos agrícolas como la única y principal fuente de emisión de Oxido Nitroso del sector agricultura en el Perú con emisiones de 39.34 Gg de N<sub>2</sub>O, de los cuales 11.054 Gg de N<sub>2</sub>O es procedente del pastoreo de animales de praderas y pastizales (MINAM, 2016b).

### 2.6.1 Ecuacion de estimación de emisiones directas de óxido nitroso utilizado en el Peru procedente de los suelos agrícolas (nivel 1).

Según MINAM (2016b), en el Peru en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI), para determinar las emisiones directas de óxido nitroso procedente de los *suelos agrícolas*, fue elaborada en base a las instrucciones de las directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero utiliza la ecuación básica de nivel 1 de la siguiente manera:

$$N_2O_{\text{Directo}} - N = [(F_{SN} + F_{EA} + F_{NB} + F_{RC}) \cdot FE_1] + (F_{SO} \cdot FE_2)$$

Donde:

$N_2O_{\text{Directo}} - N$  = Emisión de N<sub>2</sub>O en unidades de nitrógeno

$F_{SN}$  = Cantidad anual de nitrógeno en los fertilizantes sintéticos aplicados a los suelos y que no volatilizan

$F_{EA}$  = Cantidad anual de nitrógeno en el estiércol animal aplicado intencionalmente a los suelos

$F_{NB}$  = Cantidad de nitrógeno fijado por las variedades fijadoras de N que se cultivan anualmente

$F_{RC}$  = Cantidad de nitrógeno en residuos de cosechas que se reintegran anualmente a los suelos

$FE_1$  = Factor de emisión correspondiente a las emisiones procedentes de aportes de N (kg de  $N_2O-N$ /kg aporte de N)

$F_{SO}$  = Superficie de suelos orgánicos que se cultiva anualmente

$FE_2$  = Factor de emisión correspondiente a las emisiones procedentes del cultivo de suelos orgánicos (kg de  $N_2O-N$ /ha-año)

\*Segun las orientaciones sobre las buenas prácticas del IPCC (2000), para la conversión de las emisiones de  $N_2O-N$  en emisiones de  $N_2O$  se realiza *mediante la siguiente ecuación:*

$$N_2O = N_2O-N \cdot 44/28$$

### **2.6.2 Ecuacion de emisiones directas de óxido nitroso en el Peru procedente de manejo del estiércol.**

Para la estimación de emisiones de  $N_2O$  procedentes del *manejo del estiércol*, de igual modo fue elaborado, en base a las instrucciones de las directrices del IPCC y se utiliza en el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) la siguiente ecuación:

$$N_2O_{(SME)} = \Sigma [N_{ex(SME)} \cdot FE_{(SME)}]$$

Dónde:

$N_2O_{(SME)}$  = Emisiones de óxido nitroso de todos los sistemas de manejo de estiércol

$N_{ex(SME)}$  = Excreción de nitrógeno por Sistema de Manejo de Estiércol (kg/año)

$FE_{(SME)}$  = Factor de emisión de óxido nitroso para un sistema de manejo de estiércol (kg de  $N_2O-N$ /kg de  $N_x$  en SME)

### 2.6.3 Incertidumbre de la metodología por defecto propuesta por el IPCC.

Según las Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, indica que los inventarios no deberán contener muchos cálculos así como ni muy pocos y en la medida que se elija la mejor opción, también se debe de reducir la incertidumbre de estimación de emisiones (IPCC, 2000).

El factor de emisión es la proporción o porcentaje de N aplicado al suelo como orina, estiércol o fertilizante que se emite como N<sub>2</sub>O, pero sin embargo en las directrices del IPCC se tiene valores de estimaciones estandar, como los factores por defecto para emisiones directas de N<sub>2</sub>O procedentes de los suelos agrícolas que son:

- FE<sub>1</sub>: (cantidad de N<sub>2</sub>O emitida por las distintas formas de incorporación de nitrógeno a los suelos) con el 1,25% (0.0125 kg de N<sub>2</sub>O-N/kg) de N aplicado a los suelos.
- FE<sub>2</sub>: (cantidad de N<sub>2</sub>O emitida a partir del cultivo de suelos orgánicos de latitudes medias) con 8 kg de N<sub>2</sub>O-N/há-año y 16 kg de N<sub>2</sub>O-N/há-año en zonas tropicales.
- FE<sub>3</sub>: del N<sub>2</sub>O procedente del manejo del estiércol, para Praderas y pastizales es de 2% (0,02 kg de N<sub>2</sub>O-N/kg) del N excretado (IPCC, 2000).

Estos factores mencionados estiman las emisiones como una fracción constante de la entrada de nitrógeno, más no considera a los factores ambientales que influyan en dicha emisión del N<sub>2</sub>O en el suelo, como: la humedad del suelo, temperatura, contenido de carbono, contenido de nitrógeno (nitrato y amonio), drenaje en el suelo y región climática (variaciones espaciales y temporales). Razon por la cual es limitada pero sin embargo es recomendada por el IPCC a nivel mundial; esto genera una imprecisión y por lo tanto incertidumbre. En consecuencia, *los cálculos erróneos pueden llevar a un posicionamiento equivocado de nuestros países ante el IPCC y ante el mercado agrícola internacional (Roelandt et al., 2005)*. Casos como por ejemplo las emisiones de N<sub>2</sub>O en pastos en la sabana tropical de Brasil con valores de emisión directa de 0.7 %, muy por debajo del FE de 2% utilizado por el IPCC (Lessa, 2014).

En el Perú de acuerdo a lo establecido por las recomendaciones del IPCC el factor de emisión por defecto usado para suelos provenientes de pastoreo de animales en pasturas y pastizales es (2%) 0.02 kg de N-N<sub>2</sub>O/kg de nitrógeno excretado (MINAM, 2016b). Por lo tanto, es un desafío y necesidad urgente de ampliar las mediciones de las emisiones de N<sub>2</sub>O desde un

lugar y tiempo determinados a niveles regionales y nacionales (Dalal *et al.*, 2003). Cuantificar y generar factores de emisión directos de N<sub>2</sub>O propios de cada país que permitan desarrollar las técnicas de mitigación adecuadas, crear la línea base de nuestras investigaciones, para así emitir valores reales al IPCC y al mercado internacional (FONTAGRO, 2010; Lessa, 2014).

## **2.7 Monitoreo Ambiental Agrario.**

El Monitoreo Ambiental Agrario está orientado a:

*«Verificar la presencia y evolución de elementos químicos, físicos, biológicos, o de otra naturaleza, asociados a alguna actividad correspondiente al Sector Agrario, que fuera susceptible de alterar la naturaleza de su medio receptor (aire, agua, suelo), y de causar efectos sobre la salud de las personas, flora y fauna silvestre, ecosistemas y otros; así como Verificar el cumplimiento de los compromisos ambientales contenidos en el estudio ambiental y las obligaciones legales que determinan los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental» (MINAGRI, 2015b).*

### **2.7.1 Metodos de medición de las emisiones de N<sub>2</sub>O del suelo.**

Existen dos estrategias principales para medir el flujo de N<sub>2</sub>O del suelo: (i) Cámaras colocadas en la superficie del suelo por períodos cortos y (ii) Enfoques micrometeorológicos (Cuadro 6), pueden ser leídos mediante analizadores de infrarrojos y cromatografía de gases (Dalal *et al.*, 2003).

- Actualmente se tiene identificados varios tipos de cámaras, entre las principales se destacan las cámaras dinámicas (que integra un analizador de gases y un sofisticado sistema automatizado que minimiza los errores de muestreo, a pesar de reducir los errores de medición y de obtener más datos, sus costos son muy altos) y la cámara estática cerrada (diseño sencillo, de bajo costo, práctico para trabajar en campo) (Arenas, 2015).

- Los enfoques micrometeorológicos se basan en las mediciones de masas de aire en movimiento sobre ecosistemas, y tienen la ventaja en comparación con las cámaras de la integración espacial y temporal. Los flujos generalmente se miden para áreas grandes 1–10 km<sup>2</sup> a más (Dalal *et al.*, 2003).

**Cuadro 6: Comparación entre las técnicas de la cámara estática y las técnicas micrometeorológicas.**

	<i>Técnicas</i>	<i>Camaras estaticas</i>	<i>Micrometereologia</i>
<i>Limitaciones tecnicas</i>	<i>Costo de instalacion</i>	<i>Medio</i>	<i>Muy alto</i>
	<i>Nivel tecnico requerido</i>	<i>Basico</i>	<i>Muy alto</i>
	<i>Carga laboral humana</i>	<i>Muy importante</i>	<i>Importante</i>
	<i>Limitaciones de uso</i>	<i>Puede ser usada en cualquier lugar</i>	<i>-Solo puede ser usada en grandes extensiones planas de tierra.</i>
	<i>Sesgo metodologico</i>	<i>- Las perturbaciones climaticas pueden afectar las concentraciones de gases dentro de la camara -Explora una pequeña porcion espacial y temporal del sistema</i>	<i>-Se debe asegurar tener en cuenta las condicines atmosfericas y la circulacion del viento en forma precisa. -Considerar las diferentes fuentes de emision.</i>
	<i>Representatividad</i>	<i>Mediciones puntuales en el tiempo y el espacio</i>	<i>medidas integradas en el tiempo y el espacio</i>
<i>Desempeño</i>	<i>Uso</i>	<i>Comparacion de diferentes practicas agricolas y usos del suelo.</i>	<i>Estimacion de flujos de gases en situaciones de ecosistemas representativos.</i>

Fuente: (Jones *et al.*, 2011 citado por Arenas, 2015).

## **2.8 Factores que controlan la magnitud de las emisiones de N<sub>2</sub>O de los pastizales apacentados en invierno.**

El óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) se produce principalmente por los procesos de nitrificación y desnitrificación ocasionados por microorganismos en los suelos, influenciados por factores climáticos como la temperatura y precipitación y del suelo tanto características físicas como químicas (Chen *et al.*, 2008). Otros estudios anteriores tambien mencionan que la producción de N<sub>2</sub>O está influenciada por múltiples variables factores tales como la temperatura, humedad, disponibilidad de oxígeno y el sustrato N; todos estos factores están regulados por el clima, vegetación, propiedades físicas y condiciones químicas del suelo (densidad aparente, C orgánico, pH y contenido en arcilla), espacio poroso lleno de agua y las prácticas de manejo agrícola (Allen *et al.*, 1996; Skiba *et al.*, 1996; Flessa *et al.*, 2002; Ambus *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2008; Matthews *et al.*, 2010; Eckard *et al.*, 2003 y Dalal *et al.*, 2003).

### **2.8.1 Espacio poroso lleno de agua (EPLLA).**

El Espacio Poroso lleno de Agua (EPLLA) es uno de los factores que más se correlaciona con la emisión de N<sub>2</sub>O, lo cual está íntimamente relacionado con el drenaje del suelo (Saggar *et al.*, 2004 y de Klein *et al.*, 2006).

La tasa de emisión de  $N_2O$  es baja en la nitrificación cuando el EPLLA es menor al 40 %, pero por encima del 60 - 70% de EPLLA el contenido de agua dificulta la aireación (Se limita la difusión de oxígeno) y promueve la desnitrificación, produciéndose la liberación de  $N_2O$  y  $N_2$ , y por encima del 80 - 90% de EPLLA se produce la pérdida dominante del N (Dalal *et al.*, 2003).

### **2.8.2 Temperatura del suelo.**

Las tasas de nitrificación y desnitrificación aumentan al aumentar la temperatura dentro de un cierto rango; se ha visto también una relación de emisión de  $N_2O$  y  $N_2$ , donde debajo de los 37 °C las emisiones de  $N_2O$  son mayores, pero encima de esta disminuye la emisión de  $N_2O$  y aumenta para de  $N_2$  (Dalal *et al.*, 2003); así como un experimento realizado en un suelo de pastoreo se reportó emisiones de  $N_2O$  superiores a  $N_2$  durante la primavera cuando la temperatura del suelo era de 5-10 °C, mientras que durante el verano, la relación de emisiones disminuyó de  $N_2O$  a  $N_2$  (Baily *et al.*, 2012).

### **2.8.3 pH.**

El pH del suelo es un factor que afecta los mecanismos que producen emisiones de  $N_2O$  (Clough *et al.*, 2003). El pH del suelo aumenta temporalmente después de la deposición de orina, debido a que se forman productos alcalinos durante la rápida hidrólisis enzimática de la urea (Carter, 2007). El pH óptimo para que se desarrolle la actividad nitrificante es de 7.0 y para la desnitrificación el pH óptimo es 7.0-8.0 (Hasegawa *et al.*, 2000; Ahn, 2006).

### **2.8.4 Disponibilidad de C (Carbono).**

Los materiales orgánicos como la hojarasca de las plantas, exudados de raíces, estiércol o materia orgánica del suelo son las fuentes de carbono y energía (sustrato) para las bacterias desnitrificadoras heterótrofas y su disponibilidad influye en la emisión de  $N_2O$  en el suelo, muchos estudios han demostrado que la capacidad de desnitrificación del suelo aumenta con el aumento del contenido de C orgánico, especialmente el contenido de C soluble en agua (Dalal *et al.*, 2003; Weier *et al.*, 1993 citado por Uchida y Clough 2015). Bajo parches de orina, la disponibilidad de C aumenta debido al alto pH, que se hidrólisis de la urea contenida en la orina del rumiante, solubilizando la materia orgánica del suelo (Dasa *et al.*, 2012).



La relación entre C y NO<sub>3</sub>, a la adición de C aumentó la desnitrificación aproximadamente 10 veces, mientras que la adición NO<sub>3</sub> aumentó la desnitrificación aproximadamente 100 veces (Uchida y Clough (2015).

### **2.8.5 Disponibilidad de N (Nitrato y Amonio).**

Las mayores emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos están asociadas al estiércol animal y a la fertilización con N, seguido de la fijación biológica de N<sub>2</sub> y la mineralización del N (Saggar *et al.*, 2004) y Flechard *et al.*, (2007) también indica que las fuentes de N<sub>2</sub>O en el suelo son: por la deposición de N en la orina y en las heces fecales, la aplicación de fertilizantes nitrogenados (N) químicos y orgánicos e indirectamente, de la volatilización de amoníaco (NH<sub>3</sub>) y N lixiviado.

En las praderas pastoreadas, el nitrógeno (N) es absorbido por las plantas e ingerido por los animales, luego son excretados en forma de urea y posteriormente se convierte en NH<sub>4</sub> y NO<sub>3</sub> las cuales son fácilmente disponibles para la planta Haynes y Williams (1993). La producción de óxido nitroso en el suelo es el resultado de procesos microbianos (nitrificación, desnitrificación) y necesitan el sustrato NH<sub>4</sub> para la nitrificación y NO<sub>3</sub> para la desnitrificación (Zaman *et al.*, 2007).

En general, en condiciones normales de campo, la nitrificación está limitada por la formación de NH<sub>4</sub> a partir de la mineralización y la tasa de desnitrificación aumenta al aumentar el contenido de NO<sub>3</sub> en el suelo en condiciones adecuadas para la desnitrificación (por ejemplo, alta humedad) y cuando factores como la temperatura y el C orgánico disponible no son limitantes. (Dalal *et al.*, 2003)

### **2.8.6 Compactación del suelo y emisiones de N<sub>2</sub>O en invierno.**

Los efectos del pastoreo de los animales en la emisión de N<sub>2</sub>O en inviernos húmedos, producen daños por compactación a las concentraciones de N en el forraje, orina y parches de estiércol en los pastos, debido al pisado y pisoteo de los animales (provocando un daño de la estructura del suelo), por lo que se refleja en las emisiones de óxido nitroso en los pastizales (Uchida y Clough 2015; Oenema *et al.*, 1997). Esta compactación por los animales incrementa la emisión de N<sub>2</sub>O en situación de pastoreo de cultivos forrajeros durante el invierno, debido a que muchas veces la humedad del suelo se ve mas elevada (Luo *et al.*, 2010).

## 2.9 Propuestas estratégicas de reducción y mitigación de Óxido Nitroso en pasturas.

Principalmente hay tres opciones para reducir la emisión de  $N_2O$  de pastizales y son: (i) incrementando la productividad del animal y disminución del número de animales, (ii) reducir el contenido de N de la orina, y (iii) el pastoreo restringido, es decir, disminuyendo el número de parches de orina y estiércol (Oenema, 1997); Sumado a la cuantificación de los factores que influyan en la emisión de  $N_2O$  que puedan ayudarnos a identificar y controlar las emisiones de  $N_2O$ , para poder reducir las emisiones provenientes de los sistemas de pastoreo (Luo *et al.*, 2010). Entre otras opciones específicas de manejos del ganado se tiene:

- **En el suelo**

*«Primero, mediante la gestión química del suelo y la microbiología para garantizar que la desnitrificación bacteriana se complete, generando  $N_2$  en lugar de  $N_2O$ ; segundo, reduciendo la dependencia de los fertilizantes a través de plantas de cultivo de ingeniería, por ejemplo, para fijar el nitrógeno ellos mismos a fin de mantener el crecimiento y el rendimiento; tercero, promoviendo la intensificación agrícola sostenible »* (Thomson *et al.*, 2012). Así como introducción de pasturas de bajo contenido de N y la adición al suelo de compuestos inhibidores del proceso del N (transformación del N de la urea presente en la orina bovina a amonio y nitrato) los cuales son precursores del  $N_2O$  (Luo *et al.*, 2010).

- **Estiércol**

Las emisiones también pueden reducirse evitando la aplicación de estiércol en suelos húmedos, aplicando en época de primavera, cuando inicia el crecimiento de la pastura, la cual es beneficiosa para las plantas (GRA, 2014).

- **Manejo de pasturas**

Para ello se debe tener en cuenta las mejoras en la calidad de la pastura a través de su renovación, riego, ajuste de la densidad animal, evitando el sobrepastoreo, con el uso de cercos y el pastoreo controlado (GRA, 2014). Por lo tanto, un desafío clave es combinar altos rendimientos de producción de forraje con menores requerimientos de aporte de N; así como rotaciones apropiadas, y la introducción de leguminosas son prácticas efectivas que se deberían dar a conocer de manera más amplia en los sistemas pastoriles de baja producción, aunque las medidas apropiadas en cada caso varían entre regiones, por lo que otras estrategias de mitigación adicionales están siendo investigadas (GRA, 2014). Para ello se debe generar una legislación especializada para uso, conservación y mejora de los pastizales,

y una regulación en los cambios de uso del suelo (*paso de pasturas a tierras agrícolas*) (BID y CEPAL, 2014).

