

EMISIÓN DE N₂O, CO₂ Y NH₃ A PARTIR DE ESTIÉRCOL DE BOVINOS CON DIFERENTE PORCENTAJE DE PROTEÍNA CRUDA EN LA DIETA

N₂O, CO₂ and NH₃ emission from dung of bovine with different percentage of crude protein in diet

Nadia HERNÁNDEZ-TAPIA¹, Josafhat SALINAS-RUIZ¹, Vinisa SAYNES-SANTILLÁN², Julio M. AYALA-RODRÍGUEZ¹, Francisco HERNÁNDEZ-ROSAS¹ y Joel VELASCO-VELASCO^{1*}

¹ Colegio de Postgraduados Campus Córdoba, km 348 carretera federal Córdoba-Boca del Río, Rancho Trejo, 94500, Córdoba, Veracruz, México

² Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, 56230 Texcoco, Estado de México, México

*Autor de correspondencia: joel42ts@colpos.mx

(Recibido octubre 2017; aceptado septiembre 2018)

Palabras clave: ganadería, manejo, contaminación, gases

RESUMEN

Se cuantificó la emisión de óxido nitroso (N₂O), dióxido de carbono (CO₂) y amoníaco (NH₃) en excretas de bovinos de raza criollo lechero tropical (CLT) alimentados con diferentes porcentajes de proteína cruda (PC), mediante el uso de cámaras estáticas. El muestreo de gases se realizó a diferentes horas del día (7:00, 10:00, 13:00, 16:00 y 19:00 hora local -HL-). El modelo estadístico usado fue un análisis de covarianza en un diseño de bloques completos al azar con medidas repetidas. La emisión de gases se analizó mediante el procedimiento Glimmix del Statistical Analysis System (SAS) v. 9.2, con una estructura de covarianza de simetría compuesta. El modelo que mejor explica el flujo de N₂O-N y la emisión de CO₂ y NH₃ es aquel que incluyó como covariable la temperatura mínima ambiental y el pH, respectivamente. El tratamiento con 12 % de PC obtuvo el mayor flujo de N₂O-N y la menor emisión de CO₂. El tratamiento con 14 % de PC tuvo la emisión más baja de N₂O y los tratamientos con 14 y 16 % de PC reflejan mayores flujos de emisión de CO₂. Las horas del día en que hubo mayor emisión de NH₃ fueron las 10:00 y 13:00 HL, que a su vez fueron las horas en que se emitió menor cantidad de CO₂ y N₂O. Por último, a medida que aumenta el porcentaje de PC en los diferentes tratamientos, hay un incremento en la ganancia en peso del animal, siendo el tratamiento con 16 % de PC, alimento comercial, la dieta que produjo mayor aumento en kilogramos.

Key words: livestock, management, pollution, gases

ABSTRACT

The emission of nitrous oxide (N₂O), carbon dioxide (CO₂) and ammonia (NH₃) in tropical dairy cattle (CLT) excreta, fed with different percentages of crude protein (CP), was quantified using static cameras. Sampling was performed at different times of day (7:00, 10:00, 13:00, 16:00, and 19:00 local time -LT-). The statistical model employed was a covariance analysis in a randomized complete block design with

repeated measures. The variables were analyzed using the Glimmix procedure of the Statistical Analysis System (SAS) v. 9.2 with a covariance structure of compound symmetry. The best model that explains the flow of N₂O-N and the emission of CO₂ and NH₃ is that which included the minimum ambient temperature and the pH as covariates, respectively. Treatment with 12 % of CP obtained the highest N₂O-N flow and the lowest CO₂ emission. Treatment with 14 % CP had the lowest N₂O emission and treatments with 14 and 16 % CP reflected higher amounts of CO₂ emissions. The hours of the day when there were greater emissions of NH₃ were 10:00 and 13:00 LT, which in turn were the hours where less amount of CO₂ and N₂O was emitted. As the percentage of CP in the different treatments increases, there is also an increase in the weight gain of the animal, being the treatment with 16 % CP, commercial food, the diet that produced the highest increase in kilograms in animals.

INTRODUCCIÓN

La ganadería desempeña un papel fundamental en la producción mundial de alimentos y ha formado parte de los paisajes y ecosistemas locales por milenios (Beddington et al. 2011). El ganado se cría a lo largo y ancho del planeta por su capacidad de trabajo, su carne, su leche y su cuero, pero principalmente en aquellos lugares con condiciones climáticas favorables y con disponibilidad de agua para los cultivos forrajeros y para los mismos animales. Estados Unidos es el país donde se localiza la mayor parte de la producción de carne y leche, seguido de Brasil, China, India, Argentina y Australia en la producción de carne, e India, Rusia, Alemania y Francia en la producción lechera (Santillana-El País 2005).

La importancia de este sector consiste en la provisión a las sociedades humanas de alimentos, ingresos, empleo, nutrientes y seguros de riesgo (Herrero et al. 2009). De acuerdo con la FAO (2006), la actividad ganadera representa el 40 % del producto interno bruto (PIB) agrícola y el 1.4 % del PIB mundial (2005), generando empleo para 1300 millones de personas y medios de subsistencia para 1000 millones de pobres en todo el mundo. En 2016, la producción mundial de carne alcanzó los 60.5 billones de kg de carne en canal, de los cuales 1.88 billones de kg se registraron en México y específicamente el 13.4 % se produjo en el estado de Veracruz (FIRA 2017).

La demanda mundial de carne ha experimentado un rápido aumento a consecuencia del incremento de los ingresos, el crecimiento demográfico y la urbanización (Hovhannisya y Grigoryan 2016). Como resultado, se han generado diversos impactos ambientales dentro de los cuales cabe destacar el aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), los cuales inciden en el cambio climático (Chadwick et al. 2011).

El efecto invernadero es el mecanismo fundamental para la regulación de la temperatura. Sin él, la temperatura media de la superficie terrestre sería de -6 °C en vez de 15 °C. Entre los principales GEI destacan el CO₂, el CH₄ y el N₂O. Estos gases absorben parte del flujo de calor recibido por el sol y lo mantienen en la atmósfera, permitiendo alcanzar temperaturas idóneas para la vida (FAO 2006).

En los últimos años, el incremento de las concentraciones de estos gases ha generado un aumento en la temperatura media de la tierra, provocando con ello un aumento en la frecuencia de fenómenos climáticos extremos como el aumento de las precipitaciones globales, así como cambios en la intensidad o frecuencia de fenómenos atmosféricos como tormentas, inundaciones y sequías (FAO 2006).

