

SIMULACIÓN DEL POTENCIAL DE CONTAMINACIÓN DE TRES ESCENARIOS DE CEBA BOVINA EN PASTOREO CON SUPLEMENTACIÓN¹

Pedro Guerra-Martínez²; Manuel Salvador De Gracia-Gálvez³

RESUMEN

Se simuló y estudió el potencial de contaminación ambiental en tres escenarios de ceba bovina en pastoreo con suplementación energética-proteica. La pastura fue *Brachiaria humidicola* fertilizada. Los escenarios evaluados fueron: ENE-ABR, MAY-AGO y SEP-DIC. El peso vivo inicial fue 375 kg y peso meta de >454 kg. Se formuló un concentrado (18,0% PC; 3,3 Mcal EM/kg MS). Los factores con sus niveles fueron: Costo Energético (CE:1,59; 5,0; 10,0; 15,0; 18,41% adicional a la NRC), Consumo de Concentrado (CC:2,64; 4,0; 6,0; 8,0 y 9,36 kg BF/animal/día) y Carga Animal (CA:1,16; 1,5; 2,0; 2,5 y 2,84 UA/ha). Para el arreglo de tratamientos y análisis de datos se usó el Diseño Composición Central y las variables de respuestas: producción total de excreta en base seca (EXE), producción total de metano (MET) y producción total de nitrógeno en la excreta (NIT). Se utilizó el paquete de simulación LIFE-SIM del CIP. El R² de las funciones de predicción tuvieron entre 0,561 y 0,999 y los CV entre 0,22% y 8,00%. En los tres escenarios con niveles de CE de 10,00%, CC de 9,36 kg BF/animal/día y CA de 2,0 UA/ha se obtuvieron las mayores MET (32,30 a 36,71 kg) y NIT (13,48 a 14,25 kg), pero con CE de 10%, CC de 2,64 kg/animal BF/día y CA de 2,0 UA/ha se produjo mayor EXE (274,53 a 297,39 kg BS). Además, CC influye significativamente en EXE, MET y NIT, en los tres escenarios. Se concluye que factores como CE, CC y CA tienen importancia en la contaminación ambiental por su tendencia general lineal.

Palabras clave: Ceba bovina, excreta, LIFE-SIM-BEEF, metano, nitrógeno, pastoreo.

¹Recepción: 08 de mayo de 2024. Aceptación: 30 de octubre de 2024. Contribución del Proyecto Mejoramiento Genético Aplicado en Hatos de los Sistemas Ganaderos Familiares Bovinos de Panamá. Instituto de Innovación Agropecuaria de Panamá. Dirección Nacional de Recursos Genéticos y Biodiversidad. Centro de Innovación Agropecuaria Chiriquí.

²IDIAP. Estación Experimental de Gualaca "Carlos M. Ortega". CIA Chiriquí. M.Sc. Mejoramiento Genético Animal. e-mail: pedroquerram16@gmail.com; ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6731-3624>

³Universidad de Panamá. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Ph.D. Nutrición Animal. e-mail: msdegracia@gmail.com



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

SIMULATION OF THE ENVIRONMENTAL POLLUTION POTENTIAL IN THREE BOVINE GRAZING BEEF PRODUCTION SCENERIES WITH SUPPLEMENTATION

ABSTRACT

It was simulated and studied the environmental pollution potential of three bovine grazing beef production sceneries with supplementation. Pasture was *Brachiaria humidicola* fertilized. The sceneries were: ENE-ABR, MAY-AGO and SEP-DEC. Initial live weight was 375 kg and the final weight goal was >454 kg. It was formulated as a concentrate (18.0% PC and 3.3 Mcal ME/kg DM). Factors and its levels were: Energetic Cost (CE:1.59, 5.0, 10.0, 15.0, 18.41 % additional to NRC), Concentrate Consumption (CC:2.64, 4.0, 6.0, 8.0 and 9.36 FB/animal/d) and Stocking Rate (CA:1.16, 1.5, 2.0, 2.5 and 2.84 AU/ha). Arrangement of treatments and the analysis was done by Central Composition Design. Response variables were excreting total production in dry base (EXE), methane total production (MET) and excreted nitrogen total production (NIT). A LIFE-SIM Beef simulation software from CIP was used. The R² of the prediction functions were between 0.561 to 0.999) and de CV between 0.22 to 8.0%. In the three sceneries with levels of CE of 10.0%, CC of 9.36 kg FB/animal/d and CA of 2.0 AU/ha it was obtained higher MET (32.39 to 36.71 kg DM) and NIT (13.48 to 14.25 kg), but with CE of 10%, CC od 2.64 kg FB/animal/d and CA of 2.0 AU/ha it was produced higher EXE (274.53 to 297.39 kg DM). Besides, CC significantly influences EXE, MET and NIT, in the three scenarios. In conclusion, factors like CE, CC and CA have importance in environmental pollution due to its general linear tendency.