- **Dieta animal**

En un animal, la cantidad de urea excretada por un organismo se correlaciona positivamente con la ingesta de proteína (N) (Schmidt-Nielsen, 1958). Debido a que la concentración de N presente en la orina da lugar al gas de  $N_2O$ , una opción de mitigación de esta generación de este gas es el control en la dieta de los animales, algunos autores sugieren la disminución de proteínas en la dieta como estrategia para reducir las emisiones de  $N_2O$  (Berger, 2011).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de ejecución.

El sitio experimental se realizó en un potrero de pastura cultivada de especies Ryegrass (*Lolium perenne* o *L. multiflorum*), pasto ovido o dactylis (*Dactylis glomerata*) y leguminosas tales como trébol blanco (*Trifolium repens*) de 3 años en producción de suelo franco con un pH de 7.54, en la cooperativa agraria San Francisco de Chichausiri, ubicada a 4 km de la ciudad del distrito de Junín, provincia de Junín, departamento de Junín- Peru. A una longitud oeste de 75° 59' 32.75", latitud sur 11° 9' 34.34" y una altitud de 4 105 m.s.n.m. (Figura 4)

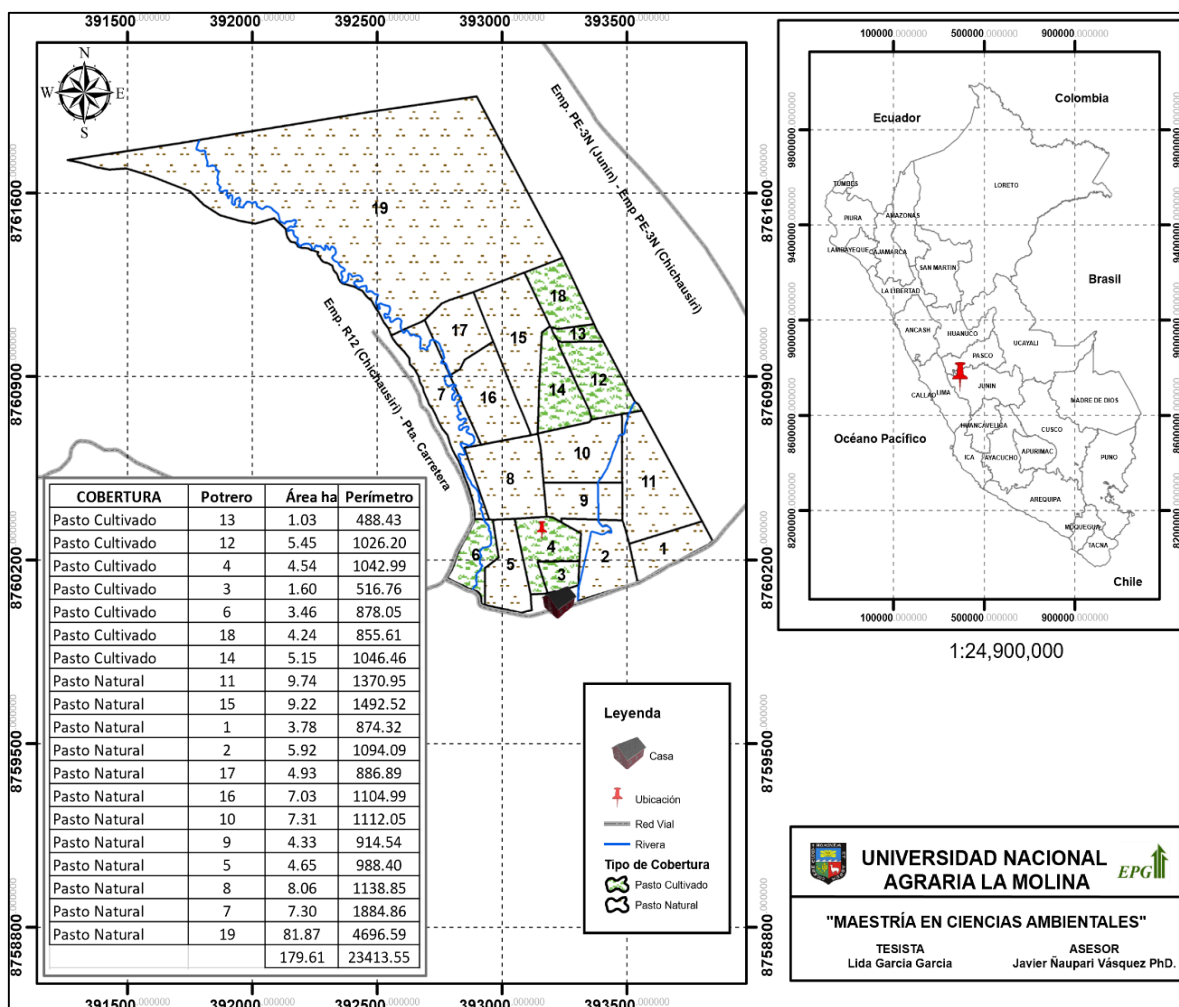


Figura 4: Mapa de Ubicación del experimento

Encontrándose en el Potrero 4 en la Zona 18 L, UTM (393144.38 m E; 8760127.59 m S). El área total de la cooperativa agraria es de 5300 Has, en su mayoría estas están cubiertas por pastos naturales y menor área de pastos cultivados, el estudio se llevó a cabo en la estación seca los meses de agosto y setiembre (entre el 14 de agosto y el 16 de septiembre del 2017).

### **3.1.1 Características climáticas.**

El clima en Junín es un clima de tundra, lo que significa que las temperaturas son muy bajas durante todo el año. Este clima es considerado ET según la clasificación climática de Köppen-Geiger, se caracteriza por presentar dos estaciones bien diferenciadas, lluvias (octubre-marzo) y seca (mayo-setiembre), donde hay precipitaciones de 920 mm anual; temperaturas máximas y mínimas promedio mensual de 12.8 y - 4.4 °C (Climate-data.org, 2018).

Según la Estación Meteorológica más cercana a la zona experimental Santa Bárbara de Carhuacayan-Junín-SENAMHI ubicada en Santa Bárbara la precipitación promedio en el 2017 fue de 877 mm y la temperatura máxima y mínima promedio mensual de 16.85 y - 5.19 °C, respectivamente. Cabe precisar que la temperatura ambiental de la parcela de experimentación en el tiempo que duro el experimento (34 días) en nuestro horario de muestreo y periodo de experimento se reportó una temperatura ambiental que fluctuo entre 10.8 a 22 °C y un promedio de 18.39 °C.

### **3.2 Protocolo de medición de emisión de flujo de Óxido Nitroso en suelo.**

El proceso de medición de óxido nitroso se diseñó en base a las “*Pautas metodológicas de la cámara de óxido nitroso*”, en el diseño, despliegue y colección de muestras, según las recomendaciones de (de Klein y Harrey 2015). En la Figura 5, se tiene el flujo de las secuencias del diseño experimental.

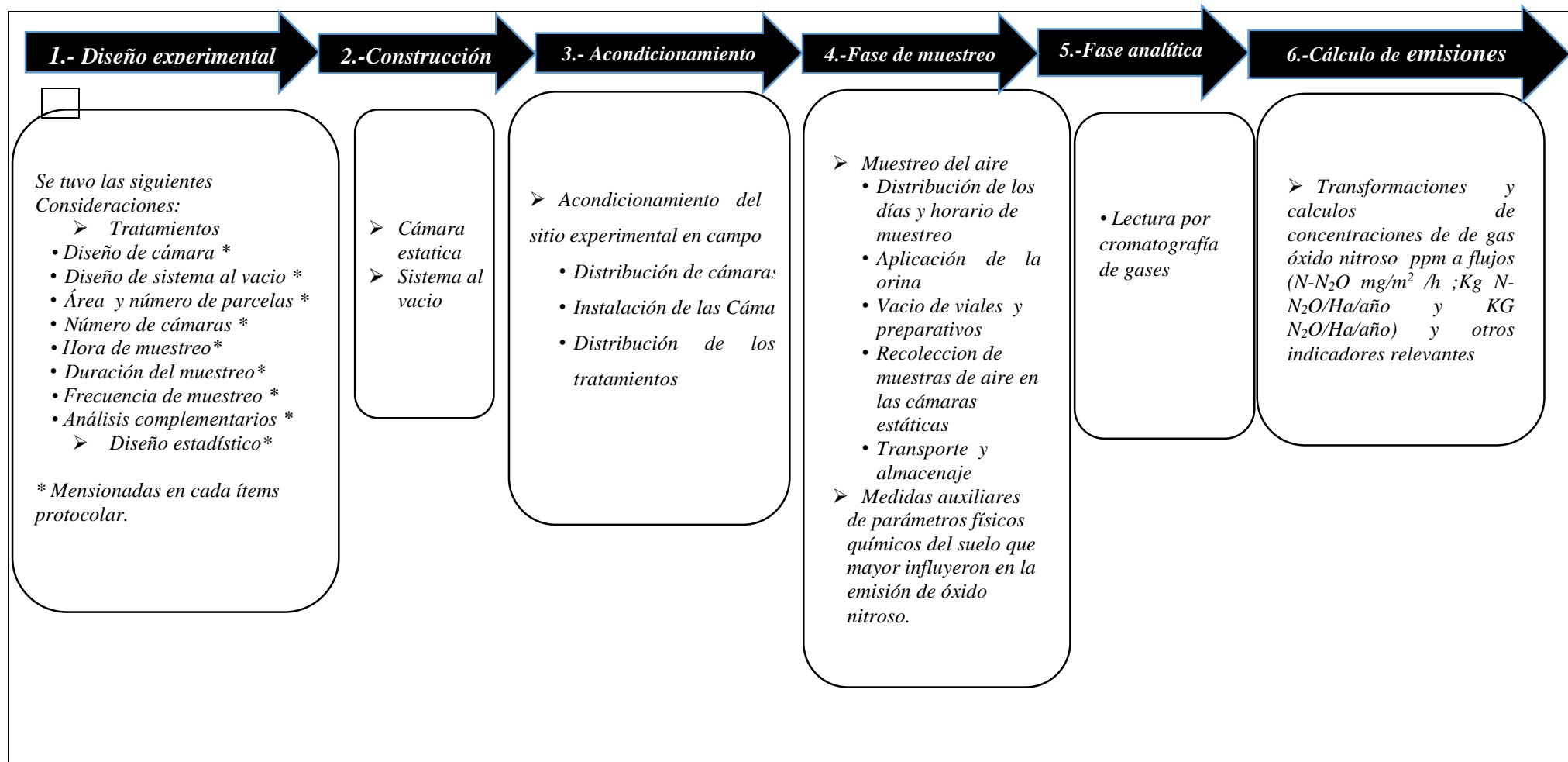


Figura 5: Flujo de secuencias del diseño

### **3.2.1 Tratamientos.**

En condiciones de pastoreo animal, las deposiciones de orina son la principal fuente de N mineral para la generación del  $N_2O$ , por lo que los tratamientos fueron, “*Con orina*” (tratamiento 1) y la otra “*Sin orina*” (tratamiento 2), tomadas de micciones de vacunos de leche de 450 kg PV. Por lo que se tomo las consideraciones de las pautas de de (de Klein y Harrey 2015), debido a que la orina de vacuno presenta un 82% de N en relación a las heces (Flessa *et al.*, 1996) y simulanban emisiones de un parche de orina de vacuno típico del lugar. El N de la orina se hidroliza en amonio y luego se nitrifica, por lo que se espera observar mayores emisiones  $N_2O$  con la aplicación de orina (Jarvis *et al.*, 1989; Clough *et al.*, 1996; Allen *et al.*, 1996; Ambus *et al.*, 2007; Wachendorf *et al.*, 2008).

### **3.2.2 Construcción de cámara estática y sistema al vacío.**

#### **3.2.2.1 Diseño y construcción de las cámaras estáticas cerradas.**

Para ello se utilizaron cámaras hechas de tubo de cloruro de polivinilo (PVC), el diámetro de la cámara fue de 25 cm, con 35 cm de alto, con un grosor del tubo de 6 mm. Las tapas se mandaron a confeccionar en acrílico (nylon polímero color blanco), por un tornero, haciéndolas más amplias que el diámetro del tubo (cuerpo de la cámara) y con una canaleta para el anclaje del cuerpo de la cámara (Figura 6 – A). Además, la parte de la superficie del cuerpo de la cámara que encaja con la tapa se disminuyo para que tenga un anclaje perfecto (Figura 6 – B). Para garantizar que el gas que se emite del suelo no se fugue de la cámara o que el aire del exterior no ingrese a la cámara, se revisito el canal de la tapa con silicona roja simulando un anillo de jebe, para que permita el sellado hermético, por presión de la tapa de la cámara hacia el cuerpo de la cámara (Figura 6 -C). Dicha presión se logró con unos ganchos de aluminio distribuidos uniformemente en tres puntos externamente de la cámara (Figura 6 –D), así como un cerrojo de tipo clip (Figura 6–F), que ajustaban la tapa al cuerpo de la cámara, (Figura 6 – E). En la tapa se dejó un orificio por donde se colocó una entrada de conexión a una válvula como única salida que permitió abrir y cerrar para coleccionar las muestra de aire; de esta manera para su anclacion en el suelo a una profundidad aproximada de 10 cm según sea la textura del suelo (porosidad del suelo) Rochette y Eriksen-Hamel (2008) (Figura 6 - D y G). En si el diseño fue en funcion a las recomendaciones de (Parkin y Venterea 2010; Rochette y Eriksen-Hamel 2008; Klein y Harrey 2015).

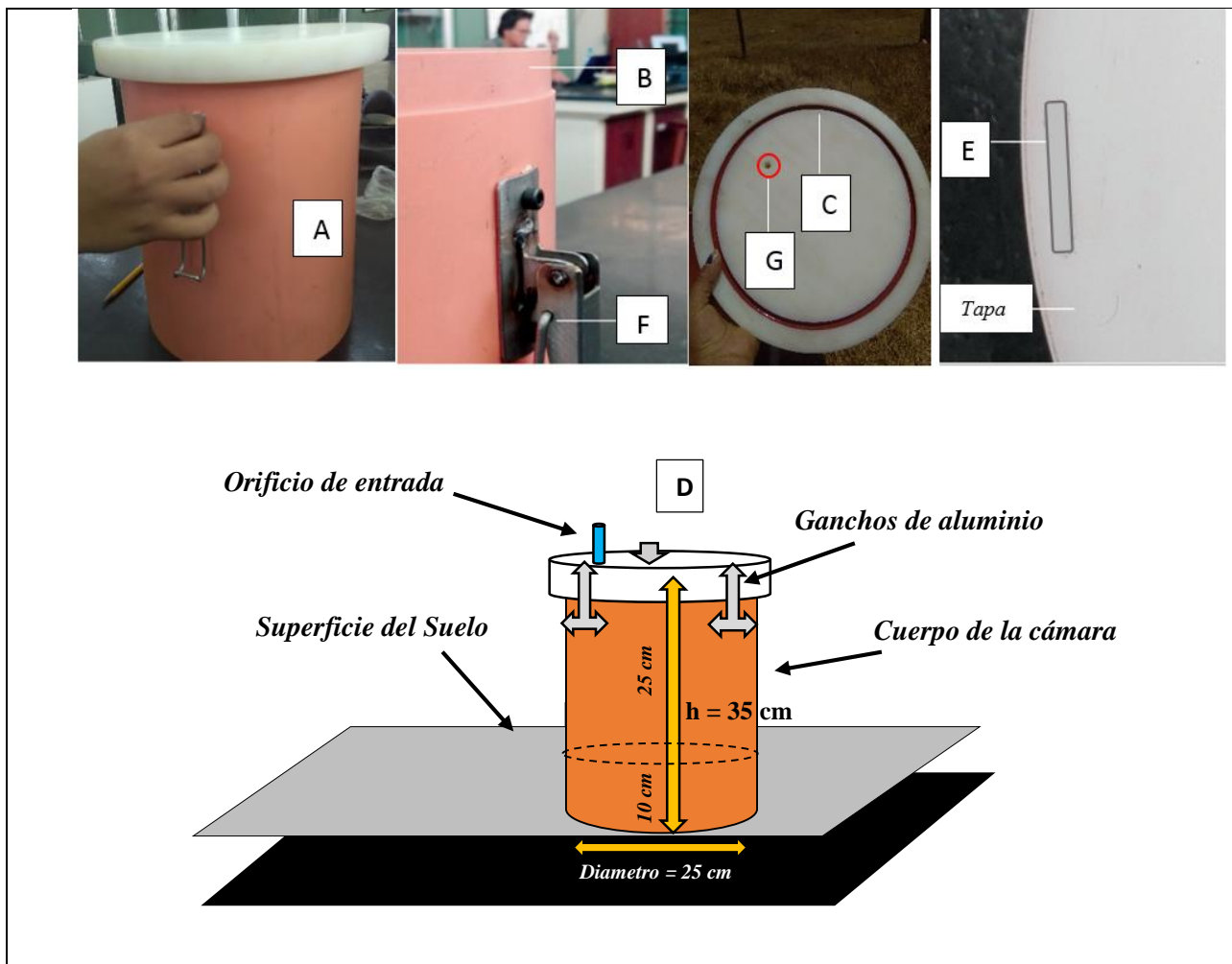


Figura 6: Diseño de la cámara estática

### 3.2.2.2 Diseño y construcción del Sistema de vacío.

El Sistema de vacío consiste en un conjunto de cañerías, importante para el vaciado de viales de muestreo, se fabricaron previo al experimento (figura 7-A), se usó material de cobre para garantizar resistencia entre las conexiones. Este sistema cuenta con cuatro salidas estas están compuestas por una aguja de 23G x 1" conectada a una llave de 3 vías la que se engrana en el sistema de cañerías como vemos en la (figura 7-B). Para poder liberar presión en el momento en el que el sistema no está generando vacío se deja una salida en la parte inicial del sistema con una llave de paso que sea lo bastante segura para evitar fugas y fue necesario que sea hermético por ello se aplicó teflón de gas y sellador en cada una de los engranajes y se ajustó con la mayor precisión posible, para poder comprobar el nivel de presión necesario se conectó a una bomba de vacío (figura 7 -C) y se usó un barómetro el mismo que a nivel del mar debe marcar 1 bar (1 atmósfera) y se hizo pruebas en el laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales, Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM) (Figura 7-D) y recomendable esto llegue a -0.9 bar en el sistema de vacío,



esto garantiza que no esta perdiéndose vacío en algún lugar del sistema y con los cálculos para la altura a los 4105 m.s.n.m (lugar del experimento) fue de 0.6 bares, esto como referencia, para posteriores cálculos de flujo y el vaciado de viales. Para su funcionamiento optimo del sistema en el campo experimental, se determino después de varias pruebas un espacio de tiempo de cinco minutos para el vaciado de viales en el laboratorio en campo.