En su quinto informe de evaluación, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC) proporciona una estimación del aumento del nivel del mar y sus causas a lo largo de las últimas décadas; asimismo, menciona que debido a la concentración actual y a las continuas emisiones de GEI, es probable que el final de este siglo presencie un aumento de 1-2 °C en la temperatura media mundial en relación con el nivel de 1990. De esta manera, los océanos se calentarán y el deshielo continuará (IPCC 2014).

La contribución del sector pecuario en su conjunto a estos procesos no es bien conocida (Koneswaran y Nierenberg 2008, Herrero et al. 2011). Prácticamente en todas las etapas del proceso de producción animal se emiten y liberan a la atmósfera CO₂, CH₄ y N₂O que contribuyen al cambio climático o a la contaminación del ambiente, lo que obstaculiza su retención en otros reservorios. A nivel global, las actividades pecuarias contribuyen con un porcentaje estimado del 18 % al total de emisiones antrópicas de GEI medidos en equivalentes de CO₂. Considerando exclusivamente el sector agrícola, la ganadería da cuenta de aproximadamente el 80 % del total de las emisiones (FAO 2006).

En el caso específico de México, en 2003 se estimó que es responsable del 1.4 % de las emisiones globales de GEI que representan aproximadamente 665 304.92 billones de kg en equivalentes de CO₂ (Gg de CO_{2e}), dentro de los cuales el sector agropecuario tuvo una participación del 12 % del total de emisiones nacionales. La fermentación entérica así como el manejo del estiércol fueron las principales fuentes de emisión dentro del sector agropecuario, con 51 208.13 y 13 735.52 Gg de CO_{2e}, respectivamente. Con relación a los gases, el CH₄ contribuyó con 68.1 %, el N₂O con 31.4 % y el CO₂ con 0.5 % de las emisiones totales del sector (INECC 2015).

El CO₂ es el gas que contribuye en mayor medida al calentamiento simplemente porque sus emisiones y concentraciones son más altas que las de otros gases contaminantes. El 9 % de las emisiones globales de origen antrópico proviene del sector ganadero cuando se toma en consideración tanto la deforestación como la conversión de uso de suelo agrícola o forestal a pastizales o su uso exclusivo para cultivos forrajeros; es decir, cuando también se contabilizan las emisiones generadas de forma indirecta por la ganadería (FAO 2006).

El N₂O está presente en la atmósfera en cantidades muy reducidas. Sin embargo, su capacidad de retención de calor es de 265 veces superior a la del CO₂ (IPCC 2014). Además de su función en el calentamiento global, el N₂O también contribuye al agotamiento de la capa de ozono, que protege la biosfera de los efectos dañinos de las radiaciones solares ultravioletas (Tian et al. 2011). De las emisiones globales de N₂O de origen antrópico se considera que un 65 % pertenecen al sector pecuario. Sin embargo, si se toman en cuenta exclusivamente las emisiones agrícolas, la ganadería es responsable de 75 a 80 % de las emisiones de N₂O (FAO 2006).

Por otro lado, el olor penetrante que algunas veces se percibe en las zonas aledañas a las unidades de producción de ganado se debe en parte a las emisiones de amoníaco (NH₃). A pesar de que no tiene una contribución directa al cambio climático, este gas genera un impacto ambiental (Sutton et al. 2009). Su volatilización figura entre las causas más importantes de las precipitaciones atmosféricas acidificantes y húmedas, y genera eutrofización en ecosistemas acuáticos (Hutchison y Viets 1969). Gran parte de las emisiones de NH₃ tienen su origen en las excretas del ganado. Del total de las emisiones de NH₃ de origen antrópico global se considera que un 64 % pertenece al sector pecuario. Sin embargo, si se consideran exclusivamente las emisiones globales agrícolas, la ganadería es responsable del 68 % (FAO 2006).

En específico, el estiércol de ganado bovino es

una fuente de emisión de CO₂, CH₄, N₂O y NH₃, debido a que contiene nitrógeno, carbono y agua, sustratos esenciales que las bacterias metanogénicas y metanotróficas, así como las bacterias nitrificantes y desnitrificantes, transforman a formas orgánicas (Ospina et al. 2014). Se calcula que el estiércol de los sistemas de producción ganadera contribuye con 30 a 50 % de las emisiones de GEI provenientes de las actividades agropecuarias a nivel global (Oenema et al. 2005).

Un método de mitigación que potencialmente influye en todas las fases de la gestión del estiércol es la optimización del contenido de N en la dieta del animal, ya que esto reduce la excreción de N por unidad de producto producido; por lo tanto, la reducción del contenido de proteína cruda (PC) en las dietas puede reducir la excreción de N (Powell et al. 2008). Además, los productores de ganado consideran que la proteína es el nutriente más caro en la ración de un rumiante con pérdidas económicas significativas cuando no es suministrado adecuadamente de acuerdo a la edad y características del animal. La importancia de esta investigación radica en la generación de información referente a la emisión de gases a partir del estiércol bovino en el trópico, y contribuye a entender la influencia del consumo de diferentes porcentajes de PC en la ganancia de peso del animal con la emisión de gases contaminantes respectivos. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar emisiones de N₂O, CO₂ y NH₃ en estiércol de ganado bovino estabulado que fue alimentado con diferentes porcentajes de proteína cruda en la dieta, y su relación con factores ambientales tales como pH, temperatura y humedad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el periodo enero-febrero de 2017 en el Colegio de Postgraduados Campus Córdoba ubicado en Amatlán de los Reyes, Veracruz. Las coordenadas son 18° 51' 33.76" N-96° 51' 32.19" O, a una altitud de 642 msnm y con un clima semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano, en un rango de precipitación media anual de 1900 a 2600 mm (INEGI 2009).

El manejo de los animales se adecuó a lo establecido en el reglamento Uso y cuidado de animales destinados a la investigación del Colegio de Postgraduados, México (CGA-COLPOS 2016). El material genético utilizado fueron cuatro machos de la raza criollo lechero tropical (CLT) de 5-6 meses de edad, distribuidos aleatoriamente en corrales individuales

de 4.8×2.1 m, cada uno con 75 % de sombra, bebedero de taza y comedero tipo cajón.

Para garantizar los porcentajes de proteína cruda requeridos para cada tratamiento se elaboraron dietas (tratamientos 1, 2 y 3) basadas en ingredientes con sus respectivas megacalorías de acuerdo con los propuestos por Juárez et al. (2009) y Mendoza y Ricalde (1993) (**Cuadro I**). El tratamiento 4 correspondió a un alimento comercial.