Keywords: Beef production, excrete, grazing, LIFE-SIM-BEEF, methane, nitrogen.

INTRODUCCIÓN

Se ha estimado que, del alimento producido por el sector agropecuario, el 40% es de origen animal (Pinos-Rodríguez et al., 2012). Por otra parte, agregan que grupos ambientalistas consideran que la industria pecuaria tiene gran responsabilidad en el calentamiento global por la generación de contaminantes vertidos al suelo, agua y atmósfera. Hoy en día se atribuye el calentamiento global por el aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero (GEI). Entre los principales GEI se tiene al metano, dióxido de carbono y óxido nitroso. Al dióxido de carbono se le considera como la unidad (1) de potencial de calentamiento global, seguido por el metano con 23 veces



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

más eficaz en atrapar el calor en la atmósfera y el óxido nitroso con 296 (Howden y Reyenga, 1999; Aguilar-Zalzano y Rojas-Bourrillón, 2014; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2001).

El metano (CH_4) es un gas incoloro e inodoro y es uno de los gases de efecto invernadero más importantes que se emiten a la atmósfera debido a las actividades antropogénicas, después del dióxido de carbono o CO_2 (Cambra-López et al., 2008). De acuerdo con Pinos-Rodríguez, (2012) el CH_4 es un compuesto molecular que se encuentra en abundancia en la atmósfera, con unas propiedades radiactivas tales que le confieren una capacidad elevada de absorción de la energía infrarroja, contribuyendo así al calentamiento global. La ganadería emite CH_4 debido fundamentalmente a la fermentación entérica y en menor medida a la fermentación de las deyecciones ganaderas (Monteny et al., 2001). La producción de metano depende de la calidad de la dieta, de tal manera que se considera que al alimentar con dietas altas en energía metabolizable se considera un método eficaz para reducir las emisiones de metano entérico (Yan et al., 2010). Además, hay reportes que indican que los ácidos grasos volátiles producidos en el rumen no son una fuente directa para la metanogénesis, debido a que la conversión de CO_2 e hidrógeno es un proceso lento (Hobson y Stewart, 1997; Aguilar-Zalzano y Rojas-Bourrillon, 2014), por lo tanto, el CH_4 en rumen se produce por la liberación de CO_2 e hidrógeno, que se generan conforme se producen los ácidos grasos volátiles durante la fermentación de los carbohidratos (Hungate et al., 1970).

La ganadería es responsable de cerca del 23% de las emisiones de CH_4 globales de origen antropogénico (Khalil, 2000), debido a la digestión del alimento en el rumen, la cual produce CH_4 . Esta producción de metano entérico constituye una pérdida energética para el rumiante que representa del 2 al 12% de la energía bruta consumida (Johnson y Johnson, 1995) cuando el animal recibe alimentos de baja calidad. Por eso se ha propuesto que disminuir las emisiones de metano entérico puede ser una estrategia para el aumento de la productividad animal y disminuir el impacto ambiental (Howden y Reyenga, 1999; Aguilar-Zalzano y Rojas-Bourrillon, 2014; Vargas et al., 2012).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Entre 80% y 90% del nitrógeno consumido por el ganado bovino es excretado en las heces y orina (Rubio-Aguirre et al., 2012). Agregan que la materia fecal y la orina obtenida en los corrales de engorda y de ordeña forman un solo tipo de residuo, llamado estiércol.

Sostienen que un bovino excreta entre 5% y 6% de su peso vivo y dado su porcentaje de humedad de 80% a 85%, finalmente sería 3 kg diarios de residuo sólido por animal/día. Mantienen que una parte importante de nitrógeno del estiércol de ganado, principalmente de urea urinaria, se convierte en amonio y finalmente va a la atmósfera como amoníaco, lo cual contamina el ambiente.

El estiércol se considera como un subproducto inevitable de la producción de carne y leche bovina destinados al consumo humano. La excreción excesiva de estiércol y de los nutrientes de este es representativa de las ineficiencias que incrementan el costo de la alimentación, aumentando el impacto ambiental de las fincas y aumentan el costo relacionado con el traslado y almacenamiento de estiércol. Las concentraciones de nitrógeno (N) y fósforo (P) en el estiércol y en el suelo; así como sus tasas de remoción son criterios en que se basan las normas ambientales vigentes (Weiss y St-Pierre, 2011). Estos autores reportan que el contenido de materia seca del estiércol es de 12,5%, 59% de nitrógeno y 77% de fósforo. Además, reportaron una relación cuadrática ($Y = 11,46 + 1,534X + 0,047X^2$) entre la producción de estiércol (kg/día) y el consumo de materia seca (kg/día) en vacas lecheras en producción.