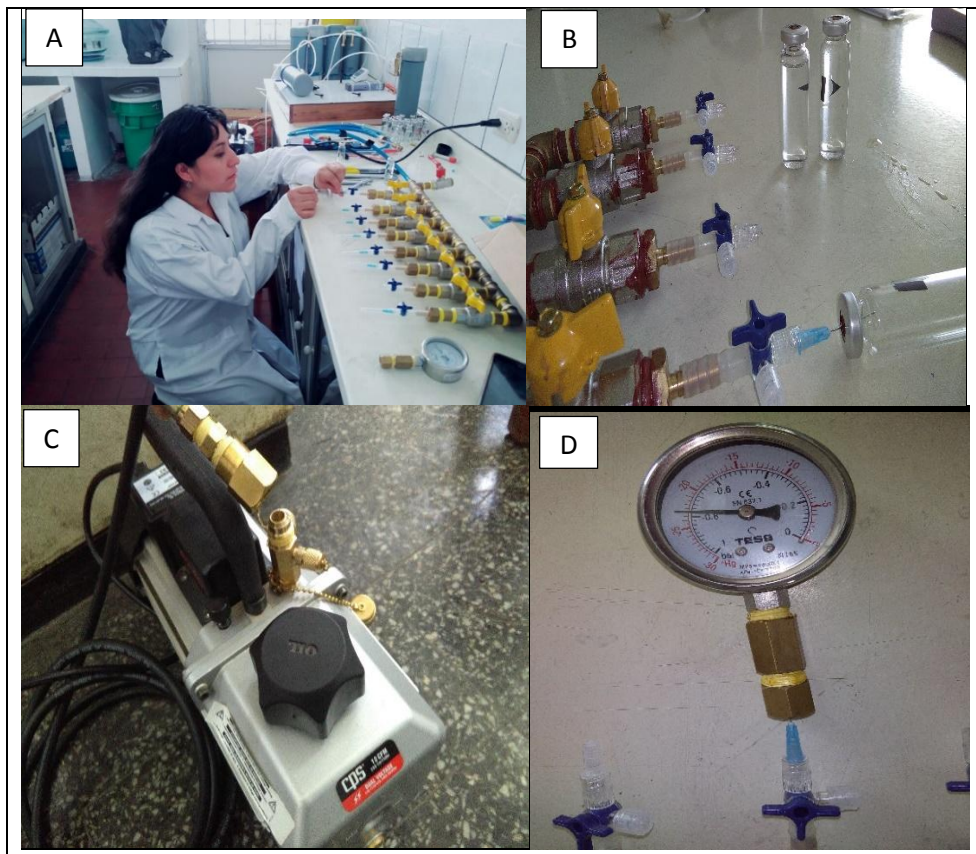


Figura 7: Sistema al Vacío de viales

- El vacío del viales se probó usando una aguja calibre 23 con un final insertado en un contenedor lleno del agua, se verifico el llenado del agua sea casi completa en el vial, (con una burbuja que sobresale), la cual equivale a estar bien vaciada (Anexo 1).
- El material de los frascos o viales de muestra de aire fueron muy herméticos de material nuevo de cristal, las jeringuillas fueron de polipropileno para la mezcla y succión de muestra de gas según las recomendaciones de Rochette y Bertrand (2003).
- Para el crimpado de viales, se utilizó un set de cápsulas de aluminio (tapa de aluminio, con tornillo y caucho - septum) (Figura 8- A), un vial vacío en el cual al borde de la entrada del vial se colocó una pequeña lamina de silicona de empaque la cual fue sellada por un crimpador perkin Elmer con 55 toques de presión calculadas

para una altura de 4105 m.s.m. (Figura 8- B), lo cual permitió mantener el vacío de los viales, antes de la medición en campo (Figura 8-C).



Figura 8: Crimpado o sellado de viales

### 3.2.3 Consideraciones para el acondicionamiento, distribución, instalación y tratamientos de las cámaras.

Para dar el inicio a la evaluación, se utilizó ambientes de trabajo experimental, los cuales fueron proporcionados por la cooperativa agraria donde fue acondicionado para el instalado los equipos y almacenamiento de herramientas y materiales de medición, así como la implementación del generador de energía, para poder contar con la electricidad necesaria para los manejos de los equipos.

#### 3.2.3.1 Acondicionamiento del sitio experimental en campo.

Se realizó el reconocimiento de todo el potrero de pastos cultivados de la Cooperativa Agraria San Francisco de Chichausiri, utilizando un Gps y se eligió un área donde la vegetación se encontraba uniformemente distribuida, con la menor presencia de factores que puedan haber afectado la emisión entre uno y otro punto, así como parches de vegetación, cárcavas, fuentes de agua, animales entre otros, por lo que fue necesaria *cercar la parcela* de medición de modo que pudo controlarse el ingreso de animales para que no perturben a las cámaras de óxido nítrico y el normal desarrollo del proceso de medición.

Tomandose de esta manera el *potrero* (4) de 45,400 m<sup>2</sup> de área general y una parcela experimental al interior de 320 m<sup>2</sup> de una pastura de Ryegrass (*Lolium perenne* o *L. multiflorum*), pasto ovinillo o dactylis (*Dactylis glomerata*) y leguminosas tales como trébol blanco (*Trifolium repens*) de 3 años en producción (Figura 9).



Figura 9: Potrero de ubicación de la parcela experimental de pastura

**a. Distribución de cámaras**

Posteriormente se diseñó la parcela de evaluación, con dimensiones de 20 m de largo x 16 m de ancho, donde se ubicaron 16 sub-parcelas distribuidas en forma equidistante de 2 m x 1 m cada una; cada sub-parcela alojó en 1 m<sup>2</sup> una cámara estática para medir los flujos de emisión de óxido nítrico así como estableció Byrnes *et al.*, (2017) y en el otro metro cuadrado de espacio a lado fue para tomar muestras adicionales de suelo. Para el acceso y movimiento del evaluador se tuvo calles interiores de 2 m de ancho y de 3 m de ancho que limitó con el cerco perimétrico, se verifica en la distribución (Figura 10).

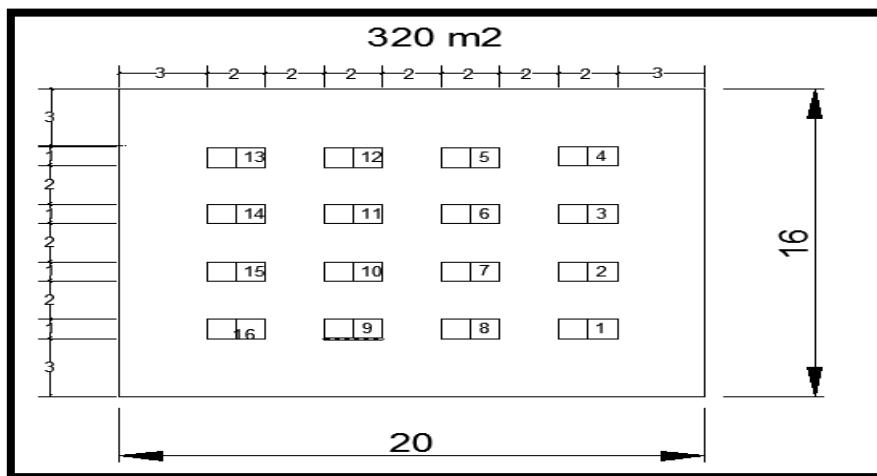


Figura 10: Distribución de las cámaras en la parcela

## b. Instalación de las Cámaras

En las distribuciones previamente de las sub-parcelas de 2 m<sup>2</sup>, donde se instaló una cámara dentro de la superficie del suelo de (1 m<sup>2</sup>) esto en terreno con cualidades de fácil incrustación, para tal efecto se rego un día anterior y se implanto a una profundidad aproximada de 10 cm según consideraciones de Rochette y Eriksen-Hamel (2008), luego parándose sobre ella se hundió a medida que se empujo la tierra con una pala pegada a los bordes de la cámara, para luego volver a rellenar el canal ahuecado y mejorar el sello entre el suelo y la base de la cámara según consideracion (de Klein y Harrey 2015) (Figura 11).

Una vez enterrada la cámara, se midió su altura real desde la superficie del suelo en cuatro puntos de la cámara, como datos para el calculo del flujo lineal de N-N<sub>2</sub>O y de modo que pueda obtenerse el volumen para posteriores cálculos de emisión de Óxido Nitroso (Anexo 15) (Figura 11).

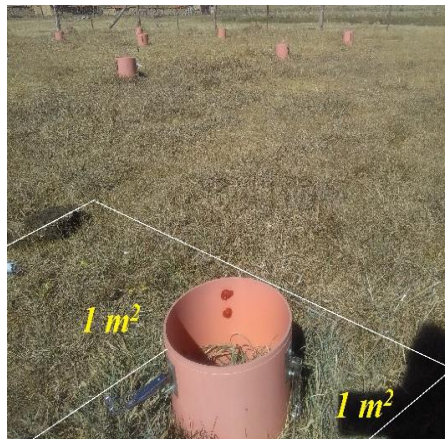


Figura 11: Instalación de las cámaras

## c. Distribución de los tratamientos

Se tuvo 16 cámaras que se distribuyeron al azar, donde se les aplico a ocho camaras *Con orina* y a las otras ocho cámaras *Sin orina*, lo que permitió simular el pastoreo en la parcela experimental.

### 3.2.4 Fase de Muestreo.

#### 3.2.4.1 Muestreo del aire.

Para dar el inicio al muestreo del aire, se utilizo ambientes previamente acondicionados, para el manejo de los equipos de vacío, preparativos y etiquetados de las muestras; posteriormente

a ello se tuvo en cuenta al inicio (primer día) del muestreo la aplicación de la orina a los tratamientos, el horario, duración, frecuencia durante los días puntos de medición, así:

#### **a. Distribución de los días y horario de muestreo**

Para ello se tuvo en cuenta las indicaciones de Klein y Harrey (2015), donde las mediciones de N mineral en el suelo ( $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ ) son durante los 30 primeros días después de la aplicación de estiércol u orina.

En el experimento la colecta de muestras de aire duro cinco semanas (etapa de medición del óxido nitroso en época seca), midiéndose interdiariamente la semana 1, 2 y sólo 1 vez por semana en las semanas 3 a la 5, dando lugar a 10 días de puntos de medición en un periodo de 34 días (14 de agosto al 16 de setiembre del 2017).

Para determinar la hora adecuada de muestreo, se utilizó la temperatura promedio del suelo durante el día como indicador de la dinámica de las emisiones, esta se calibro midiendo cada dos horas durante 48 horas, en la que se promediaron las temperaturas obtenidas y se escogió como momento de muestreo la hora del día que tenga la emisión que se acerque más al promedio obtenido, la cual se ubicó entre las 2:00 am y 12:00 m., para nuestro caso elegimos a las 12:00 del medio día; coincidiendo con los estudios según indicaciones de Klein y Harrey (2015).

#### **b. Aplicación de la orina**

La orina se aplico manualmente en las camaras en situ, según pautas de (de Klein y Harrey, 2015), ello tan solo en el primer dia de medición dos horas antes de la colecta de muestras (Anexo 3- A).

Para determinar la cantidad de orina se baso en función a los estudios realizados como la estimación de volumen de orina de 10.5 L/ día por vaca (Barneze, 2014), la que concuerda bien con las estimaciones de 10,87 y 11,11 L / día vaca (Silva *et al.*, 2001) . tambien a partir de observaciones del comportamiento del animal durante un período de 15 días se estimó un promedio de 10 eventos de micción por día (Barneze, 2014), concordando lo mencionado con observaciones de Orr *et al.* (2012) y Whitehead (1995) . Por lo tanto Barneze (2014) indica que un evento típico de micción para un vacuno adulto constituiría un volumen de aproximadamente 1 L de orina.

Por lo tanto para nuestro experimento se mantuvo dicha cantidad de aplicación de 1 litro de orina por cámara (Anexo 3 - B), la cual se colectó de vacas de la raza Brown Swiss en producción de segundo y tercer parto, durante la madrugada donde las vacas se encontraban concentradas para el ordeño y algunas se levantaban del descanso de la noche anterior; para ello se colectó la orina en un recipiente, en el que se pasó a un recipiente grande para acumular y homogeneizar la colecta de 8 litros de las diferentes vacas; todo ello en el mismo día de inicio de la medición de muestras en la parcela y evitar mayores cambios químicos en su composición.

De igual manera también se le incorporó 1 litro de orina al suelo del área paralela al metro cuadrado de las 8 cámaras con orina, haciendo un total de 16 litros de Orina recolectada, simulando el mismo efecto de deposición de orina por parte del vacuno, esto para muestras diarias y su posterior análisis químico de suelos (nitrato  $\text{NO}_3$  y amonio  $\text{NH}_4$ ) y su efecto en las emisiones del óxido nítrico por incorporación de la base nitrogenada de la orina.

Cabe indicar que en el lugar de ubicación de la parcela de pastura cultivada el ganado no pastoreó meses antes y durante el experimento y la pastura no recibió ningún fertilizante N o base nitrogenada y no se irrigó el área considerándose como una pastura que estuvo en estado de dormancia durante la época seca.

### **c. Vacío de viales y preparativos**

Para la colecta de muestras de aire in situ, previamente se tuvieron que vaciar los viales con el sistema al vacío en los ambientes del experimento (Anexo 4) Las gradillas con los viales vaciados fueron debidamente codificadas y etiquetadas, por ejemplo; #cámara – tiempo – día de colección (C1 – T1 – D1) y ordenadas de enumeración de acuerdo a la distribución de las cámaras en la parcela, tiempos y así nos permitió realizar un monitoreo fluido, rápido evitando confusiones.

Se utilizó una caja de herramientas de mano que contenía material de reemplazo: agujas, jeringas, silicona, viales, el transporte de los viales en gradilla; así como también un cronómetro, termómetros, recipientes para muestra de suelo, registro de datos, listas para el campo.

#### **d. Recoleccion de muestras de aire en las cámaras estáticas**

La *duración* de la recolección de las muestras se desarrolló adaptando las pautas de Klein y Harrey (2015). Donde cada día de medición se tomó muestras de aire de cada cámara cerrada, durante el tiempo de cierre o despliegue (60 minutos). Para la *frecuencia* de toma por día de medición Rochette (2011) menciona que es mejor la acumulación de N<sub>2</sub>O para la estimación de flujo por cámara, cuando cuatro o más muestras de aire son tomadas durante el despliegue. Por lo que se determino tomar tres muestras de aire de cada cámara a los tiempos 0, 20 y 40 minutos, así también se añadió un cuarto tiempo a las cámaras 07 y 10 respectivamente, para mantener la confianza de la linealidad del flujo del gas de Óxido nitroso, en el que se siguió las siguientes pautas para la toma de muestra de aire.

- Primeramente se tuvieron listos los instrumentos en la parcela y materiales de medición, cámara, jeringa, viales y se calibro el cronómetro en cero al iniciar la medición.
- Se tuvo presente antes de proceder a coleccionar la muestra, se mantenga el cierre de las tapas de las cámaras, las llaves de paso que estaban conectadas al orificio de entrada de las tapas, estuvieran cerradas y las jeringas sin aire.
- Para ello se tomaron las muestras con ayuda de la jeringa y una válvula de paso conectada a ella se abrió, para asegurar el paso limpio del aire de la cámara al vial vaciado. Insertándose la punta de la aguja de la jeringa al caucho del septum del vial crimpado y vaciado, el cual fue un grosor proporcional al grosor del septum (aguja calibre 23).
- Se tuvo cuidado de tomar cerca de las agujas para evitar lesiones personales (Rochette y Bertrand 2008).
- Se dejó la jeringa sobre la tapa de la cámara y el vial con muestra se colocó, manteniendo el orden, al lado de la gradilla destinada para viales con muestra.
- Las agujas fueron inspeccionadas con regularidad, para evitar obstrucciones del septum.
- El vial con septum encapsulado puede ser reutilizada como máximo siete toques de pinchos, para la colección de muestras en situ verificándose en la (Figura 12).



Figura 12: Toma de muestra

- Los viales fueron inyectados con muestras de aire, se absorbió el aire a través de una agujilla calibre 23 conectada a una válvula conectada por una sonda a la cámara y a la vez con una jeringa que recirculaba la muestra de gas tres veces y la tercera con 30 ml de gas se presionaba para completar el llenado del vial, recordando que para el movimiento espontáneo inicial el émbolo de la válvula de la tapa debe estar abierta antes de la toma de muestra al frasco (Figura 13 ).



Figura 13: Recirculación del aire

- El proceso de muestreo de una cámara duro un minuto. Una vez que se colectan muestras de todas las cámaras para el tiempo 0, se espera que el cronómetro llegue a los 20 minutos y se procede a muestrear nuevamente todas las cámaras en el mismo orden para los tiempos 20, 40 y los 60 minutos de ser el caso, desde que se tapó la cámara.



- En el último periodo se destaparon las tapas de las cámaras (16 cámaras) una vez que se finalizó el muestreo por día, para continuar con los próximos días restantes de medición.

#### **e. Transporte y almacenaje**

Una vez coleccionado, la muestra de aire se almaceno en recipientes herméticos (cajas de tecnopor) y transportados al laboratorio para su conservación y posterior análisis (Anexo 5).