Cada animal recibió de forma aleatoria los cuatro tratamientos. Cada tratamiento fue suministrado durante 11 días, de los cuales los primeros siete fueron considerados de adaptación y los siguientes cuatro fueron utilizados para la medición de gases en las excretas diarias acumuladas. El experimento tuvo una duración total de 44 días.

Trabajo en campo

Para la extracción de N_2O , CO_2 y NH_3 se procedió de la siguiente manera:

1. Se utilizaron cámaras estáticas individuales de PVC con una base y tapa de diseño circular con un diámetro de 19.5 cm y una altura de 31.5 cm (**Fig. 1**). Las cámaras estaban equipadas con una válvula de ventilación y un tapón de caucho (septo) en la parte superior. Se utilizó el diseño modificado por Mosier (1989).
2. A través de estimulación anal se extrajeron las primeras excretas matutinas de cada animal,
3. Se depositaron 500 g de excretas de cada tratamiento en una cámara, ubicándolas de lado izquierdo de los corrales.
4. El primer día, en cada tratamiento se tomaron muestras de gases a intervalos de 3 h en cinco tiempos (7:00, 10:00, 13:00, 16:00 y 19:00 hora local -HL-). En los tres días restantes, las

mediciones se realizaron en dos tiempos (7:00 y 19:00 HL).

Los métodos utilizados para determinar la concentración de cada gas se describen a continuación.

Óxido nítrico

A partir de los horarios de muestreo (7:00, 10:00, 13:00, 16:00 y 19:00 HL) mencionados anteriormente, se realizó la extracción de gas a intervalos regulares (0, 10, 20 y 30 min). En cada intervalo se utilizó una jeringa de 20 mL y se introdujo a través del septo. Previamente a la extracción de gas, el aire dentro de la cámara se mezcló moviendo la jeringa tres veces, y enseguida se extrajo el gas. Posteriormente el aire extraído se depositó en viales de vidrio sellados color ámbar de 10 mL.

Se utilizó un cromatógrafo de gases marca Shimadzu® modelo GC-2014 Greenhouse Gas Analyzer, equipado con un detector de captura de electrones (ECD) que cuenta con una fuente de radiación de ^{63}Ni y funciona a una temperatura de 325°C. El equipo fue calibrado usando estándares de grado analítico de la marca Scott Specialty Gases® (Venterea et al. 2005). Las muestras de los viales de campo fueron inyectadas en el cromatógrafo utilizando una jeringa Hamilton 5 mL SYR (22/2"/2). Los flujos de N_2O fueron calculados a partir del aumento lineal o no lineal de las concentraciones dentro de la cámara a través del tiempo como lo sugieren Hutchinson y Mosier (1981).

Las concentraciones de gas se convirtieron de ppm a μg de N_2O-N por m^2 por hora (flujo) utilizando la siguiente fórmula:

$$N_2O - N \text{ flux} = \frac{\delta N_2O * M\omega * V * 60}{A * Mv_{corr}}$$

CUADRO I. INGREDIENTES PARA LA ELABORACIÓN DE DIETAS DE GANADO BOVINO, DE ACUERDO CON CADA TRATAMIENTO

Ingredientes	Trat. 1 (12 % PC)			Trat. 2 (14 % PC)			Trat. 3 (16 % PC)			Trat. 4 (16 % PC)
	% PC	Mcal	% MS	% PC	Mcal	% MS	% PC	Mcal	% MS	% PC
Pollinaza	4.8	0.42	16.8	6	0.53	21	7.2	0.63	25.2	-
Maíz	2.04	0.66	17.2	2.04	0.66	17.2	2.04	0.66	17.2	-
Sorgo	2.0	0.58	17.6	2.0	0.58	17.6	2.0	0.58	17.6	-
Caña	1.29	0.77	8.1	0.99	0.59	6.21	0.65	0.38	4.05	-
Melaza	0.18	0.14	3.75	0.18	0.14	3.75	0.18	0.14	3.75	-
Soya	1.92	0.14	3.56	2.88	0.20	5.34	4.32	0.31	8.01	-
Total	12.23	2.71	67.01	14.09	2.7	71.1	16.39	2.7	75.81	16

Trat.: tratamiento, PC: proteína cruda, Mcal: megacalorías, MS: materia seca

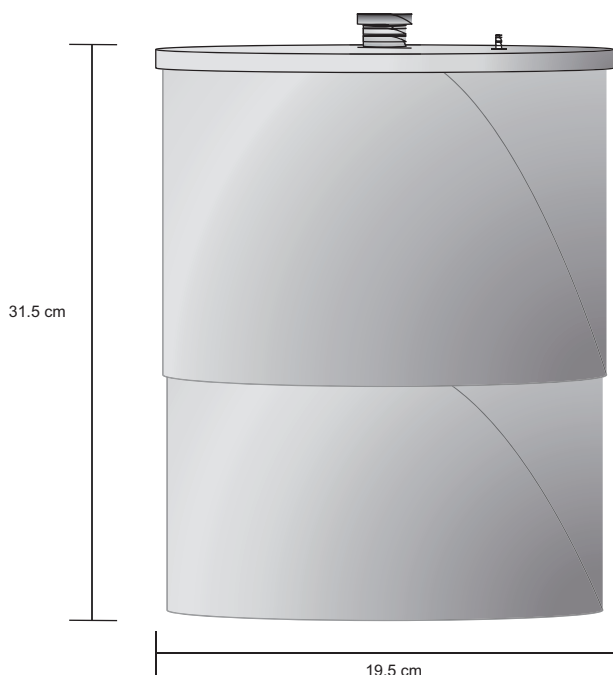


Fig. 1. Cámara estática utilizada en el experimento

donde δN_2O es la pendiente de N_2O (ppm/min), $M\omega$ es el peso molecular de N_2O ($N_2O - N = 28 \mu g/\mu mol$), V es el volumen de la cámara (m^3), A es la superficie del área medida de la cámara (m^2), 60 es el factor de conversión minutos a hora y Mv_{corr} es el volumen molar corregido: $Mv_{corr} = 22.41 * \frac{273.15+temp}{273.15} * \frac{\rho_0}{\rho_1}$, donde 22.41 es el volumen molar (L) a temperatura y presión estándar de cualquier gas, 273.15 es el factor de conversión de $^{\circ}C$ a $^{\circ}K$, temp es la temperatura de la cámara ($^{\circ}C$) cuando está cerrada, ρ_0 es la presión del aire a nivel del mar (1 atm) y ρ_1 es la presión del aire en el sitio experimental (0.92596 atm).