La ceba de acabado es una modalidad que permite engordar bovinos hasta alcanzar el peso de mercado en el menor tiempo, permitiendo un mayor uso de la tierra y mayor ingreso por hectárea; sin embargo, se desconoce su contribución de metano, heces y nitrógeno al ambiente bajo las condiciones del trópico húmedo de la Estación Experimental de Gualaca (EEG-CMO-IDIAP). Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo simular y estudiar la contribución de metano, estiércol y nitrógeno en la modalidad de ceba bovina de acabado derivando tres tipos de escenarios en función de sus meses del año basado en pastoreo con suplementación energética-proteica para alcanzar un peso meta de 454,45 kg a través del LIFE-SIM BEEF® del Centro Internacional de la Papa (León-Velarde et al., 2006).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización: El estudio se ubicó en la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del IDIAP, la cual está ubicada a 100 msnm, con precipitación anual de 4000 mm y temperatura media anual de 26° C. Datos climatológicos de la Empresa de Transmisión Eléctrica (ETESA, 2018) e índice de temperatura-humedad de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 1976) ajustada por la velocidad del viento (Mader et al., 2005) se detallan en el Cuadro 1. Se tomó como referencia los 23 años de registros (inicio 1 de noviembre de 1995) de la Estación Gualaca II (108-043) situada a latitud 8°31’20” de latitud y -82°18’03” de longitud.

Cuadro 1. Temperatura Ambiental (TA) promedio mensual, Humedad Relativa (HR) promedio, Velocidad del Viento (VV) promedio mensual e Índice Temperatura-Humedad Mensual ajustada por velocidad del viento (ITHaj) del ecosistema Gualaca bajo.

Mes del año	Temperatura °C	Humedad Relativa, %	Velocidad Viento, Km/h	ITHaj ⁴
Enero	26,6	71,3	5,18	69,33
Febrero	27,4	64,0	6,48	68,31
Marzo	28,0	65,2	6,09	70,11
Abril	27,9	71,9	4,32	74,40
Mayo	27,2	82,3	3,02	77,27
Junio	26,7	85,4	2,16	78,56
Julio	26,6	85,5	2,16	78,40
Agosto	26,6	85,6	2,16	78,42
Septiembre	26,4	86,2	2,16	78,16
Octubre	26,1	87,9	2,16	77,36
Noviembre	26,1	84,4	2,16	77,45
Diciembre	26,2	78,2	3,46	74,28

Fuente: ETSA (2018).

Fuente de información de ceba en pastoreo: Se tomó como referencias las experiencias y resultados de los estudios de ceba de Guerra M. et al. (2002) y de Pinzón y Montenegro (2002) bajo condiciones (bosque húmedo tropical) de la Estación Experimental de Gualaca “Carlos M. Ortega” del IDIAP.

⁴ NOAA (1976) $ITH=0.8*TA + ((HR/100)*(TA-14,3)) + 46.4$. Mader et al., (2004) $ITHaj=4,51 + ITH - (1,992*VV)$. $ITHaj < 74 < ITHaj < 79$ es alerta; $ITHaj < 79 < ITHaj < 84$ es peligro de estrés.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Grupo racial: Para este estudio se tomaron animales con la composición genética $\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{4}$ raza europea + $\frac{1}{2}$ a $\frac{1}{4}$ de la raza Brahman con peso vivo promedio que variaron de acuerdo con el escenario de ceba.

Pastura y su manejo: Para la pastura y su manejo se consideró la experiencia de Guerra et al. (2012). La pastura predominante (90,0%) era la *Brachiaria humidicola*. La rotación de las cuadras consistió en tres días de pastoreo u ocupación y 21 días de descanso. La carga animal máxima alcanzada fue de 4,5 UA/ha.⁵ La fertilización consistió en la aplicación de 60, 30 y 20 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O. El nitrógeno se fraccionó en tres aplicaciones (junio, agosto y noviembre), mientras que el fósforo y potasio se aplicaron en junio.

Características bromatológicas de la *Brachiaria humidicola*: Del trabajo de Guerra M. et al. (2002) se tomó la información sobre disponibilidad de materia seca (MS), proteína cruda (PC) y digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) y se detalló mensualmente. Los valores se presentan en el Cuadro 2. El costo de producción de un kilogramo de forraje en base fresca fue de B/.0,005.

Cuadro 2. Características bromatológicas de la *Brachiaria humidicola* por mes del año.

Mes del año	Disponibilidad kg MS/ha	Proteína Cruda, %	Digestibilidad <i>in vitro</i> MS, %
Enero	750	6,09	50,3
Febrero	630	5,80	47,5
Marzo	555	5,65	43,6
Abril	820	5,93	49,4
Mayo	1214	7,90	51,7
Junio	1685	10,85	53,5
Julio	1996	11,31	52,6
Agosto	1835	12,37	54,8
Septiembre	1765	13,97	57,4
Octubre	1326	9,51	56,8
Noviembre	1000	8,15	54,7
Diciembre	940	7,26	52,5
Promedio	1209,7	8,73	52,1

La MS promedio anual fue de 26,7%, siendo 37,6% en la época seca y 22,6% en la época lluviosa.