#### **3.2.4.2 Medidas auxiliares de parámetros físico químicos del suelo que inciden en la emisión de óxido nitroso.**

Según las recomendaciones de (Klein y Harrey, 2015) con las pautas metodológicas de la cámara de óxido nitroso se realizó medidas auxiliares que servirán para analizar y discutir los resultados, donde se evaluó la caracterización físico-química del suelo teniendo como referencia muestras tomadas a 10 cm de profundidad dentro del área paralela al de las cámaras, como densidad del suelo, pH, nitrato ( $\text{NO}_3$ ), amonio ( $\text{NH}_4$ ), temperatura del ambiente - suelo y el espacio poroso lleno de agua del suelo (EPLLA ). La medición se desarrollo después de aplicar la orina como base nitrogenada, coincidiendo con los días de toma de muestra de aire, dentro de los 34 días que duro el experimento, estos parámetros físicos- químicos se determinaron de la siguiente manera:

#### **a. Parámetros Físicos**

Las evaluaciones de los parámetros físicos (temperatura, humedad, densidad, espacio poroso lleno de agua EPLLA, precipitación) se realizaron en el campo experimental y el “Laboratorio de Ecología y Utilización de Pastizales de la facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina”.

- **Temperaturas**

Se tomó mediciones de las temperaturas del suelo y cámara.

- La temperatura del suelo se tomó a una profundidad de 10 cm, se promedió las temperaturas del inicio y final de la colección con un termómetro al medio del campo experimental.
- La temperatura de cámara se tomó con un termo higrómetro (instrumento de medición rápida de la temperatura y la humedad) con sensor externo, ubicando el sensor de modo que no choque con ningún elemento dentro de la cámara. Cada día de colección de muestra de aire, se toma esta medida en una sola cámara al azar, al

colocar el sensor y luego al final de la colección. Cuyos datos nos servirán para hallar los flujos de emisión del N-N<sub>2</sub>O.

- **Humedad del suelo**

Se utilizó el método gravimétrico, se tomó 16 muestras de suelo por cada día de medición (10 días), en cada área adyacente a la cámara, utilizando un muestreador metálico a una profundidad de 10 cm, se pesó inicialmente (Pi) luego se llevó a la estufa 105 °C de temperatura por 48 horas obteniendo un peso constante (Pf) (Anexo 6), posteriormente se expreso en porcentaje utilizando la siguiente formula.

$$\% \text{ Humedad} = (P_i - P_f) / P_i \times 100$$

- **Densidad**

Se utilizó las muestras tomadas con anterioridad, una vez determinadas el % de humedad del suelo, se obtuvo el peso seco (Ms) de las muestras, que nos permitirá hallar la densidad aparente, para ello se utilizó las medidas del muestreador diseñado, que tuvo un volumen total (Vt) 253.6 cm<sup>3</sup> (radio 2.9 cm y altura 9.6 cm) (Anexo 7), utilizando la siguiente formula.

$$D_a = M_s / V_t = \text{gr cm}^3$$

*Donde:*

*D<sub>a</sub> = Densidad aparente del suelo*

*M<sub>s</sub> = Peso seco del suelo*

*V<sub>t</sub> = Volumen del cilindro*

- **Espacio poroso lleno de agua (EPLLA)**

De igual manera se obtuvo de los datos obtenidos anteriormente para hallar el contenido volumétrico del agua (Θ x100), contenido gravimétrico (W), masa del agua del suelo (Mw), utilizando las siguientes formulas:

$$\Theta = W D_a$$

$$W = M_w / M_s$$

$$M_w = M_t - M_s$$

*Donde:*

*Θ = Contenido volumétrico del agua*

*W = Contenido gravimétrico*

*M<sub>w</sub> = Masa del agua del suelo*

*M<sub>s</sub> = Materia seca*

$M_t$  = Masa de suelo húmedo

$D_a$  = Densidad aparente del suelo

Una vez obtenido el contenido volumétrico del agua se determinó el espacio de poro relleno de agua se calculó de la siguiente manera:

$$EPLLA (\%) = (\text{contenido volumétrica de agua} \times 100) \div [1 - (\text{Densidad aparente del suelo} \div 2,65)]$$

- **Precipitación**

Se tomó datos de precipitación con un pluviómetro para elemento de discusión para justificar picos de emisiones, ello se registró diariamente durante la el periodo de experimentación (34 días), utilizando para ello un pluviómetro que contenía un cono colector, donde se hizo la lectura por intermedio de un sensor contador de tres dígitos. Se ubicó en un área libre y segura donde pudiera garantizar su integridad.

## **b. Parámetros Químicos**

- **Caracterización del suelo**

Se tomó 1 kg de muestra compuesta del suelo de un area homogenia por el método en zig zag, en época seca para la caracterización del suelo (análisis mecánico) se efectuó en las instalaciones del “Laboratorio de Suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina”, se midieron características auxiliares principales como: pH, Conductividad Eléctrica, Calcáreo total ( $\text{CaCO}_3$ ), materia orgánica, Fósforo disponible, potasio disponible, Textura del suelo, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

- **Nitratos y amonio**

Se tomaron muestras de suelo, provenientes del metro cuadrado paralelos a las cámaras de las sub parcelas parcela, tomadas con el muestreador metálico de suelo, a una profundidad de 10 cm en relación a la profundidad de la cámara instalada, se tomó ocho muestras seleccionadas por cada día de medición (haciendo un total de 80 muestras por el periodo de duración del experimento), de las cuales cuatro provenientes del tratamiento que se le adiciono orina y las otras cuatro provenientes del tratamiento sin orina, distribuidas equidistantemente paralelo al area de las camaras. El análisis especial (nitratos - amonio) se efectuaron en las instalaciones del “Laboratorio de Suelos de la facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria la Molina”.

Para determinar Nitratos, se utilizó el método del Ácido Salicílico en medio alcalino y para Amonio se utilizó Fenol con Hidróxido de Sodio en Hipoclorito de Sodio.

### 3.2.5 Fase analítica.

#### 3.2.5.1 Lectura por cromatografía de gases.

Una vez transportada y almacenada en laboratorio las muestras tomadas en campo, el análisis químico del aire se efectuaron en las instalaciones del “Laboratorio de bioquímica nutricional de la facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria la Molina”, utilizando para ello cromatografía de gases implementado y calibrado para mediciones de Óxido nitroso.

En el experimento la concentración de N<sub>2</sub>O (ppm) en los viales sub-muestreados fue determinada por cromatografía gaseosa (CG), donde se inyectó manualmente 0.5 ml de aire procedente del vial a un cromatógrafo de gases modelo 7890B, marca *Agilent technologies*. El N<sub>2</sub>O se determinó con un detector de captura de electrones (ECD). Así mismo, se realizó la calibración con un estándar de concentración conocida, 101 ppm de N<sub>2</sub>O (Anexo 2).

### 3.2.6 Calculo de emisiones.

#### 3.2.6.1 Transformaciones y calculos de concentraciones de flujos de gas óxido nitroso.

- Después de la medición de las emisión del gas de N<sub>2</sub>O por el cromatografo, la cual nos arrojó en unidades partes por millón (ppm) de la muestra evaluada, esta se convirtió posteriormente por ecuación a unidades de medida de “flujo lineal de mg N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>/h”.
- Para el cálculo y transformación del flujo de emisión lineal de mg N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>/h, se empleó la *ecuación de cálculo de flujo* lineal de las cámaras recomendada y utilizada por (Klein y Harrey 2015; de Klein *et al.*, 2003; Li, 2014); donde los flujos de N<sub>2</sub>O serán calculados en cada fecha de muestreo, utilizando la pendiente del incremento lineal de la concentración de N<sub>2</sub>O durante el momento de muestreo, corregida por temperatura y la proporción del volumen cubierto por la cámara respecto a la superficie de la siguiente manera:

$$\text{Flujo lineal mg N}_2\text{O-N /m}^2\text{/h} = (\partial c/\partial t) \times (M/Vm) \times (V/A)$$

Donde:

$(\partial c/\partial t)$  = Pendiente (de la concentración en la frecuencia de tiempo) :4.4

**M** = masa molar (g/mol)  $\longrightarrow$  N<sub>2</sub> : 28

$\longrightarrow$  N<sub>2</sub>O :44

**V<sub>m</sub>** = Volumen molar a temp/presión (L/mol) :40.9

**n** = Moles de N<sub>2</sub>O :1.0

**R** = Constante de gases (atm l/ mol K) :0.082

**T** = temperatura en Kelvin : 273.1

**P** = presión en atmosfera : 0.599

**V** = volumen de la cámara en m<sup>3</sup>

**A** = área en m<sup>2</sup>

**h** = altura de la cámara : 0.3

\*De donde se trabajo con el primer dato de la primera cámara del día 1 así:

$$(M/V_m) = 44/40.9 \quad V_m = R \cdot T/n \cdot P \quad V/A = H$$

$$(M/V_m) = 1.0 \quad V_m = 40.9 \quad V/A = 0.3$$

- También se tuvo en cuenta, para la la conversión de las emisiones de N- N<sub>2</sub>O en emisiones de N<sub>2</sub>O se realiza mediante la siguiente ecuación (IPCC, 2000)

$$N_2O = N - N_2O \cdot 44/28$$

### 3.2.7 Diseño Estadístico

Se utilizó un Diseño Completamente al Azar DCA, con 6 repeticiones, donde la unidad experimental fue la cámara, con dos tratamientos *con orina* y *sin orina*.

**Modelo estadístico:**

$$Y = \mu + t + e$$

Donde:

**Y** = Variable respuesta

**$\mu$**  = Media general

**t** = Efecto del tratamiento con la orina

**e** = Error

Para poder conocer las emisiones de flujo de  $\text{mg N-N}_2\text{O /m}^2\text{/h}$  por unidad de muestreo (cámara), se realizó mediciones en 10 días puntuales, en un periodo de 34 días (tiempo prudencial, donde los picos de emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  suelen durar entre uno y 30 días, especialmente después de la aplicación de la orina) según indicaciones de las pautas metodológicas de la cámara de óxido nitroso de Klein y Harrey (2015). Estos valores de flujos de  $\text{N-N}_2\text{O mg/m}^2\text{/h}$  por día de medición fueron interpolados en los días que no hubo medición, luego fueron promediados y multiplicados por 24 horas obteniendo un valor de emisión acumulada por día ( $\text{mg N-N}_2\text{O /m}^2\text{/día}$ ), luego se sumó todos los días del periodo de evaluación, haciendo valores acumulados de 34 días ( $\text{mg N-N}_2\text{O /m}^2\text{/34 días}$ ) por cámara y tratamiento, para posteriormente llevarlo al programa estadístico.

Cabe indicar que al realizar la conversión de la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  ppm a la unidad de emisión flujos lineales  $\text{mg N-N}_2\text{O/m}^2\text{/h}$ , no se tomó en cuenta aquellas cámaras donde su coeficiente de determinación ( $R^2$ ) eran menores a 0.8, solo se consideró aquellas mayores a esta, para obtener mejor calidad de resultados de las muestras para su discusión. En este sentido fueron eliminadas las cámaras 1,2, 8 y 9, quedando así para su posterior análisis 6 cámaras con tratamiento de orina y las otras 6 cámaras de tratamiento sin orina, es decir cada tratamiento con 6 repeticiones cada una.

Para el cálculo estadístico se usó la herramienta SAS 8.0 (año 1999). Se utilizó el análisis de variancia (ANOVA, Analysis of Variance) para comparar la media de los flujos de emisión de los diferentes tratamientos de orina y sin orina (de 6 repeticiones), al 5 por ciento del nivel de probabilidad.

Así mismo para determinar la correlación se utilizó la correlación de Pearson existente entre los factores ambientales, químicos y físicos que influyen en las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  se utilizó la herramienta SAS 8.0 que permitió identificar, cuál de los factores se encuentra más íntimamente relacionado con las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ , así.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Parámetros físico químicos del suelo que mayor influyeron en la emisión de óxido nítrico.

Las principales medidas auxiliares que influyeron en la emisión de  $N_2O$ , fueron temperatura, densidad, espacio poroso lleno de agua (EPLLA),  $NH_4$  (amonio),  $NO_3$  (nitrato) (Figura 14) (Figura 16) (Anexo 14).

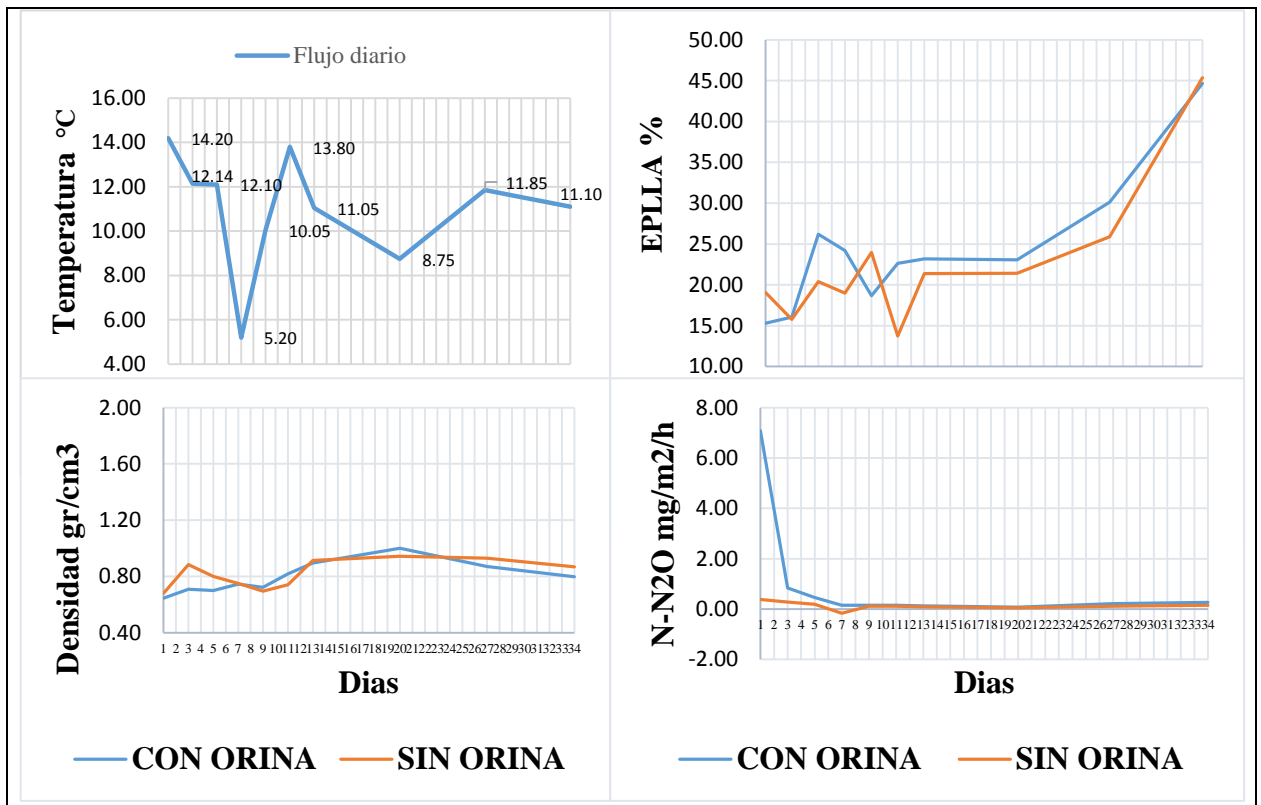


Figura 14: Parámetros físico del suelo que mayor influye en la emisión de óxido nítrico

#### 4.1.1 Parámetros Físicos del suelo.

##### a. Temperatura del suelo

La temperatura a 10 cm de profundidad del suelo varió entre 5.2 °C a 14. 20 °C durante el período del experimento (Figura 14) (Anexo 14). La temperatura más alta registrada, 14.20 °C, coincidió con la aplicación de orina al primer día, influyendo de esta manera en el flujo de emisión de N<sub>2</sub>O del experimento.

Dicha condición ambiental optima de temperatura y la aplicación de orina, pudo favorecer a la actividad de los microorganismos del suelo y por ende la producción del N<sub>2</sub>O coincidiendo con resultados de Alves *et al.*, (2012). La orina tendría un rol aislante a los cambios bruscos de temperatura a nivel del suelo durante el día y la noche que son marcados en la zona altoandina (Tácuna, 2016).

Estudios anteriores en Nueva Zelanda de una pastura perenne de (*Lolium perenne L.*) y trébol blanco (*Trifolium repens L*) de suelo franco limoso, se reportó temperaturas de suelo entre 4.6 °C a 22.4 °C bajo 10 cm de profundidad, sumado a la presencia de humedad en suelo, dieron como resultado altas emisiones N<sub>2</sub>O (Li *et al.*, 2015). Similar resultado ocurrió en São Paulo Brasil, a temperatura de 15 °C a 26 °C, pero en suelo franco arenoso de pastizal en pastoreo (Barneze, 2014). En nuestro estudio reporto 22 mm de precipitación durante el periodo de experimento, pero ello no incidió en la emisión N<sub>2</sub>O, ya que no se reporto evento de lluvia para el día 1.

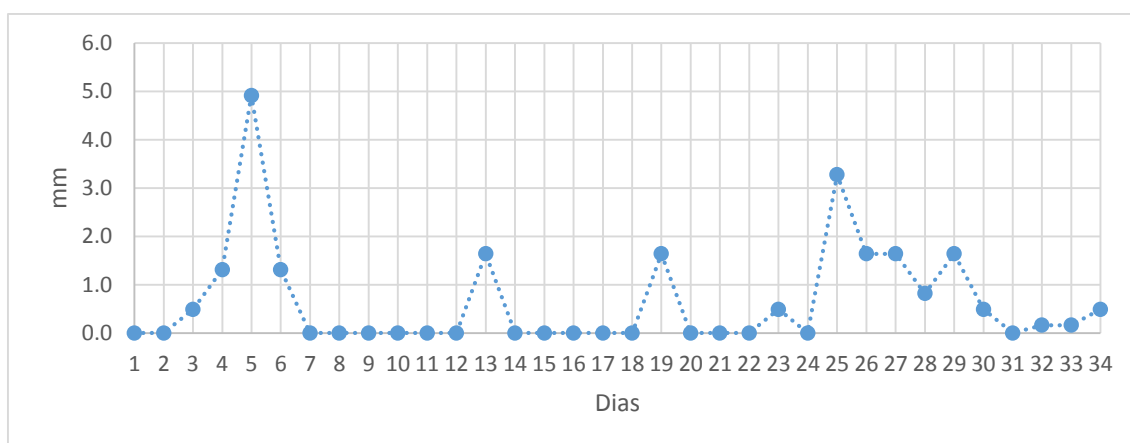


Figura 15: Precipitación del periodo en estudio



## **b. Densidad**

La densidad aparente promedio fue de  $(0.81) \text{ gr/cm}^3$ , ubicándose dentro del rango de suelos provenientes de material orgánico (Donoso, 1994). Similares resultados se obtuvieron en un suelo de ecosistema montañoso pastoreada por vacunos en la zona altoandina, densidad de  $0.88 \text{ g/cc}$  (Yalli, 2017). Valores bajos de densidad reflejan una menor compactación debido a que la parcela en estudio no había sido pastoreada meses anteriores al experimento y por lo tanto, daba una mayor facilidad de circulación de agua y aire en el suelo a la aplicación de la orina. Estas condiciones generan un ambiente favorable óptimo para la nitrificación inmediata, para luego pasar a la desnitrificación y por ende mayor generación del gas  $\text{N}_2\text{O}$ . Los cambios de densidad posteriores a la aplicación de orina No influyeron en la emisión de  $\text{NO}_2$  (Figura 14) (Anexo 14). La densidad se mantuvo casi constantes después de los primeros días de eventos picos en densidad, pese a que resultados de estudios reportaron que las pérdidas gaseosas de  $\text{N}_2\text{O}$  se incrementan bajo una mayor densidad (compactación) del suelo por los animales (Menneer *et al.*, 2005), esto debido quizá a que nuestro suelo franco no tuvo un mayor impacto por pisoteo producto del pastoreo antes y durante el experimento.