Dióxido de carbono

La concentración de gas se midió con un detector marca Spectrum Technologies® modelo 2655 con tecnología infrarroja no dispersiva (NDIR) que mide los niveles de CO_2 en ppm con un rango de medición de 0 a 4000 ppm, una resolución de 1 ppm y un tiempo medio de respuesta de 60 s. Se colocó el detector dentro de la cámara y se cerró. Después de 3 min se tomó una sola medición (ppm).

Amoniaco

La concentración de gas se midió a través de un sensor electroquímico miniatura de un equipo marca Dräger® modelo Xam-5000 con un rango de medición de 0 a 300 ppm, una resolución de 1 ppm

y un tiempo medio de respuesta de 10 s. Se utilizó la misma metodología empleada en CO_2 .

Temperatura, pH y humedad en estiércol

La temperatura ($^{\circ}C$) se midió a través de un termómetro bimetálico con rosca marca Tel-Tru®. El pH se determinó a partir de una muestra de 10 g homogenizada en 100 mL de agua destilada usando un potenciómetro modelo ECO Testr pH2 OAKTO®, y la humedad (%) se calculó utilizando el método gravimétrico según la NOM-021-RECNAT-2000 (SEMARNAT 2002).

Temperatura y humedad ambiental

La temperatura ambiental ($^{\circ}C$) y humedad relativa (%) se determinaron utilizando un datalogger Thermo-Hygrometer TFA Dostmann® 30.5000.02.

Modelo estadístico

En el presente estudio se realizó un análisis de covarianza en un diseño de bloques completos al azar con medidas repetidas, como se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + animal_j + tiempo_k + (\tau * tiempo)_{ik} + \beta(\chi_{ij} - \bar{\chi}) + \epsilon_{ijk}$$

donde Y_{ijk} es el flujo de N_2O-N ($\mu g/m/h$), la emisión de CO_2 o NH_3 (ppm), o el peso final después de aplicado un tratamiento (kg); μ es la media general; τ_i es el efecto fijo debido al tratamiento i ($i = 1, 2, 3, 4$); $animal_j$ es el efecto aleatorio debido al animal j ($j = 1, 2, 3, 4$) asumiendo $animal_j \sim (0, \sigma^2_{animal})$; $tiempo_k$ es el efecto fijo del tiempo k ($k = 1, 2, 3, 4, 5$) al momento de la medición; $(\tau * tiempo)_{ik}$ es el efecto de la interacción entre el τ_i con el $tiempo_k$; β es el coeficiente de regresión lineal de la covariable χ_{ij} en el tratamiento i y tiempo j donde χ_{ij} puede ser pH, humedad (HE), temperatura (TE) en el estiércol, temperatura máxima ambiental (TMaxA), temperatura mínima ambiental (TMinA), humedad máxima ambiental (HMaxA), humedad mínima ambiental (HMinA) o peso inicial (kg) al iniciar un tratamiento; $\bar{\chi}$ es la media de la covariable en cuestión; y ϵ_{ijk} es el error experimental con $\epsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$.

- Predictor lineal para N_2O-N : $\eta_{ijk} = \mu + \tau_i + animal_j + tiempo_k + (\tau * tiempo)_{ik} + \beta(\chi_{ij} - \bar{\chi})$, donde η_{ijk} es el flujo de N_2O-N ($\mu g/m^2/h$) con distribución $Y_{ijk|animal} \sim \text{Log normal}(\mu_{ijk}, (e^{\sigma^2} - 1).e^{2\mu + \sigma^2})$, y el resto de los parámetros fueron descritos anteriormente.
- Predictor lineal para CO_2 , NH_3 o el peso final después de aplicado un tratamiento: $\eta_{ijk} = \mu + \tau_i$

+ $animal_j + tiempo_k + (\tau * tiempo)_{ik} + \beta (\chi_{ij} - \bar{\chi})$
 donde η_{ijk} es la emisión de CO₂ o NH₃ (ppm) o el peso final después de aplicado un tratamiento (kg) y tiene un distribución $|Y_{ijk}|_{animal} \sim N(\mu_{ijk}, \sigma^2)$

Se utilizaron tres estadísticas de ajuste del modelo: el criterio de información de Akaike (AIC, Akaike information criteria), el criterio de información Akaike corregido (AICC, corrected Akaike's Information Criteria) y el criterio de información bayesiano de Schwarz (BIC, Schwarz's Bayesian information criteria) (Wang y Goonewardene 2004). Así como el cuadrado medio del error (CME) para determinar que covariable proporciona el mejor ajuste del modelo. Las estadísticas de ajuste son una herramienta que nos permite seleccionar el modelo que mejor explique la mayor variabilidad presente en los datos observados. Los valores de los criterios de información con menor valor indican un mejor ajuste en el modelo propuesto.

Las variables fueron analizadas utilizando el procedimiento Glimmix del Statistical Analysis System® (SAS) v. 9.2, con una estructura de covarianza de simetría compuesta (compound symmetry) (Wang y Goonewardene 2004). Los grados de libertad para las pruebas F fueron ajustados con la modificación Kenward-Rogers (Kenward y Rogers 1997).

Para el cálculo de la concentración acumulada de CO₂ y NH₃, en todos los tratamientos se obtuvo el área bajo la curva de un polinomio de sexto grado ajustado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Definición de la mejor covariable a ser incluida en el modelo

En la emisión de gases proveniente del estiércol de ganado bovino, independientemente del tratamiento aplicado, influyen diversos factores (covariables) que el investigador no puede controlar, las cuales tienen un efecto significativo en la estimación de medias y error experimental y están linealmente relacionadas con la variable respuesta. Las covariables como pH, humedad y temperatura de las excretas, así como la temperatura y humedad (máxima y mínima) del ambiente influyen en la dinámica de emisión de gases. Estas covariables fueron consideradas y analizadas en el modelo de covarianza para ajustar las medias estimadas del flujo de N₂O-N y emisión de CO₂ y NH₃.