⁵ Una unidad animal (UA) equivale a 400 kg de peso vivo.



Suplementación energética-proteica: Para cubrir los requerimientos nutricionales diarios del animal se basó en la National Research Council (NRC, 2000). Debido a que la pastura sola no cubre los requerimientos nutricionales diarios del bovino se utilizó un concentrado energético-proteico a base de pulidura de arroz, pica de arroz, maíz molido y harina de soya. Adicional se agregaban 56,6 g de una mezcla mineral (12% P y 8% Ca) por animal/día. El costo y la composición bromatológica del concentrado y sus componentes se detallan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Composición bromatológica del concentrado y sus ingredientes y con sus proporciones.

Ingredientes	MS, %	PC, %	EM Mcal/kg MS	Concentrado (Base Fresca)	
				Proporción, (%)	B./kg
Harina de soya	90,3	56,7	3,72	22,5	0,572
Pulidura de arroz	88,3	9,8	3,03	27,5	0,220
Pica de arroz	88,8	4,5	2,99	27,4	0,176
Maíz molido	89,9	5,5	3,61	22,6	0,473
Concentrado final	89,2	18,0	3,30		0,340

MS = Materia Seca; PC = Proteína Cruda; EM Mcal/kg MS = Energía Metabolizable en Megacalorías por kilogramo de Materia Seca.

Escenarios para simular: Para simular el comportamiento productivo y económico de la ceba bovina, se consideró la modalidad de ceba de acabado en pastoreo adicionando un concentrado energético-proteico. El escenario para evaluar se describe a continuación: *Ceba de acabado:* Es la fase donde se le da énfasis en la terminación del animal para que se obtenga un alto peso al sacrificio, una excelente conformación corporal para un alto rendimiento de la canal. El peso inicial considerado fue de 375 kg. Se consideraron tres escenarios de ceba en el año: enero-abril (ENE-ABR) cuando hay una disminución abrupta de la disponibilidad y calidad del forraje y una mayor dependencia del suplemento, pero se buscan los mayores precios de venta al mercado al final de la época seca cuando hay mayor demanda de animales “gordos”; mayo-agosto (MAY-AGO) cuando aumenta la disponibilidad y calidad del forraje y reducción del uso del suplemento, pero los precios de venta al mercado se reducen por la oferta de animales “gordos” y septiembre-diciembre (SEP-DIC) cuando hay una disminución de la disponibilidad y calidad del forraje por el exceso de lluvia y mucha nubosidad con una moderada dependencia del suplemento; sin



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

embargo, los precios de venta al mercado bajan por la sobre oferta de animales de todos los sistemas bovinos de producción por la próxima llegada de la época seca.

Factores y niveles: Para este estudio se consideraron tres factores: Costo Energético⁶ o CE, Consumo del Concentrado o CC y Carga Animal o CA. Se propuso un Diseño de Composición Central (DCC) con tres factores con el propósito de detectar tendencias lineales, curvilíneas e interacciones y los niveles de cada factor se obtuvieron con este diseño (León-Velarde, 2006; Myers, 1976). Los niveles determinados para los tres factores fueron los siguientes:

- a) Costo Energético: 1,59%; 5%; 10%; 15% y 18,41% adicional al costo energético diario de acuerdo con la NRC (2000).
- b) Consumo del Concentrado: 2,64; 4,0; 6,0; 8,0 y 9,36 kg BF/día.
- c) Carga Animal: 1,16; 1,5; 2; 2,5 y 2,84 UA/ha.

Análisis de los datos: con el DCC se estableció el siguiente arreglo espacial de las combinaciones de los niveles de los factores o tratamientos (Figura 1). El modelo matemático del arreglo geométrico fue un modelo lineal-cuadrático con interacciones y fue el siguiente:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{1,2}X_1X_2 + b_{1,3}X_1X_3 + b_{2,3}X_2X_3 + b_{1,1}X_1^2 + b_{2,2}X_2^2 + b_{3,3}X_3^2 + \varepsilon_{123}$$

Donde:

\hat{Y} = es la expectativa de la variable de respuesta.

b_0 = es el intercepto.

$b_1, \dots, b_{1,2}, \dots, b_{3,3}$ = son coeficientes parciales de regresión lineales, cuadráticos y productos.

X_1 = es el Costo Energético (CE),

X_2 = es el Consumo diario del Concentrado (CC),

X_3 = es la Carga Animal (CA),

ε_{123} = es el error aleatorio.

⁶ Es el Costo Energético extra de la actividad de bovinos en pastoreo es debido al efecto combinado del gasto de energía inherente a las acciones de caminar y pastorear o cosecha de forraje (Di Marco y Aello, 2003).