## **c. Espacio poroso lleno de agua (EPLLA )**

Se encontraron bajos valores de humedad, donde el tratamiento con orina tuvo promedios que fluctuaron entre  $15.31\%$  (inicio del experimento) a  $44.67\%$  (finalizando el experimento) de EPLLA en la temporada de experimento (Figura 14) (Anexo 14). Estos bajos valores se deben en parte a la baja precipitación del lugar (Figura 15) y por la ausencia de riego. Este valor de EPLLA a los inicios del experimento está por debajo de la capacidad de campo para un suelo con textura Franca ( $34\%$ ).

A pesar de los valores bajos de EPLLA, incluso con el tratamiento con orina, se registró un flujo alto de emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  (Figura 14). Debido a la presencia de agua en la orina, esto facilitó la presencia de un ambiente húmedo para hidrolizar la urea de la orina, y permitió que se humedezca el suelo seco sin ningún evento de precipitación. Las emisiones disminuyeron luego por baja humedad (Li, 2015). Es así que a medida que paso los días el EPLLA incrementaba ligeramente en ambos tratamientos llegando a su pico máximo de EPLLA del día 34, mas no guardaba relación con los flujos de emisión de  $\text{N}_2\text{O}$ , las cuales se mantenían bajas y constantes similares en ambos tratamientos (Figura 14) (Anexo 14).

Según resultados y tendencias generales de que las mayores emisiones predominantes de  $N_2O$ , se suscita en la desnitrificación cuando la humedad del suelo se encuentra por encima del 60% (EPLLA), y por debajo del 60% de la EPLLA es la nitrificación con menores emisiones de  $N_2O$  (Müller y Sherlock 2004); haciendo que disminuya la aireación del suelo (Schils *et al.*, 2013) como factor importante que influye en la desnitrificación (Barneze, 2014) corroborando con otros resultados también tuvieron bajos porcentajes de humedad, cuando existió baja precipitación y reflejo menores emisiones de  $N_2O$  con un valor de 60% de (EPLLA) (Saggar *et al.*, 2004); 48-57% EPLLA por (Li *et al.*, 2015).

#### 4.1.2 Parámetros Químicos.

El N en forma de sustratos disponibles en el suelo se encontró en concentraciones de  $NH_4$  y  $NO_3$  (Figura 16).

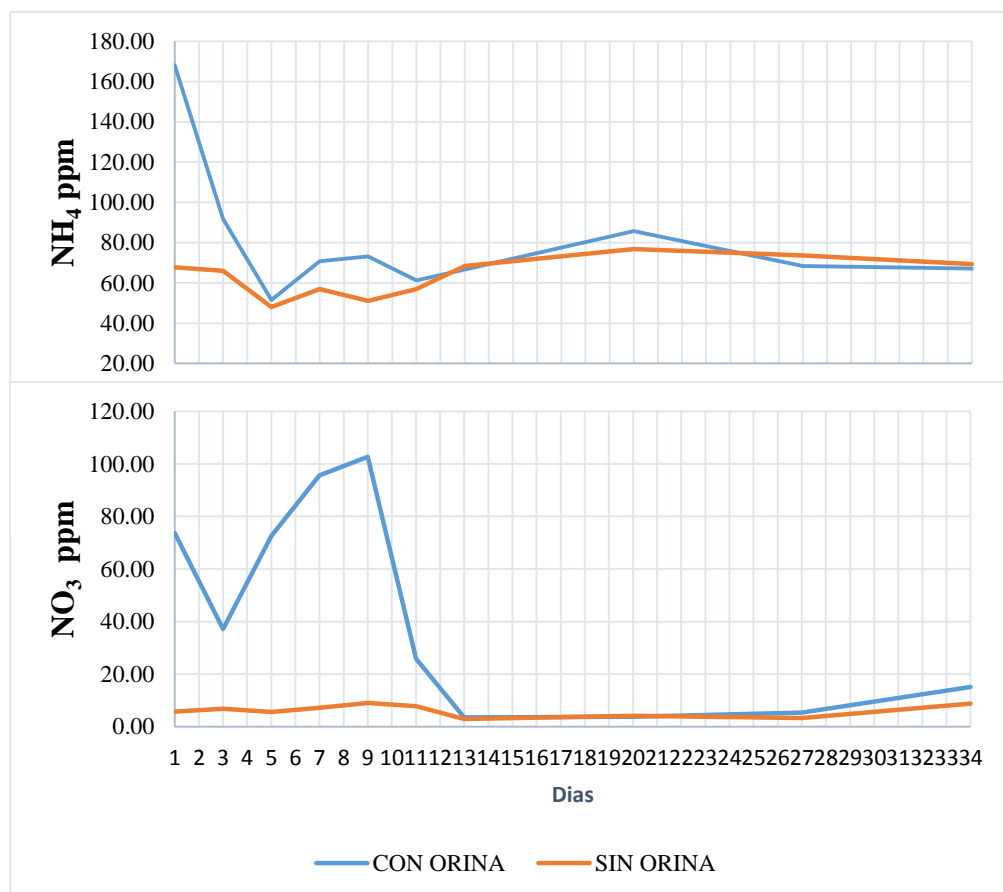


Figura 16: Parámetros químicos del suelo que mayor influyeron en la emisión de óxido nitroso

#### **a. Amonio (NH<sub>4</sub>)**

La mayor emisión de óxido nitroso se presentó al primer día de aplicación de la orina, coincidiendo con una alta concentración de NH<sub>4</sub> de 168 y 67.8 ppm para el tratamiento con orina y sin orina respectivamente. Estos valores luego descienden rápidamente el día 5 con una concentración de NH<sub>4</sub> de 51.6 y 48 ppm para el tratamiento con orina y sin orina respectivamente (Figura 16) (Anexo 14), posteriormente a ello incremento en el día 9 y 20 posiblemente debido ambiente optimo después de los eventos de lluvia (Figura 15) y luego se mantuvo un comportamiento casi constante en el que ya no tuvo influencia en la emisión de N<sub>2</sub>O.

Una mayor concentración de NH<sub>4</sub> al inicio del experimento fue posiblemente producto de la hidrólisis de urea a amonio (Monaghan y Barraclough, 1993 citado por Ball, 2012), es decir como consecuencia de la desintegración rápida de la Materia orgánica por las bacterias y hongos a NH<sub>4</sub> inmediatamente después de la adicción de la orina (Garzon, 2017) y los otros factores como baja densidad , mayor temperatura que favorecieron al rápido aumento en las emisiones de N<sub>2</sub>O después de la aplicación de orina del primer día.

Nuestras concentraciones fueron mayores a las concentraciones encontradas en Uruguay después de la aplicación de N en la orina en una pastura cultivada, reportadose una concentración inicial de NH<sub>4</sub> de 8.1 y 8.6 ppm para el tratamiento con orina y sin orina respectivamente (Berger, 2011), pero fueron menores en comparación a las concentraciones encontradas en Nueva Zelanda produciendo concentraciones iniciales de NH<sub>4</sub> aproximadamente 500 ppm de NH<sub>4</sub> (Müller, 2004) y en Colombia en época seca 337.9 ppm Garzón, (2017).

#### **b. Nitratos (NO<sub>3</sub>)**

La concentración inicial de NO<sub>3</sub> en el suelo fue 73.7 y 5.8 ppm para el tratamiento con orina y sin orina respectivamente, coincidiendo aquí con la máxima emisión de N<sub>2</sub>O del día 1 (Figura 16) (Anexo 14); Luego estos valores cambian, llegando a su pico el día 9 con 102.6 y 9.5 ppm para el tratamiento con orina y sin orina respectivamente, para después bajar a niveles de control.

Resultados de estudios indica que NO<sub>3</sub>, es un sustrato clave para inducir a la actividad enzimática de la desnitrificaron (Byrnes, 2017). Y que estas tasas de desnitrificación se ven

limitadas en condiciones de invierno (época seca), debido a su disponibilidad de  $\text{NO}_3$  (Uchida y Clough 2015), comparando con estudios, fueron bajos en Uruguay a la aplicación de orina con concentraciones iniciales de  $\text{NO}_3$  9.5 y 10.4 ppm para el tratamiento con orina y sin orina, respectivamente (Berger, 2011) y mayores concentraciones se obtuvieron en Colombia con una concentración de  $\text{NO}_3$  de 147.3 ppm (Garzón, 2017), Nueva Zelanda  $\text{NO}_3$  de 150 ppm (Müller, 2004).

En general las altas concentraciones de  $\text{NO}_3$  se reflejaron a la aplicación del tratamiento con orina, sumado quizá a las concentraciones de  $\text{NO}_3$  en el suelo presentes de épocas anteriores en la parcela apacentada y también debido a la menor demanda de N por parte de la planta en esta época de seca (Uchida y Clough, 2015; Menneer, 2005) al día 1 posiblemente la nitrificación fue muy rápida, teniendo como sustrato el  $\text{NO}_3$ , que influyo a mayores emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$ , cuando esta pudo haberse favorecida por condiciones como la humedad por la orina mas no como producto de la precipitación ya que no hubo evento de lluvia ese día ; temperatura y densidad que estimulo el metabolismo microbial del suelo (Garzón, 2017; Li, 2015; Müller, 2004).

#### **4.2 Emisiones de óxido nitroso.**

En la Figura 17 se observa la distribución de los flujos diarios de emisión promedio expresado en unidades de  $\text{N-N}_2\text{O}$   $\text{mg/m}^2/\text{h}$  durante el periodo experimental (34 días época seca). Este flujo de emisión fue alto, debido al aumento inicial en el suelo de Nitrógeno mineral ( $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$ ). El  $\text{NO}_3$  producto de la nitrificación del amonio y como sustrato disponible para las bacterias desnitrificadoras que en concentraciones altas, sumados a otros factores como temperatura, densidad, contenido de agua condujeron a una alta producción de  $\text{N}_2\text{O}$ , en esta parcela de pastura en evaluación (Saggar *et al.*, 2013).

Generalmente las altas emisiones de flujo de  $\text{N}_2\text{O}$  ocurren dentro del primer día después de la aplicación de orina en suelos de pasturas (Li *et al.*, 2014). Los picos de los flujos de emisión  $\text{N}_2\text{O}$  de orina aplicadas al suelo, también ocurrieron dentro de las 24 h en Nueva Zelanda con un flujo máximo de 1.29  $\text{mg N-N}_2\text{O/m}^2/\text{h}$  (Li *et al.*, 2015). Otros resultados de estudios en Colombia en pastura cultivadas (festuca y alfalfa) de la estación primavera (setiembre) se encontró un valor pico de emisión de flujo de 0.6564  $\text{mg N-N}_2\text{O/m}^2/\text{h}$  inmediatamente después de aplicar la orina (Berger, 2011). Similar resultado se obtuvo en Waikato -Nueva Zelanda de granjas lecheras, de ryegrass (*Lolium perenne* L) - trébol blanco

(*Trifolium repens L.*) con un máximo flujo de emisión de 0.6 mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h (de Klein *et al.* 2003). Las emisiones de óxido nitroso de nuestro estudio también aumentaron inmediatamente después de la aplicación de orina, reportándose al primer día (24 horas) el pico máximo de emisión alta de todo el periodo experimental con un flujo de emisión de 7.083 mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h, frente a 0.381 mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h sin aplicación de orina.

Posteriormente al día 1, también se registró en nuestro experimento que los flujos aumentaron inmediatamente después de la aplicación de la orina y disminuyeron gradualmente con el tiempo. Al día 8 se inició el establecimiento de la emisión del flujo con un valor de 0.147 mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h para tratamiento con orina, frente a -0.026 mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h sin orina, llegando hasta el día 34 con valores cercanos al tratamiento control de 0.264 mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h al tratamiento con orina, frente a 0.149 mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h sin orina. Estos valores coinciden con estudios similares en pasturas perennes de (*Lolium perenne L.*) y trébol blanco (*Trifolium repens L.*) (de Klein, 2003; Clough 2009; Li *et al.*, 2015 ; Bowatte *et al.*, 2018). Los valores de flujos diarios de emisión mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h promedios diarios por tratamiento, se pueden encontrar a más detalle en el (Anexo 9) y (Anexo 14).

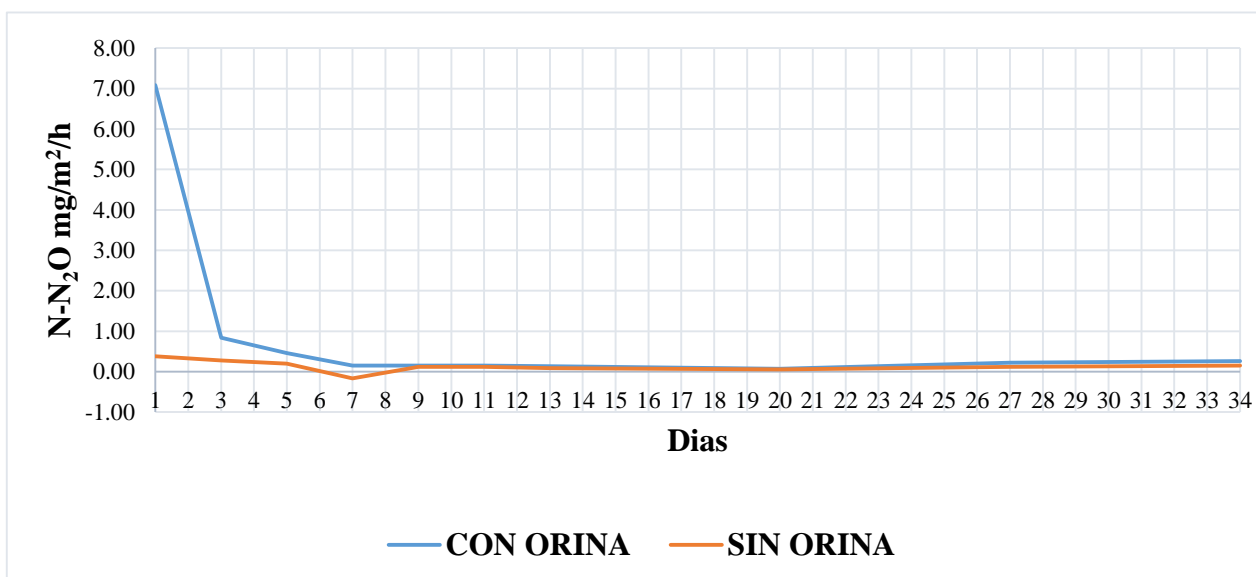


Figura 17: Distribución del Flujo diario de N-N<sub>2</sub>O en 34 días de evaluación

Diferencias similares de flujos de emisión de N<sub>2</sub>O, con y sin orina, se encontraron en una pastura perenne de (*Lolium perenne L.*) y trébol blanco (*Trifolium repens L.*) en Nueva Zelanda de suelo de textura limosa, pH de suelo 6.2, de 78 días, sus valores oscilaron entre 0.053 a 5.89 N-N<sub>2</sub>O mg /m<sup>2</sup> /h con orina, frente a los flujos de 0.001 a 0.386 mg N-N<sub>2</sub>O

/m<sup>2</sup>/h sin orina (Clough, 2009). Nuestro estudio reportó valores menores de flujos promedios por cámara que oscilaron entre 0.154 a 0.805 mg N-N<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>/h de tratamiento con orina, frente a flujos de 0.002 a 0.184 mg N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>/h sin orina (Cuadro 7).

**Cuadro 7: Emisión promedio por cámara de flujo mg N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>/h.**

<b>Flujo lineal mg N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>/h promedio de los 34 días por cámara</b>		
<b>Repetición (Cámaras)</b>	<b>Con Orina</b>	<b>Sin Orina</b>
1	0.607	0.002
2	0.154	0.184
3	0.805	0.046
4	0.582	0.105
5	0.540	0.166
6	0.456	0.179
<b>Promedio</b>	<b>0.524</b>	<b>0.114</b>

En nuestro estudio los resultados de las emisiones acumuladas de mg N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>, en el periodo de evaluación de 34 días (estación seca), por cámara (Cuadro 8); se encontró: al tratamiento con orina una emisión de flujos acumulados promedio de 427.34 mg de N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup> frente al tratamiento sin orina de 92.78 mg de N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup> (Anexo 9).

**Cuadro 8: Emisión de flujos acumulados en cámaras N-N<sub>2</sub>O por tratamientos.**

<b>Emisión de Flujos acumulados cámara</b>		
<b>(mg N-N<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>/ 34 días)</b>		
<b>Repetición (Cámaras)</b>	<b>Con Orina</b>	<b>Sin Orina</b>
1	494.91	1.36
2	125.37	150.09
3	656.89	37.45
4	474.82	85.65
5	440.31	135.80
6	371.72	146.34
<b>Promedio</b>	<b>427.34</b>	<b>92.78</b>

Obteniéndose los resultados al análisis estadístico de ambos tratamientos encontrándose con una diferencia significativa de P valor = 0.0013 (P<0,05), Coeficiente de variabilidad de 50.64 % y R<sup>2</sup> =0.66. Debido probablemente a la aplicación de N en la orina así como la

presencia de condiciones de temperatura, humedad (EPLLA), pH y densidad; como precursores de un ambiente adecuado para la actividad biológica y por ende la producción de N<sub>2</sub>O (Allen *et al.*, 1996; Skiba *et al.*, 1996; Flessa *et al.*, 2002; Ambus *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2008; Matthews *et al.*, 2010; Eckard *et al.*, 2003 y Dalal *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2008).