Con base en las estadísticas de ajuste obtenidas de los modelos propuestos (**Cuadro II**), los modelos que nos permitieron explicar mejor la variabilidad del flujo de N₂O-N y la emisión de CO₂ y NH₃ fueron el

CUADRO II. ESTADÍSTICAS DE AJUSTE* DEL MODELO CON DIFERENTE COVARIABLE PARA LAS VARIABLES DE RESPUESTA N₂O, CO₂ Y NH₃

Modelo con covariable específica	Estadísticas de ajuste (N ₂ O-N)				Estadísticas de ajuste (CO ₂)				Estadísticas de ajuste (NH ₃)			
	AIC	AICC	BIC	CME	AIC	AICC	BIC	CME	AIC	AICC	BIC	CME
1. pH	422.40	433.94	407.67	1.09	2106.48	2106.67	2104.64	304552	777.92	778.11	780.05	8.88
2. Humedad (estiércol)	418.44	429.98	403.71	0.97	2145.13	2145.31	2143.29	381205	841.08	841.26	839.24	16.14
3. Temperatura (estiércol)	442.74	454.28	428.01	1.16	2145.19	2143.17	2146.17	383113	802.59	802.78	800.75	14.98
4. Temperatura máxima ambiental	450.66	462.20	435.93	1.25	2132.63	2132.82	2130.79	359476	840.65	840.84	838.81	14.92
5. Temperatura mínima ambiental	410.10	421.64	395.37	0.94	2139.32	2139.51	2137.48	370836	840.57	840.76	838.73	14.90
6. Humedad máxima ambiental	443.88	455.42	429.15	1.18	2146.32	2146.51	2144.48	387581	841.66	841.84	839.82	15.47
7. Humedad mínima ambiental	416.8	428.3	402.1	0.99	2138.1	2138.3	2136.3	362156	843.29	843.5	841.5	15.41

*Valores menores en estas estadísticas indican un mejor ajuste de los datos.

AIC: criterio de información de Akaike, AICC: criterio de información Akaike corregido, BIC: criterio de información bayesiano de Schwartz, CME: cuadrado medio del error

5 y el 1, respectivamente, debido a que estos modelos proporcionan los valores más bajos en AIC, AICC, BIC y CME. Por lo tanto, el modelo que proporciona un mejor ajuste o explica la mayor variabilidad del flujo de N₂O-N y la emisión de CO₂ y NH₃ es aquel que incluye la temperatura mínima ambiental y el pH, respectivamente.

Flujo de N₂O-N

Efectos de la dieta

Los resultados del análisis de varianza mostraron que el flujo de N₂O-N tiene diferencias altamente significativas entre tratamientos (p = 0.001) (**Cuadro III**). Las emisiones promedio de N₂O-N entre el tratamiento con 12 % de PC (3.8431 ± 0.2613) y el tratamiento con 14 % de PC (3.0714 ± 0.3119) fueron estadísticamente diferentes entre sí. El tratamiento con 12 % de PC emitió el mayor flujo de N₂O-N a pesar de ser el tratamiento con el menor porcentaje de PC. Los resultados del presente estudio son consistentes con los reportados por Philippe et al. (2007), quienes observaron en un estudio con animales de engorda estabulados que al reducir la ingesta de PC en la dieta del animal la emisión de NH₃ disminuyó, pero la emisión de N₂O se duplicó. Por otro lado, Steinfeld et al. (2006) mencionan que las emisiones por animal son más altas cuando la dieta es más pobre en proteína.

De acuerdo con Barrow y Lambourne (1962) la materia fecal usualmente contiene unos 8 g de N por kilogramo de materia seca consumida por el ganado a través del pienso. El N restante es excretado por la orina, de manera que cuando el contenido de N en la dieta se incrementa, aumenta también la proporción de N en la orina, pero no en el estiércol.

Por lo tanto, con base en lo observado en este experimento, podemos decir que a niveles del 12 % de PC, el contenido de N en su mayoría fue emitido como N₂O, mientras que para en dietas con porcentajes de PC mayores a 12 %, la emisión de N₂O puede

CUADRO III. MEDIA Y ERROR ESTÁNDAR DE FLUJO DE N₂O (μg DE N₂O-N m⁻² h⁻¹) DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Tratamiento	N ₂ O (μ) ± error estándar
1 (12 % PC)	3.8431 ± 0.2613 ^a
2 (14 % PC)	3.0714 ± 0.3119 ^b
3 (16 % PC)	3.7551 ± 0.2270 ^{ab}
4 (16 % PC, alimento comercial)	3.5981 ± 0.2277 ^{ab}

PC: proteína cruda. Los valores con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p = 0.001)

no variar en el estiércol, pero habría que poner énfasis en las emisiones provenientes de la orina.

Efectos del tiempo

Para el caso del flujo de N₂O-N en las diferentes horas de muestreo se observaron diferencias altamente significativas (p = 0.001) (**Cuadro IV**). A las 13:00 HL se obtuvo el menor flujo.

CUADRO IV. MEDIA Y ERROR ESTÁNDAR DE FLUJO DE N₂O (μg DE N₂O-N m²/h) EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE MUESTREO

Tiempos (HL)	N ₂ O (μ) ± error estándar
1 (7:00)	3.8107 ± 0.1758 ^a
2 (10:00)	3.6469 ± 0.3666 ^a
3 (13:00)	2.6239 ± 0.3096 ^b
4 (16:00)	4.0524 ± 0.3002 ^a
5 (19:00)	3.7007 ± 0.1851 ^a

HL: hora local. Los valores con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (p = 0.001)

La producción de N₂O ocurre tanto durante los procesos de nitrificación como en los de desnitrificación (De Klein y Eckard 2008, Singurindy et al. 2009), de acuerdo con Chen et al. (2008) ambos procesos están influenciados por factores climáticos como la temperatura. Por lo tanto, es razonable pensar que a las 13:00 HL, donde normalmente se alcanzan las mayores temperaturas del día, el proceso nitrificación-desnitrificación sea mayor, y de esta manera también haya una mayor emisión de N₂O; sin embargo, sucedió lo contrario. Posiblemente esto se deba a que, a estas horas del día, el nitrógeno contenido en el estiércol se emite mayormente en forma de NH₃ y no de N₂O, ya que en las emisiones obtenidas en el presente experimento, el NH₃ tiene la mayor concentración a la 13:00 HL. Hellebrand (1998) menciona que existe mayor volatilización de N₂O en ausencia de oxígeno, contrario a la emisión de NH₃, que entre más aireado esté el estiércol mayor volatilización tendrá, por lo que podríamos suponer que a las 13:00 HL, el factor que influyó en la emisión de gases fue la presencia de oxígeno, logrando con ello la mayor emisión de NH₃ y la menor de N₂O.

Emisión de CO₂

Efectos de la dieta

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos (**Cuadro V**). La emisión promedio de CO₂ fue

menor en el tratamiento con 12 % de PC (560.48 ± 125.14) y este promedio fue estadísticamente diferente al resto de los tratamientos.