El punto central (10% CE, 6,0 kg/día CC y 2,00 CA) se replicó cinco veces para aumentar los grados de libertad del error y realizar la prueba de Falta de Ajuste (Lack of Fit). Esta prueba de Falta de Ajuste permite decidir en forma objetiva que tanto del error en la predicción es debido a la falta de ajuste del modelo. En este caso se plantea la hipótesis nula (H_0) que no existe falta de ajuste, o sea, que el modelo ajusta de forma adecuada a los datos.

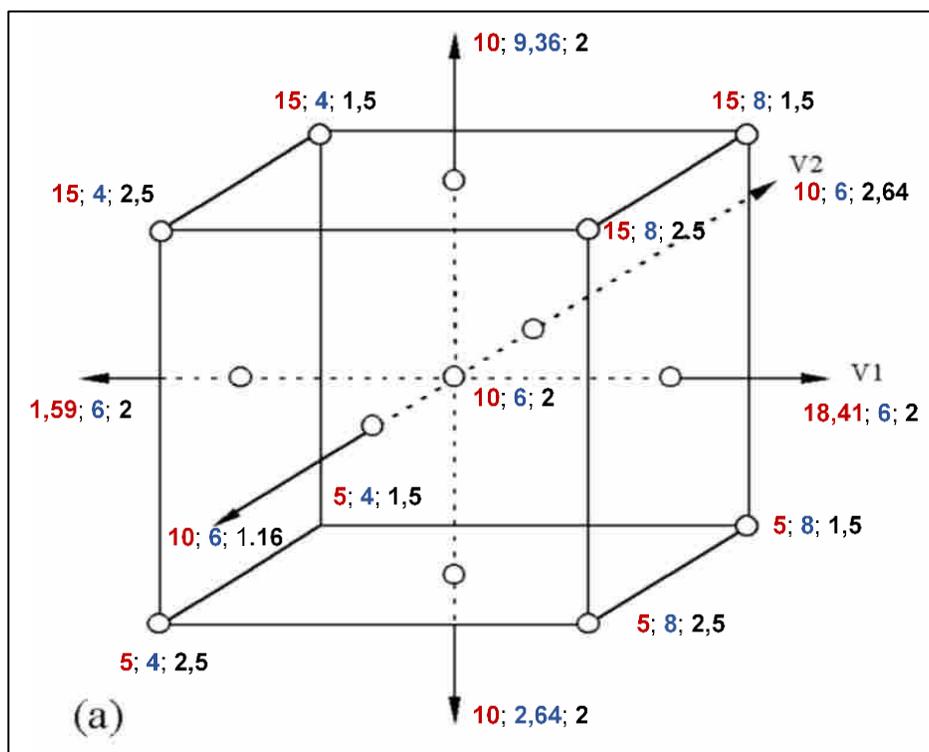


Figura 1. Arreglo espacial de las combinaciones de los niveles de los factores tratamientos de acuerdo con Myers (1976). (Rojo es CE; Azul es CC y Negro es CA).

Simulación de los resultados: Una vez definidos los tratamientos se procedió a estimar EXE, MET y NIT por simulación de los tratamientos y escenarios propuestos con el programa LIFE-SIM BEEF® del Centro Internacional de la Papa (León-Velarde et al., 2006). Una vez generados estos estimados se procedió a realizar el análisis de estos con el DCC. Los componentes del programa en donde se vierte la información a simular son los siguientes: animal, clima, pastura, suplemento, costos de alimentación y simulación.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Variables de respuestas: en esta simulación las variables de respuestas en el escenario de ceba de acabado correspondiente fueron las siguientes:

1. Producción total de excreta (EXE).
2. Producción total de metano (MET).
3. Producción de nitrógeno en la excreta (NIT).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escenario ENE-ABR: el modelo lineal-cuadrático propuesto aparenta ser no adecuado por la falta de ajuste en MET y fue significativo ($P < 0,05$) en el escenario ENE-ABR (Cuadro 4); sin embargo, el modelo aparenta ajustar bien a los datos ($P > 0,05$) en EXE y NIT.

Cuadro 4. Cuadrados medios del análisis de superficie de respuesta para EXE, MET y NIT en el escenario ENE-ABR.

FV	gl	CUADRADOS MEDIOS		
		EXE	MET	NIT
Lineal	3	1548,1695***	124,1727***	7,4989***
Cuadrático	3	5,5768	0,2592*	0,0006
Productos Cruzados	3	1,6346	0,3202**	0,0150
Total del Modelo	9	518,4603***	41,5840***	2,3942***
Falta de Ajuste	5	4,1667	0,1392**	0,0064
Error Puro	5	15,0787	0,0250	0,0086
Error Total	10	9,6227	0,0821	0,0075
CV, %		1,27	1,26	0,77
Factor:				
• CE	4	11,6026	0,2769**	0,0219*
• CC	4	1153,0017***	93,3313***	5,3678***
• CA	4	3,5927	0,1879	0,0084