Por lo que en nuestro estudio al realizar la conversión de las emisiones de flujos N-N<sub>2</sub>O en emisiones de N<sub>2</sub>O, utilizando los cálculos de la ecuación de conversión recomendada por el IPCC (Anexo 10), se tuvo al tratamiento *Con orina* una emisión de 6.71 Kg de N<sub>2</sub>O en los 34 días que duro el experimento, frente al tratamiento *Sin orina* de 1.45 Kg de N<sub>2</sub>O (Cuadro 9)

**Cuadro 9: Emisiones de N<sub>2</sub>O del proyecto 34 días.**

Tratamiento	N <sub>2</sub> O Kg/ha /34días
Con orina	6.71
Sin orina	1.45

#### 4.3 Correlación de parámetros.

Se realizó la correlación por cada tratamiento para ver el comportamiento, entre parámetros físico químicos de mayor influencia en la emisión N-N<sub>2</sub>O (Cuadro 10) y (Anexo 14).

**Cuadro 10: Correlación de parámetros de mayor influencia a la emisión de N<sub>2</sub>O.**

	NO <sub>3</sub>	NH <sub>4</sub>	Densidad	EPLLA	N-N <sub>2</sub> O
NO <sub>3</sub>	1	0.34163 0.1404	-0.56229 0.0099	-0.15107 0.5249	0.37414 0.1041
NH <sub>4</sub>		1	-0.1666 0.4827	-0.20676 0.3818	<b>0.91063</b> <b>&lt;.0001</b>
Densidad			1	0.26473 0.2593	-0.4012 0.0796
EPLLA				1	-0.23574 0.317
N-N <sub>2</sub> O					1

Resultados de correlaciones de otros estudios similares al nuestro, entre el flujo de  $N_2O$  y parámetros ambientales en Colombia, se obtuvo a una alta precipitación y alta temperatura del suelo, las cuales influyeron positivamente en la emisión de óxido nitroso (Garzon, 2017); también demostraron que los flujos de óxido nitroso, presentan una alta correlación con la humedad según (Müller, 2004; Berger, 2011); pero otro estudio encontrado en pasturas en Irlanda no hubo una correlación significativa entre los flujos de  $N_2O$  y la humedad del suelo, más bien se encontró una fuerte correlación ( $P < 0.05$ ) entre los flujos mensuales de  $N_2O$  y la temperatura del suelo (Li *et al.*, 2011).

Según el resultado de nuestro estudio, que reporto las emisiones de  $N-N_2O$  tienen alta correlación con la concentración de amonio  $NH_4$  en el suelo, con un  $r = 0.90929$  y  $P < 0.05$ , dado que esta asociación de mayor concentración de amonio producirá una alta emisión de flujo de óxido nitroso ( $N-N_2O$ ); debido principalmente a la adición de la orina, cuando se deposita en el suelo, este se hidroliza rápidamente a amonio ( $NH_4$ ) para luego pasar a nitrato ( $NO_3$ ) (proceso de nitrificación) y para luego servir como sustrato estímulo para la activación poblacional de bacterias, facilitando las emisiones de  $N_2O$  a través de la desnitrificación (Whitehead, 1995; Müller, 2004) todo ello gracias a los otros factores condicionantes como alta temperatura, menor densidad, humedad, que en menor medida influyeron en esta correlación.



## V. CONCLUSIONES

- La concentración de  $\text{NH}_4$  mostró mayor correlación con la emisión de  $\text{N}_2\text{O}$  en la pastura inmediatamente después de haber sido aplicada la orina, es decir si se aumenta la concentración de amonio en el suelo la emisión de óxido nitroso será mayor.
- Los flujos de emisión de N-  $\text{N}_2\text{O}$  fueron 4.6 veces más altas con la aplicación de orina debido a que la temperatura, densidad y humedad del suelo permitieron que el N de la orina se nitrifique rápidamente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Ampliar el periodo de evaluación incluyendo ambas épocas del año, seca y lluvia, para evaluar diferentes escenarios de emisiones de N<sub>2</sub>O y así validar los valores de emisiones para el inventario de gases de efecto invernadero del país.
- Se pueden mejorar la metodología de medición, incorporando más factores ambientales que influyen en la emisión del N<sub>2</sub>O, donde se tenga mayor duración y se combine diferentes técnicas bajo una gama de actividades estratégicas para minimizar la incertidumbre de error en el sector agropecuario de la zona alto andina del Perú

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Ahn YH. 2006.** Sustainable nitrogen elimination biotechnologies: A review. *Process Biochemistry* 41 (7) .1709–1721.

**Alfaro, M., Vistoso, E., Salazar, F., Hube, S., Ramírez, L. y Rosas, A.2013.** Emisiones de óxido nitroso en una pradera permanente fertilizada con distintas fuentes de nitrógeno en un suelo volcánico del sur de Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, INIA-Remehue. (Gobierno de Chile / Ministerio de Agricultura/ Inia Remehue).

**Altieri, M.A., Nicholls, C.I. 2009.** Cambio Climatico y Agricultura Campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA revista de agroecología*. Socla.co. Universidad de California, Berkeley USA. Consultado 30 de oct. 2018.

**Altieri M.A., Nicholls, C.I. 2009.** Cambio Climatico y Agricultura Campesina: impactos y respuestas adaptativas. *LEISA revista de agroecología*. Socla.co. Universidad de California, Berkeley USA. Original source **Redy, K. R. y Hodges H. F. 2000.** Change and Global Crop Productivity. Department of Plant and Soil Acienes Mississippi State University- USA

**Allen, A.G., Jarvis, S.C., Headon, D.M.1996.** Nitrous oxide emissions from soils due to inputs of nitrogen from excreta return by livestock on grazed grassland in the U.K. *Soil Biology and Biochemistry*.Volume 28, Issues 4–5.Pages 597-607. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00186-7](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00186-7)

**Alves, B. J. R., Smith, K. a., Flores, R. a., Cardoso, A. S., Oliveira, W. R. D., Jantalia, C. P. Boddey, R. M. 2012.** Selection of the most suitable sampling time for static chambers for the estimation of daily mean N<sub>2</sub>O flux from soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 46(July), 129–135. <http://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.022>

**Amamou, H., Sassi, M.B., Aouadi, H., Khemiri, H., Mahouachi, M., Beckers, Y., Hammami, H. 2018.** Climate change-related risks and adaptation strategies as perceived in

dairy cattle farming systems in Tunisia. *Climate Risk Management*, volumen 20, Issue undefined, páginas 38-49. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.03.004>

**Ambus, P., Petersen, S.O., Soussana, J.F. 2007.** Short-term carbon and nitrogen cycling in urine patches assessed by combined carbon-13 and nitrogen-15 labelling. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Volume 121. Pages 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.007>

**Arenas, L. C. 2015.** “Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos”. Tesis Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Administración Palmira, Colombia. Consultado 12 de dic.2018. Disponible en [http://www.bdigital.unal.edu.co/51898/1/Laura\\_Natalia\\_Arenas\\_Calle-2016.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/51898/1/Laura_Natalia_Arenas_Calle-2016.pdf)

**Arenas, L. C. 2015.** “Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos”. Tesis Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Administración Palmira, Colombia. Fuente original **Smith, K.A., Ball, T., Conen, F., Dobbie, K.E., Massheder, J., Rey, A. 2003.** Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physical factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* 54, 779-791 y **Chapuis-Lardy L, Wrage N, Metay A. 2007** Soils, a sink for N<sub>2</sub>O? A review. *Glob Change Biol* 13:1–17. doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01280.x

**Arenas, L. C. 2015.** “Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos”. Tesis Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Administración Palmira, Colombia. Consultado 12 de dic.2018. Disponible en [http://www.bdigital.unal.edu.co/51898/1/Laura\\_Natalia\\_Arenas\\_Calle-2016.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/51898/1/Laura_Natalia_Arenas_Calle-2016.pdf)

**Arenas, L. C. 2015.** “Diseño de cámara estática cerrada y medición de flujos de gases de efecto invernadero (GEI) en suelos”. Tesis Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ingeniería y Administración Palmira, Colombia. Fuente original. **Jones, S. K., Famulari, D., Di Marco, C. F., Nemitz, E., Skiba, U. M., Rees, R. M., and Sutton, M. a. (2011).** Nitrous oxide emissions from managed grassland: a comparison of eddy covariance and static chamber measurements. *Atmospheric Measurement Techniques*, 4(10), 2179–2194. <http://doi.org/10.5194/amt-4-2179-2011>

**Baily A, Watson C, Laughlin R, Matthews D, McGeough K, Jordan P.** 2012 Use of the <sup>15</sup>N gas flux method to measure the source and level of N<sub>2</sub>O and N<sub>2</sub> emissions from grazed grassland. *Nutr Cycl Agroecosys* 94: 287–298.

**Ball, B.C., Cameron, K.C., Di, H.J. y Moore, S. 2012.** “Efectos del pisoteo de un suelo de pasto húmedo sobre la porosidad del suelo y sobre la mitigación de las emisiones de óxido nitroso por un inhibidor de la nitrificación, diciandiamida”; fuente original: **Monaghan, R.M. and Barraclough, D. 1993.** Nitrous oxide and dinitrogen emissions from urine-affected soil under controlled conditions. *Plant and Soil*, 151, 127–138. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00389.x> Citado por: 24

**Barneze, A.S., Mazzetto, A.M., Zani, C.F., Misselbrook, T., Cerri, C.C. 2014.** “Emisiones de óxido nitroso del suelo debido a la deposición de orina por pastoreo de ganado en Brasil”. *Ambiente Atmosférico*, Volumen 92, páginas 394-397 <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.046>

**Barneze AS, Minet EP, Cerri CC, Misselbrook T. 2015.** The effect of nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions from cattle urine depositions to grassland under summer conditions in the UK. *Chemosphere* 119 (2015) 122–129

**Benavides, H. O., León, G. 2007.** Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales–IDEAM (en línea). Bogota, Colombia. Consultado 13 nov. 2018. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>

**Berger, L. B. 2011.** Emisiones de Óxido Nitrosos producidas por la actividad ganadera en el Uruguay y en condiciones de pastoreo. Profundización en Ecología. Informe de Pasantía Facultad de ciencias - Universidad de la República.

**Berger, L. B. 2011.** Emisiones de Óxido Nitrosos producidas por la actividad ganadera en el Uruguay y en condiciones de pastoreo. Informe de Pasantía Facultad de ciencias - Universidad de la República. Fuente original. **Di, H.J., Cameron, K.C., 2006.** Nitrous oxide emissions from two dairy pasture soils as affected by different rates of a fine particle suspension nitrification inhibitor, dicyandiamide. *Biol. Fertil. Soils* 42, 472–480 and

**Ambus, P., Petersen, S.O., Soussana, J.F., 2007.** Short-term carbon and nitrogen cycling in urine patches assessed by combined carbon-13 and nitrogen-15 labelling. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121 (1–2), 84–92.

**BID (Banco Interamericano de Desarrollo); CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2014.** La Economía del Cambio Climático en el Perú (en línea). Edi.1. Consultado el 01 de oct. 2018. Disponible en [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37419/S1420992\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37419/S1420992_es.pdf)

**BID (Banco Interamericano de Desarrollo); CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2014.** La Economía del Cambio Climático en el Perú. Ed. 1, pag. 83. Original source: **Brown, J. y Macleod, N. 2011.** “A Site-Based Approach to Delivering Rangeland Ecosystem Services”. *The Rangeland Journal*. 33(2), pp. 99-108.

**BID (Banco Interamericano de Desarrollo); CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2014.** La Economía del Cambio Climático en el Perú. Ed. 1, pag. 83. Fuentes originales de: **Vidal, C. y Muñoz, G. (2010)**, “Investigaciones del proyecto arqueológico en la temporada de campo 2010”. Informes y trabajos. Excavaciones en el exterior. 2008. 3. 100-13 y **Flores, E. M. (2011)**, “Ecosistemas de puna y seguridad hídrica en el contexto del cambio climático global”. Ponencia presentada en el seminario “Compartiendo avances y resultados en conservación e investigación: punas, agua y cambio climático”. EPG-UNALM. Publicado por el Instituto de Montaña y la Fundación McKnight. Lima, Perú.

**Bouwman, A. F., Boumans, L. M., Batjes, N.H. 2002.** Modelling global annual N<sub>2</sub>O and NO emissions from fertilized fields. *Global Biogeochem. Cycles* 16, 1080. doi.org/10.1029/2001GB001812

**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. doi:10.1016/j.geoderma.2018.03.001

**Byrnes, R. C., Nùñez, J., Arenas, L., Rao, I., Trujillo, C., Alvarez, C., Arango, J., Rasche, F., Chirinda, N. 2017.** Biological nitrification inhibition by *Brachiaria* grasses

mitigates soil nitrous oxide emissions from bovine urine patches. *Soil Biology and Biochemistry*, 107, 156–163. doi:10.1016/j.soilbio.2016.12.029

**Carter, M.S. 2007.** Contribution of nitrification and denitrification to N<sub>2</sub>O emissions from urine patches. *Soil Biol. Biochem.* 39, 2091–2102.

**Chen, D., Li, Y., Grace, P., and Mosier, A. R. 2008.** N<sub>2</sub>O emissions from agricultural lands: a synthesis of simulation approaches. *Plant Soil*. Volume 309, pp 169–189.

**Climate-data.org. 2018.** 17 Jun. 2018 06:38:30 GMT. <https://es.climate-data.org/location/29238/>

**Clough, T.J., Sherlock, R.R., Kelliher, F.M., 2003.** Can liming mitigate N<sub>2</sub>O fluxes from a urine-amended soil?. *Aust. J. Soil Res.* 41, 439–457.

**Clough, T.J., Sherlock, R. R., Cameron, K. C., Ledgard, S. F., 1996.** Fate of urine nitrogen on mineral and peat soils in New Zealand. *Plant and Soil* 178, 141±152.

**Clough, T. J., Ray, J. L., Buckthought, L. E. 2009.** The mitigation potential of hippuric acid on N<sub>2</sub>O emissions from urine patches: an in situ determination of its effect. *Soil Biol and Biochem* 41: 2222–2229.

**Crowley, Thomas J., Nort., Gerald, R. 1988.** Abrupt climate change and extinction events in Earth history. *Science*, Vol. 240, Issue 4855, pp. 996-1002. doi:10.1126/science.240.4855.996

**Dalal, R.C., Wang, W., Robertson, G.P., Parton, W.J. 2003.** Nitrous oxide emission from Australian agricultural lands and mitigation options: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 2003, 41. 165 - 195.

**Dasa, B.T., Hamontsb, K., Moltchanovac, E., Clougha, T.J., Condrona, L.M., Wakelind, S.A. and Callaghand, M. O. 2012.** Influence of photosynthetically active radiation on diurnal N<sub>2</sub>O emissions under ruminant urine patches. *New Zealand Journal of Agricultural Research* Vol. 55, No. 4, 319331.

**de Klein, C. A. M., Barton, L, Sherlock, R. R., Li Z., and Littlejohn, R.P. 2003.** Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils. *Australian Journal of Soil Research*, 41:3, 381-399. Consultado 04 de dici 2018. Disponible en [https://www.landcareresearch.co.nz/publications/researchpubs/nitrous\\_oxide\\_inventory.pdf](https://www.landcareresearch.co.nz/publications/researchpubs/nitrous_oxide_inventory.pdf)

**de Klein, C. A. M., Barton, L, Sherlock, R. R., Li Z., and Littlejohn, R.P. 2003.** Estimating a nitrous oxide emission factor for animal urine from some New Zealand pastoral soils. Original source: **Sherlock RR, Muller C, Hendriksen SD, Barringer JRF, Cameron KC.1997.** Methodology for assessing nitrous oxide and methane fluxes from agricultural soils. Lincoln Soil Quality Research Centre, Lincoln University, New Zealand.

**de Klein, C.A.M., Ledgard, S.F., 2005.** Nitrous oxide emissions from New Zealand agriculture—key sources and mitigation strategies. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 72, 77–85.

**de Klein, C.A.M., Smith, L.C., Monaghan, R.M., 2006.** Restricted autumn grazing to reduce nitrous oxide emissions from dairy pastures in Southland, New Zealand. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112,192–199. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.08.019>

**de Klein, C. A., Harrey, M. J. 2015.** Nitrous Oxide Chamber Methodology Guidelines. Global Research Alliance (GRA) on agricultural Greenhouse Gases. Edited, Versión 1.1 Centro de investigación de Invermay, Bolso Privado 50034, Mosgiel, Nueva Zelanda.

**Di, H. J., Cameron, K.C. 2011.** How does the application of different nitrification inhibitors affect nitrous oxide emissions and nitrate leaching from cow urine in grazed pastures?. *Soil Use and Management.* <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2011.00373.x>

**Donoso, C. (1994).** Ecología forestal. El bosque y su medio ambiente. Chile: Editorial Universitaria.

**ECHA (European CHEmical Agency). 2018.** “Estructura Molecular del Óxido nitroso” © PRTR España, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente - European CHEmical Agency. Disponible en <http://www.prtr-es.es/N2O-oxido-nitroso,15592,11,2007.html>



**Eckard RJ, Chen D, White RE, Chapman DF. 2003.** Gaseous nitrogen loss from temperate perennial grass and clover dairy pastures in south eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Research*, 54:561–570.

**Eggleton, T. 2017.** Climate Change: The Physical Picture Primera publicación: 22 de septiembre de 2017 Capítulo 11. doi.org/10.1002/9781119154051.ch1

**EPA. (United States Environmental Protection Agency). 1999.** “Boletín técnico de Óxidos de Nitrógeno (NOx), ¿Por Qué y Cómo Se Controlan?” Clean Air Technology Center (MD-12), Information Transfer and Program Integration Division, Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, North Carolina 2711.