CUADRO V. MEDIA Y ERROR ESTÁNDAR DE EMISIÓN DE CO₂ (PPM) DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS BAJO ESTUDIO

Tratamiento	CO ₂ (μ) ± error estándar
1 (12 % PC)	560.48 ± 125.14^b
2 (14 % PC)	929.59 ± 113.64^a
3 (16 % PC)	907.70 ± 96.6182^a
4 (16 % PC alimento comercial)	998.45 ± 97.6828^a

PC: proteína cruda. Los valores con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.001$)

El CO₂ emitido es un indicador útil de la dinámica y crecimiento continuo de la población de microorganismos foto y quimioautotróficos que participan en la producción y conversión de este gas a formas orgánicas. De acuerdo con Loro et al. (1997), las mayores emisiones de CO₂ son consecuencia de un mayor aporte de energía en las excretas, ya que el sustrato rico en energía estimula la actividad o respiración microbiana.

Los tratamientos con 14 y 16 % de PC reflejan un mayor aporte de compuestos a base de carbono desechados en las excretas; por lo tanto, una mayor actividad microbiana que emite mayores cantidades de CO₂. Estos resultados se relacionan directamente con el porcentaje de materia seca contenida en cada dieta (**Cuadro I**), ya que al incrementarse el porcentaje de PC necesario para los diferentes tratamientos, aumentó también el porcentaje de materia seca y de igual manera se incrementó la emisión de CO₂.

Efectos del tiempo

Para el caso de los diferentes tiempos de muestreo también se observaron diferencias altamente significativas ($p = 0.001$) (**Cuadro VI**).

De acuerdo con Ramos y Zuñiga (2008), las variaciones por unidad de tiempo en la actividad respiratoria pueden interpretarse como reflejo de la actividad metabólica de los microorganismos y permite deducir la dinámica tanto de su población como de los procesos metabólicos que en ella se desarrollan, variando en función de los factores biofísicos y climáticos. La medición del CO₂ producido es una estimación de dicha actividad y, por lo tanto, de la presencia microbiana.

CUADRO VI. MEDIA Y ERROR ESTÁNDAR DE EMISIÓN DE CO₂ (PPM) EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE MUESTREO

Tiempos (HL)	CO ₂ (μ) ± error estándar
Tiempos (HL)	912.84 ± 66.5261^{ab}
1 (7:00)	585.81 ± 145.37^b
2 (10:00)	782.61 ± 145.14^{ab}
3 (13:00)	869.78 ± 144.98^{ab}
4 (16:00)	1094.25 ± 66.6140^a

HL: hora local. Los valores con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.001$)

Se ha reportado que el cambio en el flujo de CO₂ sigue tendencias estacionales de la temperatura (Franzluebbers et al. 2002). Davidson et al. (2000) informaron una relación diurna significativa en un sitio de pastos activos (en crecimiento y utilizados por el ganado), pero no mostraron relaciones significativas flujo de temperatura-CO₂ en un bosque primario o en un sitio de pastos degradado. En el presente estudio se obtuvo una mayor actividad microbiana a través de la emisión de CO₂, a las 19:00 HL; por lo tanto, es probable que los microorganismos presentes en las cámaras se desarrollan en condiciones de temperatura de 22.1 a 23.5 °C y con una humedad relativa de 55-60 %, de acuerdo con las condiciones observadas en el experimento.

Por otro lado, Sánchez-Martin et al. (2008) mencionan que el aumento de la mineralización de la materia orgánica expresado en aumento en el CO₂, incrementa la dinámica de N y con ello la emisión de N₂O. Es decir, el aumento de la mineralización de carbono aumenta el consumo de oxígeno, lo que puede generar microsítios sin oxígeno y en consecuencia desnitrificación, que a su vez producirá N₂O (Sánchez-Martin et al. 2008, Serrano-Silva et al. 2011). En los resultados obtenidos en el experimento, a las 19:00 HL se observaron las mayores emisiones de CO₂, y de igual manera uno de los mayores flujos de N₂O-N.

Emisión de NH₃

Efectos de la dieta

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas entre tratamientos sobre los niveles promedios de emisión de NH₃.

Jürgen-Hellebrand y Kalk (2001) mencionan que el contenido de amonio, urea y otros tipos de nitrógeno orgánico de la biomasa, así como factores ambientales como la temperatura, la aireación y el valor de pH del material influyen en la volatilización del NH₃.

Sin embargo, Ryden et al. (1987) mencionan que las pérdidas de NH₃ en estiércol son insignificantes, a diferencia de la orina. Por esta razón se infiere que en este experimento no hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos, ya que el sensor con el cual se determinaron las concentraciones no detectó cambios entre un tratamiento y otro.

Efectos del tiempo

Para el caso de la emisión de NH₃ en los diferentes tiempos de muestreo se encontraron diferencias significativas ($p=0.05$) (**Cuadro VII**). Se observaron mayores emisiones a las 10:00 y 13:00 HL, cuando se registraron temperaturas entre 24.1 y 23.3 °C, así como humedad relativa de 56 a 60 %. Esto concuerda con Velasco-Velasco et al. (2011), quienes mencionan que factores ambientales como la aireación, la humedad relativa y el aumento de la temperatura generan una gran influencia en la volatilización del NH₃.

CUADRO VII. MEDIA Y ERROR ESTÁNDAR DE EMISIÓN DE NH₃ (PPM) EN LOS DIFERENTES TIEMPOS DE MUESTREO

Tiempos (HL)	NH ₃ (μ) \pm error estándar
1 (7:00)	4.8879 \pm 4.1289 ^c
2 (10:00)	10.3369 \pm 4.1894 ^a
3 (13:00)	10.4096 \pm 4.1909 ^a
4 (16:00)	7.1679 \pm 4.1929 ^b
5 (19:00)	5.5472 \pm 4.1318 ^{bc}

HL: hora local. Los valores con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.05$)

Además, como se menciona en el apartado del flujo de N-N₂O, se observó una relación negativa entre el N₂O y el NH₃, ya que al aumentar la emisión de NH₃ disminuyó la emisión de N₂O. Hellebrand (1998) menciona que mientras la emisión de amoníaco aumenta con la aireación, la generación de óxido nitroso es máxima cuando la presión parcial de oxígeno en el material disminuye a cero.

El NH₃ guarda también relación con el CO₂, ya que en los datos obtenidos durante el experimento se observó que a mayor emisión de CO₂, menores emisiones de NH₃. Esto sucedió principalmente a las 7:00 y 19:00 HL.