* $P < 0,10$; ** $P < 0,05$; *** $P < 0,01$

En las tres características el efecto lineal fue altamente significativo ($P < 0,01$), mientras que el efecto cuadrático tuvo una tendencia a la significancia ($P < 0,10$) en MET. El efecto de los productos cruzados solamente resultó significativo ($P < 0,05$) en MET, no así en las otras características. Esto indica que en MET hay una interacción entre dos de las variables CE, CC y CA ($P < 0,05$). Además, se observa en el Cuadro 4 que en la prueba de falta de ajuste fue $P < 0,05$ en MET, a pesar de que los efectos lineales, cuadráticos e interacciones fueron $P < 0,10$, lo que indica que, aun así, hay suficiente evidencia para concluir que hay falta de ajuste en el



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

modelo lineal-cuadrático. En otras palabras, una gran parte del error en la estimación se atribuye a la falta de ajuste del modelo. Sin embargo, en EXE y NIT la prueba de falta de ajuste fue $P > 0,05$ indicando que no hay suficiente evidencia para concluir que hay una falta de ajuste en el modelo lineal-cuadrático; sin embargo, la evidencia también indica que un modelo lineal ajustaría mejor. El menor CV se reportó en NIT con 0,77% y altos R^2 y R^2 Múltiple con 0,996 y 0,992, respectivamente (Figura 2). Para EXE y MET los CV fueron bastante bajos muy similares con 1,27% y 1,26%, respectivamente, mientras que sus R^2 y R^2 Múltiple fueron considerablemente altos con 0,980 y 0,998; así como 0,960 y 0,996, respectivamente (Figura 2). El CV, R^2 y R^2 Múltiple son, también, utilizados como indicadores, adicionales, de la bondad de ajuste de los modelos polinomiales lineal-cuadráticos con interacciones de acuerdo con Draper y Smith (1981).

Los efectos individuales de CE fueron significativos ($P < 0,05$) y tendentes a la significancia ($P < 0,10$) en MET y NIT, respectivamente, pero no en EXE (Cuadro 4). Sin embargo, CC fue el efecto de mayor significancia ($P < 0,01$) en EXE, MET y NIT a diferencia de CA que no mostró efecto alguno ($P > 0,05$) en estas tres variables dependientes. Por lo tanto, en la producción y emisión de estas tres variables contaminantes del ambiente, el consumo de concentrado tiene mucha influencia.

Las funciones de predicción para EXE, MET y NIT en el escenario de ENE-ABR resultaron ser las siguientes:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{EXE} &= 316,19672^{***} - 1,13624CE^{ns} - 9,82192CC^{***} - 7,60124CA^{ns} + 0,037876CE^2^{ns} + 0,06375CCxCE^{ns} + \\ & 0,03925CC^2^{ns} - 0,15500CAxCE^{ns} - 0,23750CAxCC^{ns} + 2,25783CA^2^{ns} \\ \hat{Y}_{MET} &= 11,29860^{***} - 0,06924CE^{ns} + 1,72623CC^{***} - 1,32395CA^{ns} - 4,38x10^{-5}CE^2^{ns} - 0,02025CCxCE^{*} + \\ & 0,05639CC^2^{***} + 0,07700CAxCE^{**} + 0,20500CAxCC^{*} - 0,12519CA^2 \\ \hat{Y}_{NIT} &= 8,34627^{***} - 0,02981CE^{ns} + 0,56385CC^{***} - 0,43523CA^{ns} - 4,18x10^{-5}CE^2^{ns} - 0,00425CCxCE^{ns} + \\ & 0,00128C^2^{ns} + 0,01700CAxCE^{ns} + 0,04500CAxCC^{ns} + 0,00637CA^2^{ns} \end{aligned}$$

La gráfica entre los valores PREDICT (predichos) y los valores estimados por LIFE-SIM-BEEF para EXE muestran un punto “*outlier*” o fuera de los límites de confianza inferior



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

(Figura 2). Para MET hay un dato “outlier” y otro moderadamente disperso, pero están en la línea del límite inferior de los límites de confianza. Similar distribución se observa en NIT.