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2006.** La larga sombra del ganado: problemas ambientales y opciones (en línea), por Steinfeld, H., Gerber, P. J., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M. y Haan, de C. FAO, Roma. Disponible en línea en <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf>

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009.** “Cambio Climático -El impacto en la agricultura y los costos de adaptación” (en línea), Gerald C. N., Mark W. R., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte, S. R., Ewing, M. y Lee, D. Consultado 14 de nov. 2018. Disponible en [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo%20adaptacion.pdf)

**Faverin, C., Gratton, R. y Machado, C.F. 2014.** “Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de carne vacuna de base pastoril”. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol 34 (1): 33-54.

**Firestone, M.K. & Davidson, E.A. 1989.** Microbiological basis of NO and N<sub>2</sub>O production and consumption in soil. In: Exchange of trace gases between terrestrial ecosystems and the atmosphere (eds M.O. Andreae & D.S. Schimel), pp. 7–21. Wiley & Sons, Chichester.

**FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) 2010.** Cambio Climático y Ganadería: Cuantificación y Opciones de Mitigación de las Emisiones de Metano y Oxido

Nitroso de Origen Bovino en Condiciones de Pastoreo. Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur (PROCISUR), Propuesta de proyecto. Pp. 7-76 (en línea). Disponible en [http://apps.procisur.org.uy/proyectos/pdfs/27\\_Cambio\\_climatico\\_y\\_ganaderia.pdf](http://apps.procisur.org.uy/proyectos/pdfs/27_Cambio_climatico_y_ganaderia.pdf)

**FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria).2014.** “Mejoramiento de los sistemas de producción animal con énfasis en la ganadería de leche en la Región Andina dentro del contexto de cambio climático”. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). Propuesta proyecto. Consultado 21 de nov. 2018. Disponible en: <https://www.fontagro.org/wp-content/uploads/2017/04/14653-Propuesta-de-Proyecto.pdf>

**Flechard, C. R., Ambus, P., Skiba, U. M., Rees, R. M., Hensen, A., Van den Pol A., Soussana, J. F., Jones, M., Clifton-Brwon, J., Raschi, A., Horvath, L., Van Amstel, A., Neftel, A., Jocher, M., Ammann, C., Fuhrer, J., Calanca, P., Thalman, E., Pilegaard, K., Di Marco, C., Campbell, C., Nemitz, E., Hargreaves, K. J., Levy, P., Ball, B., Jones, S., Van de Bulk, W. C. M., Groot, T., Blom, M., Gunnink, H., Kasper, G., Allard, V., Cellier, P., Laville, P., Henault, C., Bizouard, F., Jolivot, D., Abdalla, M., Williams, M., Baronti, S., Berretti, F., Grosz, B. and Dominques, R. 2007.** Effects of climate and management intensity on nitrous oxide emissions in grassland systems across Europe. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121: 135-152.

**Flessa, H., Dorsch, P., Beese, F., Konig, H., Bouwman, A.F., 1996.** Influence of cattle wastes on nitrous oxide and methane fluxes in pasture land. *Journal of Environmental Quality*. 25, 1366±1370.

**Flessa H., Ruser R., Dörsch P., Kamp T., Jimenez M.A., Munch J.C., Beese F., 2002.** Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from two farming systems in southern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91.175–189. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00234-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00234-1)

**Garzón, J. E. y Cárdenas, E. A. 2013.** “Emisiones antropogénicas de amoníaco, nitratos y óxido nitroso: compuestos nitrogenados que afectan el medio ambiente en el sector agropecuario Colombia”. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia Universidad Nacional de Colombia. Rev. med. vet. zoot., Volumem 60, Issue 2, p. 121-138*

**Garzón, J.E. 2017.** "Evaluación de la aplicación de orina bovina sobre las emisiones de N<sub>2</sub>O en suelos con pasturas productoras de inhibidores biológicos de la nitrificación en el piedemonte llanero colombiano". Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Maestría.

**Garzón, J.E. 2017.** "Evaluación de la aplicación de orina bovina sobre las emisiones de N<sub>2</sub>O en suelos con pasturas productoras de inhibidores biológicos de la nitrificación en el piedemonte llanero colombiano". Universidad Nacional de Colombia, Tesis de Maestría.

Fuente original. **Baggs, M.R. 2011.** Soil microbial sources of nitrous oxide: recent advances in knowledge, emerging challenges and future direction. *Curr Opin Environmental Sustain.* 3:321-327.

**Gerber, P. J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. 2013.** *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación.* Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), Roma. Consultado 21 de nov. 2018. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3437s.pdf>

**GRA (Global Research Alliance). 2014.** Reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de la ganadería: Mejores prácticas y opciones emergentes.

**Hanslow, K., Gunasekera, V., Cullen, B., y Newth, D. 2013.** Economic impacts of climate change on the Australian dairy sector\*. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics.* <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12021>

**Hanslow, K., Gunasekera, V., Cullen, B., y Newth, D. 2013.** Economic impacts of climate change on the Australian dairy sector\*. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics.* Original source : **Macdonald, K.A., Penno, J.W., Lancaster, J.A.S. and Roche, J.R. 2008.** Effect of stocking rate on pasture production, milk production, and reproduction of dairy cows in pasture-based systems, *Journal of Dairy Science* 91, 2151–2163. And. **Chapman, D.F., Cullen, B.R., Johnson, I.R. and Beca, D. 2009.** Inter-annual variation in pasture growth rate in Australian and New Zealand dairy regions and its consequences for system management, *Animal Production Science* 49, 1071–1079. Consultado 02 de dic. 2018. Disponible en <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12021>.

**Harrison J. A. 2003.** “El Ciclo del Nitrógeno” Visionlearning (EN LINEA). Consultado en 14 nov. 2018. Disponible en: <https://www.visionlearning.com/es/library/Ciencias-de-la-Tierra/6/El-Ciclo-del-Nitr%C3%B3geno/98>

**Hasegawa K., Hanaki K., Matsuo T., Hidaka S. 2000.** Nitrous oxide from the agricultural water system contaminated with high nitrogen. *Chemosphere ± Global Change Science* 2, 335±345.

**Haynes, R. J., Williams, P. H., 1993.** Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. In: Donald, L.S. (Ed.), *Advances in Agronomy*. Academic Press, pp. 119–199.

**Hasegawa K., Hanaki K., Matsuo T., Hidaka S., 2000.** Nitrous oxide from the agricultural water system contaminated with high nitrogen. *Chemosphere ± Global Change Science* 2, 335-345.

**IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2000.** Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (en línea). Consultado 02 dic. 2018. Disponible en [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/4\\_Agriculture\\_ES.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/spanish/4_Agriculture_ES.pdf)

**IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2007.** Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (en línea). IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pág. Consultado 13 nov. 2018. Disponible en [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)

**IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2014.** Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.)] (En línea). IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs. Disponible en [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)

**IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007.** *Climate Change 2007: Working Group III: Mitigation of Climate Change; Chapter 8: Agriculture, Emission trends*

(global and regional). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Consulted Nov 18 2018. Available in [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg3/en/ch8s8-3.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/ch8s8-3.html)

**Lessa, A. R., Madari, B. E., Paredes, D. S., Boddey, R. M., Urquiaga, S., Jantalia, C. P., Alves, B. J. 2014.** Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. *Agric. Ecosyst. Environ.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.01.010>

**Jarvis S.C., Hatch D.J. and Roberts D.H. 1989.** The effects of grassland management on nitrogen losses from grazed swards through ammonia volatilization; the relationship to excretal N returns from cattle. *Journal of Agricultural Science*. vol. 112 ( 2), p205-216 (2 p.).

**Li, D., Lanigan, G. y Humphreys, J.2011.** Measured and Simulated Nitrous Oxide Emissions from Ryegrass- and Ryegrass/White Clover-Based Grasslands in a Moist TemperateClimate. *Plos One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0026176>

**Li, J., Shi, Y., Luo, J., Zaman, M., Houlbrooke, D., Ding, W., Ledgard, S. & Ghani, A. 2014.** Use of nitrogen process inhibitors for reducing gaseous nitrogen losses from land-applied farm effluents. *Biology and Fertility of Soils*, 50, 133–145. DOI 10.1007/s00374-013-0842-2

**Li, J., Luo, J., shi, Y., Lindsey, S., Houlbrooke, D., Ledgard, S. 2015.** Nitrous oxide emissions from dairy farm effluent applied to a New Zealand pasture soil. *Soil Use and Management*, 31, 279–289 .doi: 10.1111/sum.12187

**Luo, J., Ledgard, S. F. y Lindsey, S. B. 2008.** A test of a winter farm management option for mitigating nitrous oxide emissions from a dairy farm. *Soil Use and Management*, 24, 121–130 <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2007.00140.x>

**Luo J., de Klein C.A.M., Ledgard S.F., Saggar S., 2010.** Management options to reduce nitrous oxide emissions from intensively grazed pastures: A review. *Agr. Ec. and Env.* 136, 282–291. <http://sci-hub.se/10.1016/j.agee.2009.12.003>

**Matthews R.A., Chadwick D.R., Retter A.L., Blackwell M.S.A, Yamulki B., 2010.** Nitrous oxide emissions from small-scale farmland features of UK livestock farming systems. *Agricultura, ecosistemas y medio ambiente*. Volumen 136, números 3 a 4. Páginas 192-198. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.11.011>

**Menneer, J.C., Ledgard, S.F., McLay, C. & Silvester, W. 2005.** Animal treading stimulates denitrification in soil under pasture. *Soil Biology and Biochemistry*, 37: 1265–1629.

**MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 2015a.** Los Pastos Naturales Altoandinos. Ministerio de Agricultura y Riego. Consultada 12 de dic. 2018. Disponible en <http://minagri.gob.pe/portal/datero/40-sector-agrario/situacion-de-las-actividades-de-crianza-y-producci>

**MINAGRI (Ministerio de Agricultura). 2015b.** “Guía para la realización de monitoreo ambiental en el Sector Agrario”. Consultado 04 de dic. 2018. Disponible en [http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/novedades/guia\\_monitoreo.pdf](http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/novedades/guia_monitoreo.pdf). Pp 7,40 83

**MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016a.** El Perú y el Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático sobre Cambio Climático (CMNUCC) (en línea). Consultado 13 de nov. 2018. Dispñible en <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Tercera-Comunicaci%C3%B3n.pdf>

**MINAM (Ministerio del Ambiente). 2016b.** Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) 2012). Infocarbono, reporte sectorial con año base 2012 (en línea). Agricultura, Peru. Consultado 13 de nov. 2018. Disponible en <http://infocarbono.minam.gob.pe/reportes-sectoriales/reporte-sectorial-de-gases-efecto-invernadero/agricultura/>

**Mora SG, Gavi F, Peña JJ, Pérez J, Tijerina L, Vaquera H. 2007.** Desnitrificación de un fertilizante de lenta liberación y urea + fosfato mono-amónico aplicados a trigo irrigado con agua residual o de pozo. *Rev Int Contam Ambient.* 23(1):25-33.

**Mosier, A., Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S., and Van Cleemput, O. 1998.** Closing the global N<sub>2</sub>O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52: 225–248.

**Müller, C. y Sherlock R. R. 2004.** Nitrous oxide emissions from temperate grassland ecosystems in the Northern and Southern Hemispheres. *Global Biogeochemical Cycles* <https://doi.org/10.1029/2003GB002175>

**Odu CTI, Adeoye KB. 1970.** Heterotrophic nitrification in soils – a preliminary investigation. *Soil Biol Biochem.* 2(1):41-45.

**Oenema, O., Velthof, G.L., Yamulki, S., Jarvis, S.C., 1997.** Nitrous oxide emissions from grazed grassland. *Soil Use Manage.* 13, 288–295.

**Oreskes, Naomi. 2004.** «Beyond the ivory tower. The scientific consensus on climate change», *Science*. Vol. 306, Issue 5702, pp. 1686. DOI: 10.1126/science.1103618

**Orozco H. 1999.** Biología del nitrógeno, conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia. Pg. 69-315.

**Orr RJ, Griffith BA, Champion RA, Cook JE. 2012.** Defaecation and urination behaviour in beef cattle grazing semi-natural grassland *Applied Animal Behaviour Science*, 139 (1–2) (2012), pp. 18-25.

**Parkin, T.B. and Venterea, R.T. 2010.** Sampling Protocols. Chapter 3. Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements. IN *Sampling Protocols*. R.F. Follett, editor. p. 3-1 to 3-39.

**Parkin, TB and Venterea, RT. 2010.** Sampling Protocols. Chapter 3. Chamber-based Trace Gas Flux Measurements. *Sampling Protocols*.

**Perulactea, 2018.** “Junín entre los Primeros Productores de Leche en el Perú”. *Infolactea.com* integramos al sector lácteo Peruano. Agosto 08, 2018. En <http://infolactea.com/peru/junin-entre-los-primeros-productores-de-leche-en-el-peru/>

**Rochette, P and Bertrand, N, 2003.** Soil air sample storage and handling using polypropylene syringes and glass vials', Canadian Journal of Soil Science vol. 83 pp. 631 – 637.

**Roelandt C., B. Van Wesemael and M. Rounsevell. 2005.** Estimating annual N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils in temperate climates. *Global Change Biology* 11, 1701–1711. doi: 10.1111/j.1365-2486.2005.01025.x

**Rochette, P, and Bertrand, N, 2008,** 'Soil-surface gas emissions'. In: Soil sampling and methods of analysis, 2nd edition, MR Carter and EG Gregorich, (eds.), CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 851 – 861.

**Rochette, P. and Eriksen-Hamel, N.S. 2008,** 'Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: Are absolute values reliable?' *Soil Science Society of America Journal*, vol. 72, pp. 331–342.

**Rochette, P, 2011,** 'Towards a standard non-steady-state chamber methodology for measuring soil N<sub>2</sub>O emissions.' *Animal Feed Science and Technology*, vol. 166-167, pp.141-146.

**Saggar, S., Andrew, R.M., Tate, K.R., Hedley, C.B., Rodda, N.J., Townsend, J.A., 2004.** Modelling nitrous oxide emissions from New Zealand dairy grazed pastures. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 68: 243–255.

**Saggar, N. Jha, J. Deslippe, N.S. Bolan, J. Luo, D.L. Giltrap, D.-G. Kim, M. Zaman, R.W.2013.** Tillman Denitrification and N<sub>2</sub>O: N<sub>2</sub> production in temperate grasslands: processes, measurements, modelling and mitigating negative impacts *Science of the Total Environment*, 465 (2013), pp. 173-195.

**Schils, R.L.Mv., Eriksen, J., Ledgard, S.F., Vellinga, T.V., Kuikman, P.J., Luo, J., Petersen, S.O. & Velthof, G.L. 2013.** Strategies to mitigate nitrous oxide emissions from herbivore production systems. *Animal*, 7, 29–40.



**Schmidt-Nielsen, B., osaki, H., Murdaugh, H.V. y Roberta, O. 1958.** Urea excretion in mammals. American Physiological society. Volumen 194 Edición 2. Páginas 221-228. <https://doi.org/10.1152/ajplegacy.1958.194.2.221>.

**Silva, R.M., Valadares, R.F., Valadares, S.C. 2001.** Filho -Uréia para vacas em lactação. 2. Estimativas do volume urinário, da produção microbiana e da excreção de uréia. Revista Brasileira de Zootecnia, 30 (2001), pp. 1948 – 1957.

**Skiba, U.M., McTaggart, I.P., Smith, K.A., Hargreaves, K.J. and Fowler, D., 1996.** Estimates of nitrous oxide emissions from soil in the UK. Energy Conversion and Management. Volume 37. Issues 6–8. Pages 1303-1308. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(95\)00337-1](https://doi.org/10.1016/0196-8904(95)00337-1)

**Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Otros. 2007.** Climate change 2007: The physical science basis. Cambridge y New York: Cambridge University Press - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (en línea).chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. pg. 212- 234. Consultado en 18 de nov. 2018. Disponible en <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>

**Sordi A, Dieckow J, Bayer C, Albuquerque MA, Piva JT, Zanatta JA. 2014.** Nitrous oxide emission factors for urine and dung patches in a subtropical Brazilian pastureland. Agriculture, Ecosystems and Environment. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.004>

**Syakila, A., & Kroeze, C. 2011.** The global nitrous oxide budget revisited. Greenhouse Gas Measurement and Management, 1(1), 17–26. <http://doi.org/10.3763/ghgmm.2010.0007>

**Subbarao GV, Ito O, Sahrawat KL, Berry WL, Nakahara K, Ishikawa T, Watanabe T, Suenaga K, Rondón M, Rao IM. 2006.** Scope and Strategies for Regulation of Nitrification in Agricultural Systems—Challenges and Opportunities, Critical Reviews in Plant Sciences, 25:4, 303-335. DOI: 10.1080/07352680600794232

**Tácuna, R.E., 2016.** Influencia de la Revegetación con especies Nativas y la Incorporación de Materia Orgánica en la Recuperación de Pastizales Degradados. Tesis de maestría Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.

**Teague K. A. y Gallicchio N. 2017.** “Climate Change” Primera publicación: 12 de mayo de 2017.[doi.org/10.1002/9781119136170.ch11](https://doi.org/10.1002/9781119136170.ch11)

**Thomson, a. J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E. M., & Richardson, D. J. 2012.** Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 367(1593),1157–1168. <http://doi.org/10.1098/rstb.2011.0415>

**Rochette, P., (2011).** Towards a standard non-steady-state chamber methodology for measuring soil N<sub>2</sub>O emissions. *Animal Feed Science and Technology* 166e167, 141- 146.

**Uchida,y., Clough, T.J., 2015 .** Nitrous oxide emissions from pastures during wet and cold seasons. *Grassland Science* 61, 61-74.

**Uchida, y., Clough, T.J., 2015.** Nitrous oxide emissions from pastures during wet and cold seasons. *Grassland Science* 61, 61-74. Fuente original: **Weier KL, Doran JW, Power JF, Walters DT.1993.** Denitrification and the dinitrogen/nitrous oxide ratio as affected by soil water, available carbon, and nitrate. *Soil Sci Soc Am J* 57: 66–72.

**Vallejo, MM, Bonilla CR, Castilla LA. 2007.** Evaluación de la asociación bacterias fijadoras de nitrógeno–líneas interespecíficas de arroz–nitrógeno, en Typic haplustalf. Ibagué. Colombia. Pg. 8.