Ganancia en peso

Efectos de la dieta

Los resultados del análisis de varianza mostraron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p = 0.001$) (**Cuadro VIII**). Se observó una mayor

ganancia en peso (kg) con el tratamiento con 16 % de PC (alimento comercial), seguida del tratamiento con 16 % de PC, alimento a base de granos y forraje. El alimento comercial es un producto con aporte energético alto que se refleja en una ganancia de peso promedio en los animales de más de 10 kilos de diferencia con el tratamiento de 12 % de PC, dieta con la menor ganancia en peso promedio.

De acuerdo con el **Cuadro VIII**, se observó que a medida que aumenta el porcentaje de PC en los diferentes tratamientos, hay un incremento en la ganancia en peso del animal. Sin embargo, cabe señalar que si el objetivo es una producción sustentable de carne, hay que evaluar detenidamente la ganancia en peso de los animales así como los impactos ambientales que se generan, y entre éstos la emisión de gases contaminantes.

CUADRO VIII. MEDIA Y ERROR ESTÁNDAR DE GANANCIA EN PESO (KG) BAJO LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

Tratamiento	Peso final (μ) \pm error estándar
1 (12 % PC)	160.31 \pm 3.6877 ^c
2 (14 % PC)	162.97 \pm 3.6933 ^{bc}
3 (16 % PC)	163.98 \pm 3.6313 ^b
4 (16 % PC alimento comercial)	170.96 \pm 3.6276 ^a

PC: proteína cruda. Los valores con letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos ($p = 0.001$)

CONCLUSIONES

El factor más relevante para la estimación del comportamiento del flujo de N₂O fue la temperatura mínima ambiental mientras que para el CO₂ y el NH₃ fue el pH. Es importante hacer énfasis en la inclusión de estos factores al medir N₂O, CO₂ y NH₃, ya que generan un efecto significativo en la estimación.

El uso de diferentes porcentajes de PC en la dieta del animal tiene una relación directa con la emisión de N₂O y CO₂ pero no en la emisión de NH₃. El tratamiento con 12 % de PC mostró la mayor emisión de N₂O y una menor emisión de CO₂. El tratamiento con 14 % de PC tuvo la menor emisión de N₂O. Los tratamientos con 14 y 16 % de PC mostraron las mayores cantidades de emisión de CO₂.

A medida que aumentó el porcentaje de PC y el aporte de energía en los diferentes tratamientos, se observó un incremento en la ganancia de peso del animal. La mayor ganancia de peso correspondió al

tratamiento con 16 % de PC (alimento comercial), que está especialmente formulado para lograr mayores ganancias de peso en los animales. El tratamiento con 16 % de PC (alimento comercial) superó al tratamiento de 12 % de PC en más de 10 kg de peso vivo.

El menor flujo de N₂O-N fue a las 13:00 HL, mientras que para el CO₂ la menor emisión se obtuvo a las 10:00 HL y la mayor a las 19:00 HL. En el caso del NH₃ las mayores emisiones se cuantificaron a las 10:00 y 13:00 HL, cuando hubo menores emisiones de CO₂ y de N₂O, respectivamente.

REFERENCIAS

- Barrow N.J. y Lambourne L.J. (1962). Partition of excreted nitrogen, sulphur, and phosphorus between the faeces and urine of sheep being fed pasture. *Aust. J. Agr. Res.* 13 (3), 461-471. DOI: 10.1071/AR9620461
- Beddington J., Asaduzzaman M., Clark M., Fernández A., Guillou M., Jahn M., Erda L., Mamo T, Van Bo N., Nobre CA, Scholes R., Sharma R. y Wakhungu J. (2011). Lograr la seguridad alimentaria ante el cambio climático. Resumen para responsables de la política de la Comisión sobre la Agricultura Sostenible y el Cambio Climático. Programa de Investigación del Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional sobre el Cambio Climático, la Agricultura y la Seguridad Alimentaria. Resumen. Copenhague, Dinamarca, 20 pp.
- CGA-COLPOS (2016). Reglamento para el uso y cuidado de animales destinados a la investigación en el Colegio de Postgraduados. Consejo General Académico del Colegio de Postgraduados. Reglamento. Montecillo, Estado de México, México, 16 pp.
- Chadwick D., Sommer S., Thorman R., Fangueriro D., Cárdenas L., Amon B. y Misselbrook T. (2011). Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166-167, 514-531. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.036
- Chen D., Li Y., Grace P. y Mosier A.R. (2008). N₂O emissions from agricultural lands: A synthesis of simulation approaches. *Plant Soil* 309 (1-2), 169-189. DOI: 10.1007/s11104-008-9634-0
- Davidson E.A, Keller M., Erickson H.E., Verchot L.V. y Veldkamp E. (2000). Testing a conceptual model of soil emissions of nitrous and nitric oxides. *Bioscience* 50 (8), 667-680. DOI: 10.1641/0006-3568(2000)050[0667:TA CMOS]2.0.CO;2
- De Klein C.A.M. y Eckard R.J. (2008). Targeted technologies for nitrous oxide abatement from animal agriculture. *Aust. J. Exp. Agric.* 48 (2), 14-20. DOI: 10.1071/EA07217
- FAO (2006). La larga sombra del ganado, problemas ambientales y opciones. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Informe. Roma, Italia, 493 pp.
- FIRA (2017). Panorama agroalimentario. Carne de bovino 2017. Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Reporte. Ciudad de México, México, 27 pp.
- Franzluebbers K., Franzluebbers A.J. y Jawson M.D. (2002). Environmental controls on soil and whole ecosystem respiration from a tallgrass prairie. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66 (1), 254-262. DOI: 10.2136/sssaj2002.2540
- Hellebrand H.J. (1998). Emission of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste. *J. Agr. Eng. Res.* 69 (4), 365-375. DOI: 10.1006/jaer.1997.0257
- Herrero M., Gerber P., Vellinga T., Garnett T., Leip A., Opio C., Westhoek H.J., Thornton P.K., Olesen J., Hutchings M., Montgomery H., Soussana J-F., Steinfeld H. y McAllister T.A. (2011). Livestock and greenhouse gas emissions: The importance of getting the numbers right. *J. Anim. Feed Sci. Tech.* 166-167, 779-782. DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2011.04.083
- Herrero M., Thornton P.K., Gerber P. y Reid R.S. (2009). Livestock, livelihoods and the environment: Understanding the trade-offs. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 1 (2), 111-120. DOI: 10.1016/j.cosust.2009.10.003
- Hovhannisyan S. y Grigoryan K. (2016). The main problems and features of the global and local meat production. *Annals of Agrarian Science* 14 (4), 315-318. DOI: 10.1016/j.aasci.2016.09.008
- Hutchinson G.L. y Viets F.G. (1969). Nitrogen enrichment of surface water by absorption of ammonia volatilization from cattle feedlots. *Science* 166 (3904), 514-515. DOI: 10.1126/science.166.3904.514
- Hutchinson G.L. y Mosier A.R. (1981). Improved soil cover method for field measurements of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45 (2), 311-316. DOI: 10.2136/sssaj1981.03615995004500020017x
- INECC (2015). Primer informe bienal de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Informe. Instituto Nacional de Ecología. Ciudad de México, México, 290 pp.
- INEGI (2009). Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Amatlán de los Reyes, Veracruz de Ignacio de la Llave. Prontuario. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Amatlán de los Reyes, Veracruz de Ignacio de la Llave, México, 9 pp.
- IPCC (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. Ginebra, Suiza, 157 pp.