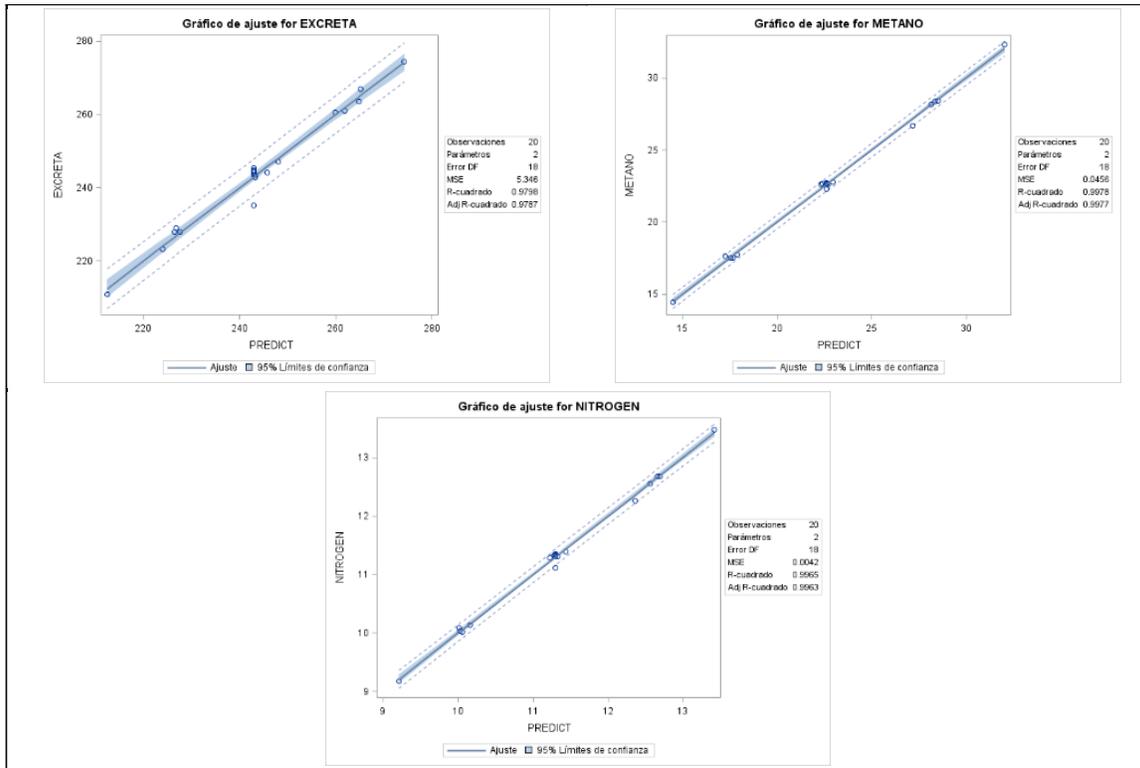


Figura 2. Ajuste del modelo para EXE, MET y NIT en el escenario ENE-ABR.

En el escenario ENE-ABR, disminuir el CC tuvo mayor efecto en disminuir la EXE y muy ligero efecto al aumentar CE con CA constante (Gráfica a) (Figura 3). Además, también se observó que al disminuir CE y aumentar CA, hay un cambio ligeramente curvilíneo en EXE (Gráfica b) cuando CC es constante, pero disminuir el CC aumentó la producción de EXE y muy ligeramente por efecto de aumentar la CA, cuando CE fue constante (Gráfica c). Por otra parte, aumentar CC aumentó la producción de MET y muy ligero efecto al disminuir el CE con CA constante (Gráfica d). Disminuir el CE y a CA tiene a disminuir marcadamente la producción de MET (Gráfica e) con CC constante. Disminuir el CC tiene mayor efecto en bajar la producción de MET que disminuir la CA a CE constante (Gráfica f). Tendencias de MET son muy similares a las tendencias de NIT. Aumentar CC incrementa los niveles de NIT y más marcadamente a niveles altos de CE, manteniendo



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

CA constante (Gráfica g). Cuando CE es alto y CA es baja se obtienen mayores producciones de NIT, con CC constante, pero disminuye a medida que disminuye CA (Gráfica h). Disminuir CC, también disminuye NIT, pero disminuir CA no parece tener efecto alguno (Gráfica i) con CE constante.