**Vitousek P. M., Aber J. D., Howarth R. W., Likens G. E., Matson P. A., Schindler D. W., Schlesinger W.H., Tilman D. G. 1997.** “Alteración Humana del Ciclo Global del Nitrógeno: Fuentes y Consecuencias”. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0737:HAOTGN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0737:HAOTGN]2.0.CO;2)

**Vivanco H. W. 2007.** “Situacion y Proyeccion de la Ganaderia Peruana” Mejoramiento Genético y Reproducción Animal Pg.4- 24. En <http://infolactea.com/wp-content/uploads/2016/04/se59.pdf>

**Vistoso E, Alfaro M, Saggar S, Salazar F. 2012.** Effect of Nitrogen Inhibitors on Nitrous Oxide Emissions and Pasture Growth After an Autumn Application in Volcanic Soil.

CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH 72(1). Consultado 02 de dic. 2018. Disponible <https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/45962/1/cj12021.pdf>

**Wachendorf, C., Lampe, C., Taube, F., Dittert, K., 2008.** Nitrous oxide emissions and dynamics of soil nitrogen under <sup>15</sup>N-labelled cow urine and dung patches on a sandy grassland soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 171, 171–180.

**Whitehead, D.C. 1995.** Grassland Nitrogen. CAB International, Wallingford, Reino Unido, pp. 108 – 128.

**Yalli, T. B. 2017.** Efecto del pastoreo con llamas y vacunos en la función hídrica del pastizal. Tesis de maestría Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.

**Zaman, M., Nguyen, M.L., Matheson, F., Blennerhassett, J.D., Quin, B.F., 2007.** Can soil amendments (zeolite or lime) shift the balance between nitrous oxide and dinitrogen emissions from pasture and wetland soils receiving urine or urea-N?. *Australian Journal of Soil Research*, 2007, 45, 543–553.

**Zhang, M., Fan, C.H., Li, Q.L., Li, B., Zhu, Y.Y. and Xiong, Z.Q. 2015.** A 2-yr field assessment of the effects of chemical and biological nitrification inhibitors on nitrous oxide emissions and nitrogen use efficiency in an intensively managed vegetable cropping system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 201 (2015) 43–50.

## VIII. ANEXOS

Anexo 1: Prueba de vacío de viales



Anexo 2: Cromatografía de gases



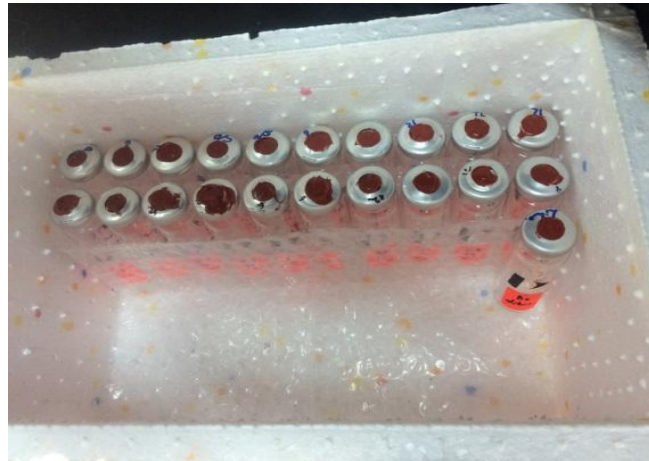
Anexo 3: Adición de Orina las cámaras de medición



Anexo 4: Vaciado de viales



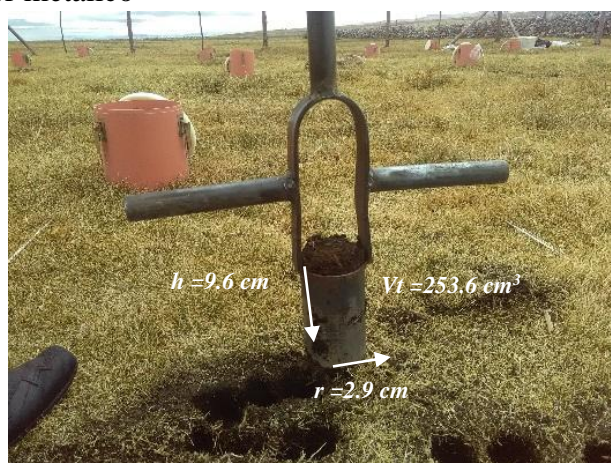
Anexo 5: Almacenamiento y transporte en cajas de tecnopor



Anexo 6: Muestras de suelo en la estufa, para determinar el % de Humedad



### Anexo 7: Muestreador metálico



### Anexo 8: Flujo linear N-N<sub>2</sub>O mg/m<sup>2</sup>/h - Época seca (sin extrapolar)

Flujo de N-N <sub>2</sub> O mg/m <sup>2</sup> /h - Época seca (sin interpolar)										
Cámara tratamiento	día 1	día 3	día 5	día 7	día 9	día 11	día 13	día 20	día 27	día 34
con orina	8.530	1.036	0.599	0.262	0.112	0.230	0.189	0.031	0.167	0.279
con orina	0.348	0.779	0.062	0.006	0.020	0.242	0.091	0.042	0.160	0.165
con orina	13.891	1.065	0.510	0.036	0.170	-0.023	0.102	0.083	0.219	0.110
con orina	8.036	0.948	0.627	0.241	0.261	0.111	0.082	0.106	0.200	0.210
con orina	6.249	0.606	0.554	0.186	0.146	0.169	0.119	0.077	0.141	0.185
con orina	5.444	0.614	0.400	0.155	0.171	0.174	0.196	0.099	0.433	0.636
sin orina	0.029	-0.098	-0.047	0.003	0.006	0.005	0.007	0.008	0.015	0.022
sin orina	0.684	0.396	0.149	0.155	0.161	0.171	0.140	0.073	0.191	0.171
sin orina	0.424	0.447	0.278	-1.654	0.121	0.123	0.117	0.053	0.122	0.135
sin orina	0.163	0.225	0.220	0.117	0.076	0.229	0.084	0.045	0.040	0.154
sin orina	0.446	0.318	0.273	0.197	0.189	0.140	0.066	0.071	0.160	0.211
sin orina	0.541	0.368	0.298	0.160	0.161	0.183	0.100	0.071	0.170	0.204
PROMEDIO CON ORINA	7.083	0.841	0.459	0.148	0.147	0.151	0.130	0.073	0.220	0.264
PROMEDIO SIN ORINA	0.381	0.276	0.195	-0.170	0.119	0.114	0.085	0.053	0.116	0.149



Anexo 10: Cálculos de conversión de las emisiones de N<sub>2</sub>O-N en emisiones de N<sub>2</sub>O en la parcela de pastura en evaluación de la cooperativa agraria San Francisco de Chichausri Junin.

La conversión se realiza mediante la siguiente ecuación según las Orientación del IPCC sobre las Buenas Prácticas y la gestión de la incertidumbre (OBP) IPCC (2000):

Formula

$$N_2O = N - N_2O \cdot 44/28$$

Donde:

N<sub>2</sub>O = Óxido Nitroso

N- N<sub>2</sub>O=Nitrógeno de Óxido nitroso

44/28 = factor de conversión (peso molecular de N<sub>2</sub>O/N<sub>2</sub>)

Equivalencias

1Gg =1000000 Kg

1 Kg= 1000000 mg

1 Gg=1000000000000 mg

UA= Unidad Vacuno de leche de 450 Kg peso vivo

a. calculo y proyeccion de emisiones - Tratamiento Con Orina

- Calculo de conversion de N-N<sub>2</sub>O a N<sub>2</sub>O en la parcela experimental - tratamiento Con Orina

$$N_2O = N - N_2O \cdot 44/28$$

$$N_2O = 427.34 \text{ mg N-N}_2\text{O m}^2 \cdot 1.5714 \dots\dots\dots 1 \text{ UV (34 días)}$$

$$= 671.52 \text{ mg/m}^2 \dots\dots\dots 1 \text{ UV (34 días)}$$

$$= 0.00067 \text{ kg/m}^2 \leftrightarrow 6.71 \text{ kg/ha} \dots\dots\dots 1 \text{ UV (34 días)}$$



$$N_2O = 6.71534E-06 \text{ Gg} \dots 1 \text{ UV (34 días)}$$

- Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos procedentes del pastoreo de ganado vacuno de leche en pastura cultivada (CON ORINA)

Procedencia	Poblacion de vacuno de Leche (UV)	factor de conversion de N-N <sub>2</sub> O a N <sub>2</sub> O	N-N <sub>2</sub> O mg/m <sup>2</sup> /34 días	N <sub>2</sub> O Kg/ha /34días
Parcela de experimentacion Cooperativa agraria San Francisco de Chichausiri Junin	1	1.57	427.34	<b>6.71</b>

b. Calculo y proyeccion de emisiones - Tratamiento Sin Orina

- Calculo de conversion de N-N<sub>2</sub>O a N<sub>2</sub>O en la parcela experimental - tratamiento Sin Orina

$$N_2O = N - N_2O \cdot 44/28$$

$$N_2O = 92.78 \text{ mg N-N}_2\text{O} * 1.5714 \dots \dots \dots 1 \text{ UV (34 días)}$$

$$= 145.79 \text{ mg/m}^2$$

$$= 0.0001457 \text{ kg/m}^2 \leftrightarrow 1.46 \text{ kg/ha} \dots \dots \dots 1 \text{ UV (34 días)}$$

$$N_2O = 1.46 \text{ E-06 Gg} \dots \dots \dots 1 \text{ UV m}^2 \text{ (34 días)}$$

- Calculos de proyeccion de emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos procedentes del pastoreo de ganado vacuno de leche en pastura cultivada (SIN ORINA).

Procedencia	Poblacion de vacuno de Leche (UV)	factor de conversion de N-N <sub>2</sub> O a N <sub>2</sub> O	N-N <sub>2</sub> O mg/m <sup>2</sup> /34 días	N <sub>2</sub> O Kg/ha /34 días
Parcela de experimentacion Cooperativa agraria San Francisco de Chichausiri Junin	1	1.57	92.78	<b>1.46</b>

### Anexo 11: Distribucion de las camaras en la parcela



### Anexo 12: Parámetros adicionales (Caracterización del suelo)

PH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO <sub>3</sub>	MO	P	K	Análisis Mecánico			CLASE TEXTU RAL	C/C	Cationes Cambiables					Suma de cationes	Suma de bases	% Sat. De Base s
		%	%	ppm	ppm	Arena	Limo	arcilla			Ca+2	Mg+2	k +	Na+	Al+3 H+			
						%	%	%			meq/100 g							
7.54	0.19	20.5	4.14	82.8	388	45	42	13	Fr.	21.92	18.81	1.87	1.12	0.12	0	21.92	21.92	100

Anexo 13: Resultados de concentraciones de nitrato y amonio del laboratorio de suelos UNALM

<b>ANALISIS ESPECIAL EN SUELO EPOCA DE SECA</b>			
SOLICITANTE :		IICA	
PROCEDENCIA :		JUNIN	
REFERENCIA :		H.R. 60403	
FECHA :		15/09/2017	
<b>N°</b>	<b>Número Muestra</b>	<b>Nitrato ppm</b>	<b>Amonio ppm</b>
1	D1,M1	6.46	72
2	D1,M2	122.86	230.4
3	D1,M3	148.57	234
4	D1,M4	4.74	90
5	D1,M5	3.09	79.2
6	D1,M6	9.6	115.2
7	D1,M7	9.8	64.8
8	D1,M8	1.94	57.6
9	D2,M1	6.51	54
10	D2,M2	16.11	46.8
11	D2,M3	91.43	108
12	D2,M4	6.49	75.6
13	D2,M5	8.8	72
14	D2,M6	7.43	108
15	D2,M7	6.17	72
16	D2,M8	7.89	61.2
17	D3,M1	4.34	54
18	D3,M2	123.43	54
19	D3,M3	96.57	57.6
20	D3,M4	13.14	54
21	D3,M5	93.71	54
22	D3,M6	12.74	43.2
23	D3,M7	4.11	54
24	D3,M8	4.06	36
25	D4,M1	6.86	50.4
26	D4,M2	234.29	43.2
27	D4,M3	149.71	100.8
28	D4,M4	15.26	54
29	D4,M5	13.6	36
30	D4,M6	12.97	72
31	D4,M7	7.03	54
32	D4,M8	3.54	64.8
33	D5,M1	18.34	50.4
34	D5,M2	234.29	54
35	D5,M3	174.86	108
36	D5,M4	8.51	54
37	D5,M5	15.49	54
38	D5,M6	8.06	57.6
39	D5,M7	7.26	50.4
40	D5,M8	6.46	50.4

41	D6,M1	8.34	72
42	D6,M2	8.29	72
43	D6,M3	18.91	54
44	D6,M4	12.63	54
45	D6,M5	93.14	64.8
46	D6,M6	8	61.2
47	D6,M7	6.86	54
48	D6,M8	5.97	54
49	D7,M1	3.78	68.4
50	D7,M2	6.4	72
51	D7,M3	3.26	64.8
52	D7,M4	3.54	54
53	D7,M5	4.06	54
54	D7,M6	2	72
55	D7,M7	3.09	72
56	D7,M8	2	72
57	D8,M1	2.4	100.8
58	D8,M2	2.74	72
59	D8,M3	6.15	104.4
60	D8,M4	11.11	72
61	D8,M5	2.28	90
62	D8,M6	2.67	72
63	D8,M7	2.56	90
64	D8,M8	3.11	54
65	D9,M1	3.5	72
66	D9,M2	5.97	72
67	D9,M3	3.61	72
68	D9,M4	6.67	90
69	D9,M5	8.78	64.8
70	D9,M6	5	64.8
71	D9,M7	1.78	54
72	D9,M8	3.03	86
73	D10,M1	10.06	68.4
74	D10,M2	28.89	72
75	D10,M3	11.28	72
76	D10,M4	24.45	59.4
77	D10,M5	22.78	57.6
78	D10,M6	8.06	64.8
79	D10,M7	4.61	72
80	D10,M8	4.59	72

Anexo 14: Parámetros físico químicos que mayor influyen en la emisión N-N<sub>2</sub>O

Dia de medición	NO <sub>3</sub> pmm		NH <sub>4</sub> ppm		Densidad g/cm <sup>3</sup>		Temperatura suelo °C		EPLLA %		N-N <sub>2</sub> O (mg/m <sup>2</sup> /h)		% Humedad	
	CON ORINA	SIN ORINA	CON ORINA	SIN ORINA	CON ORINA	SIN ORINA	CON ORINA	SIN ORINA	CON ORINA	SIN ORINA	CON ORINA	SIN ORINA	CON ORINA	SIN ORINA
1	73.72	5.78	168.00	67.80	0.65	0.68	14.20	14.20	15.31	19.05	7.08	0.38	20.42	20.42
3	37.11	6.85	91.80	66.00	0.71	0.88	12.14	12.14	16.03	15.78	0.84	0.28	17.48	17.48
5	72.63	5.64	51.60	48.00	0.70	0.80	12.10	12.10	26.22	20.38	0.46	0.20	22.46	22.46
7	95.54	7.21	70.80	57.00	0.74	0.75	5.20	5.20	24.20	18.98	0.15	-0.17	21.41	21.41
9	102.6	9.05	73.20	51.00	0.72	0.69	10.05	10.05	18.68	23.97	0.15	0.12	22.42	22.42
11	25.88	7.77	61.20	57.00	0.82	0.74	13.80	13.80	22.61	13.74	0.15	0.12	18.92	18.92
13	3.50	2.92	66.60	68.40	0.89	0.91	11.05	11.05	23.17	21.38	0.13	0.09	18.58	18.58
20	3.78	4.14	85.80	76.80	1.00	0.94	8.75	8.75	23.08	21.42	0.07	0.05	16.82	16.82
27	5.33	3.30	68.40	73.67	0.87	0.93	11.85	11.85	30.13	25.90	0.22	0.12	20.95	20.95
34	15.06	8.82	67.20	69.30	0.80	0.87	11.10	11.10	44.67	45.35	0.26	0.15	30.52	30.52

Anexo 15: Medidas de alturas internas de las cámaras, para ecuación del flujo lineal de óxido nitroso (donde  $h = \text{Volumen} / \text{Área}$ )

N° Cámara	h1 cm	h2 cm	h3 cm	h4 cm	Promedio cm	Promedio m
1	30.5	31	29	31	30.38	0.3038
2	29	30	30	29	29.50	0.2950
3	31	31.5	31	30	30.88	0.3088
4	29.5	30	30	29.5	29.75	0.2975
5	31	30	31	31	30.75	0.3075
6	28.5	29	28.5	28.5	28.63	0.2863
7	31	30	29.5	30	30.13	0.3013
8	30.5	29.2	29.5	30	29.80	0.2980
9	31	31.5	32	32	31.63	0.3163
10	29	31	30	29	29.75	0.2975
11	30	29	30	29	29.50	0.2950
12	30	30	31.5	32	30.88	0.3088
13	29	30	29	29.5	29.38	0.2938
14	29	27.5	28	28.5	28.25	0.2825
15	29	28.5	29	29.5	29.00	0.2900
16	28.5	29	28.5	28.5	28.63	0.2863

Anexo 16: Corrida del SAS en flujos acumulados de N-N<sub>2</sub>O (con y sin orina)

```

PROGRAMAS SAS
DATA DCA;
OPTIONS NODATE NOCENTER NONUMBER;
TITLE "ANALISIS N-N2O";
INPUT TRAT$ NN2ODIA1;
CARDS;
CONORINA 494.91
CONORINA 125.37
CONORINA 656.89
CONORINA 474.82
CONORINA 440.31
CONORINA 371.72
SINORINA 1.36
SINORINA 150.09
SINORINA 37.45
SINORINA 85.65
SINORINA 135.80
SINORINA 146.34
;
PROC PRINT;
PROC UNIVARIATE NORMAL;
PROC ANOVA;
CLASS TRAT;
MODEL NN2ODIA1 = TRAT;
MEANS TRAT/DUNCAN TUKEY;
RUN;

```

Anexo 17: Resultados del DCA - flujos acumulados de N-N<sub>2</sub>O y N<sub>2</sub>O

	CON ORINA	SIN ORINA	P. VALOR	C. V	R <sup>2</sup>
<b>N-N<sub>2</sub>O mg/m<sup>2</sup>/día</b>	427.34 + 175.476 A	92.78 + 62.407 B	0.0013	50.66	0.66