- Juárez F., Vilaboa J. y Díaz P. (2009). La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*): una alternativa para la sustitución de maíz (*Zea Mays*) en la alimentación de bovinos de engorda [en línea]. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/cana-azucar-saccharum-officinarum-t27953.htm> 08/09/2018
- Jürgen-Hellebrand H. y Kalk W. (2001). Emission of methane, nitrous oxide and ammonia from dung windrows. *Nutri. Cycl. Agroecosyst.* 60 (1-3), 83-87. DOI: 10.2134/jeq2009.0515
- Kenward M.G. y Roger H.J. (1997). Small sample inference for fixed effects from restricted maximum likelihood. *Biometrics* 53 (3), 983-997. DOI: 10.2307/2533558
- Koneswaran G. y Nierenberg D. (2008). Global farm animal production and global warming: impacting and mitigating climate change. *J. Environ Health Perspect.* 116 (5), 578-582. DOI: 10.1289/ehp.11034
- Loro P.J., Bergstrom D. y Beauchamp E.G. (1997). Intensity and duration of denitrification following application of manure and fertilizer to soil. *J. Environ. Qual.* 26 (3), 706-713. DOI: 10.2134/jeq1997.00472425002600030016x
- Mendoza G. y Ricalde R. (1993). Manual técnico de alimentación de bovinos en clima templado. Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Ciudad de México, México, 76 pp.
- Mosier A., Kroeze C., Nevison C., Oenema O., Seitzinger S. y van Cleemput O. (1989). Closing the global N₂O Budget: Nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 52, 225-248. DOI: 10.1023/A:1009740530221
- Oenema O., Wrage N., Velthof G.L., van Groeningen J.W., Doling J. y Kuikman P.J. (2005). Trends in global nitrous oxide emissions from animal production systems. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 72 (1), 51-65. DOI: 10.1007/s10705-004-7354-2
- Ospina D., Sánchez O. y Montoya S. (2014). Estudio de características físico-químicas y grupos de microorganismos durante el proceso de compostaje con y sin adición de roca fosfórica. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Caldas, Manizales, Colombia, 87 pp.
- Philippe F.X., Laitat M., Canart B., Vandenheede M. y Nicks B. (2007). Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livest. Sci.* 111 (1-2), 144-152. DOI: 10.1016/j.livsci.2006.12.012
- Powell J.M., Broderick G.A. y Misselbrook T.H. (2008). Seasonal diet affects ammonia emissions from tie-stall dairy barns. *J. Dairy Sci.* 91 (2), 857-869. DOI: 10.3168/jds.2007-0588.
- Ramos E. y Zúñiga D. (2008). Efecto de la humedad, temperatura y pH del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. *Ecología Aplicada* 7 (1-2), 123-130.
- Ryden J.C., Whitehead D.C., Lockyer D.R., Thompson R.B., Skinner J.H. y Garwood E.A. (1987). Ammonia emission from grassland and livestock production systems in the UK. *Envir. Pollut.* 48 (3), 173-184. DOI: 10.1016/0269-7491(87)90032-7
- Sánchez-Martin L., Vallejo A., Dick J. y Skiba U.M. (2008). The influence of soluble carbon and fertilizer nitrogen on nitric oxide and nitrous oxide emissions from two contrasting agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.* 40 (1), 142-151. DOI: 10.1016/j.soilbio.2007.07.016
- Santillana-El País (2005). La enciclopedia del estudiante. Geografía general. Madrid, España, 359 pp.
- SEMARNAT (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreo y análisis. Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca. Diario Oficial de la Federación, 31 de diciembre.
- Serrano-Silva N., Luna-Guido M., Fernández-Luqueño F., Marsch R. y Densooven L. (2011). Emission of greenhouse gases from an agricultural soil amended with urea: A laboratory study. *Appl. Soil Ecol.* 47 (2), 92-97. DOI: 10.1016/j.apsoil.2010.11.012
- Singurindy O., Molodovskaya M., Richards B.K. y Steenhuis T.S. (2009). Nitrous oxide emission at low temperatures from manure-amended soils under corn (*Zean mays L.*). *Agr. Ecosyst. Environ.* 132 (1-2), 74-81. DOI: 10.1016/j.agee.2009.03.001
- Steinfeld H., Wassenaar T. y Jutzi S. (2006). Livestock production systems in developing countries: Status, drivers, trends. *Rev. Sci. Rech. Off. Int. Epiz.* 25 (2), 505-516.
- Sutton M., Reis S. y Baker S. (2009). Atmospheric ammonia. Detecting emission changes and environmental impacts. Results of an expert workshop under the convention on long-range transboundary air pollution. Springer, Escocia, Reino Unido, 464 pp.
- Tian H., Xu X., Lu C, Liu M., Ren W., Chen G., Melillo J. y Liu J. (2011). Net exchanges of CO₂, CH₄, and N₂O between China's terrestrial ecosystems and the atmosphere and their contributions to global climate warming. *J. Geophys. Res.* 116 (G02011). DOI: 10.1029/2010JG001393
- Velasco-Velasco J., Parkinson R. y Kuri V. (2011). Ammonia emissions during vermicomposting of sheep manure. *Bioresour. Technol.* 102 (23), 10959-10964. DOI: 10.1016/j.biortech.2011.09.047

Venterea R.T., Burger M. y Spokas K.A. (2005). Nitrogen oxide and methane emissions under varying tillage and fertilizer management. *J. Environ. Qual.* 34 (5), 1467-1477. DOI: 10.2134/jeq2005.0018

Wang Z. y Goonewardene L.A. (2004). The use of MIXED models in the analysis of animal experiments with repeated measures data. *Can. J. Anim. Sci.* 84 (1), 1-11. DOI: 10.4141/A03-123