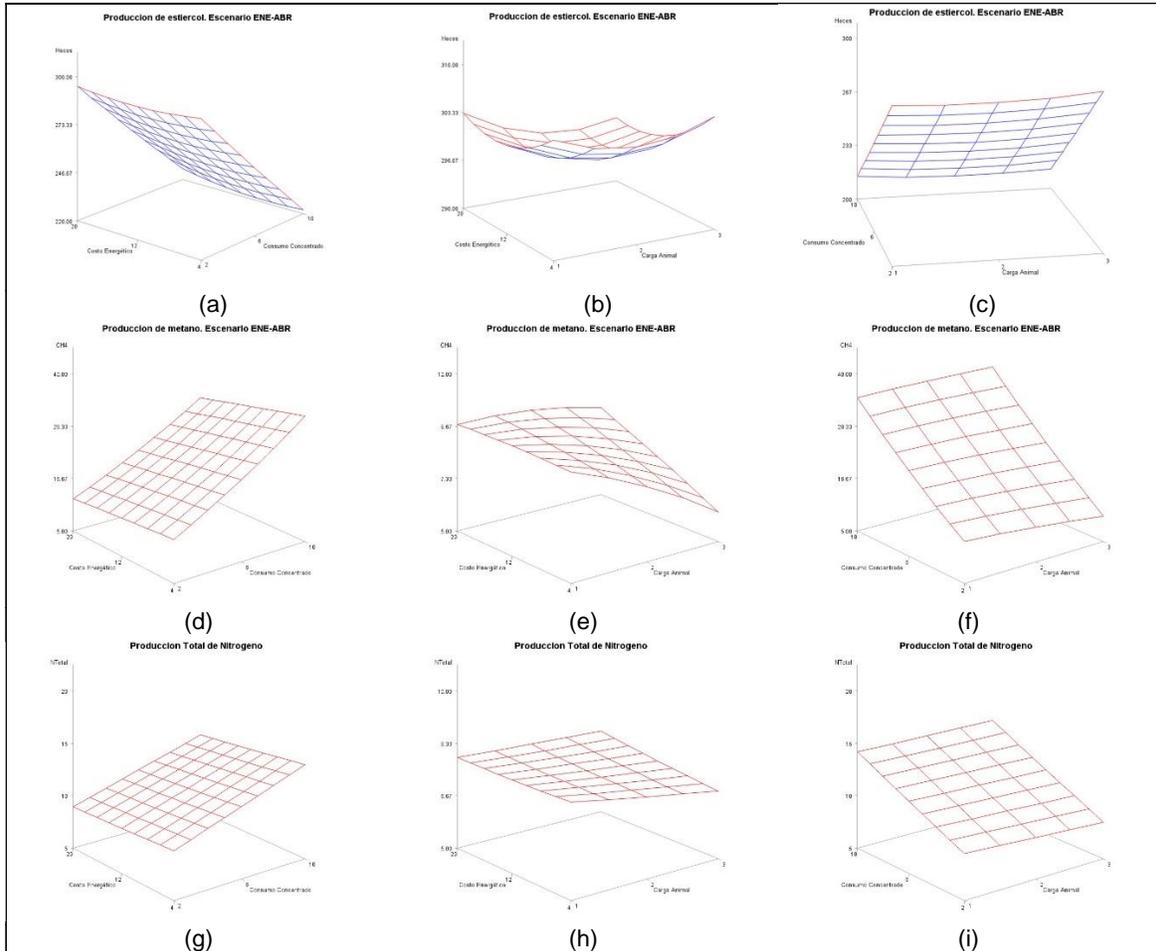


Figura 3. Respuestas predichas de la producción de excreta (EXE), producción de metano (MET) y producción de nitrógeno (NIT) de las interacciones CE*CC (a, d y g); CE*CA (b, e y h) y CC*CA (c, f e i) en el escenario ENE-ABR, respectivamente.

Escenario MAY-AGO: La falta de ajuste en EXE, MET y NIT fue altamente significativa ($P < 0,01$) en EXE y NIT y significativa ($P < 0,05$) en MET, por lo que indica que hay suficiente evidencia para concluir que hay una falta de ajuste en el modelo lineal-cuadrático. Por lo tanto, en la predicción hay una contribución significativa de error atribuida a la falta de ajuste del modelo. La respuesta fue lineal-cuadrática en MET por la alta



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

significancia de sus efectos lineales y cuadráticos (P<0,01) y una tendencia cuadrática (P<0,10) en EXE, no así en NIT, el cual es lineal (P<0,01) en el escenario MAY-AGO (Cuadro 5). No se reportaron efectos significativos en las interacciones o productos.

Cuadro 5. Cuadrados medios del análisis de superficie de respuesta para EXE, MET y NIT en el escenario MAY-AGO.

FV	gl	CUADRADOS MEDIOS		
		EXE	MET	NIT
Lineal	3	2106,4118***	107,2180***	3,0694***
Cuadrático	3	3,0921*	0,0841***	0,0003
Productos cruzados	3	0,1900	0,0011	0,0002
Total del Modelo	9	925,4535***	35,7678***	1,3233***
Falta de Ajuste	5	1,9016***	0,0127**	0,0013***
Error Puro	5	0,1777	0,0017	0,0001
Total del error	10	1,0396	0,0072	0,0007
CV, %		0,40	0,30	0,21
Factor:				
• CE	4	9,0940***	0,0405***	0,0075***
• CC	4	2073,0010***	80,4292***	2,9697***
• CA	4	0,4434	0,0051	0,0003

*P<0,10; **P<0,05; ***P<0,01

Los CV fueron muy bajos (0,21 a 0,40%) en las tres variables (Cuadro 6). Por otra parte, el efecto del factor CE y CC fueron altamente significativo (P<0,01) en las tres variables, pero el efecto de CA no afectó en la predicción a las tres características (P>0,05).

Las funciones de predicción para EXE, MET y NIT en el escenario MAY-AGO resultaron ser las siguientes:

$$\hat{Y}_{EXE} = 324,2552^{***} - 0,4791CE^{ns} - 9,8984CC^{***} + 3,3354CA^{ns} - 0,0032CE^2{}^{ns} + 0,0200CCxCE^{ns} - 0,1975CC^2{}^{***} + 0,0500CAxCE^{ns} - 0,1250CAxCC^{ns} - 0,89301CA^2{}^{ns}$$

$$\hat{Y}_{MET} = 14,4982^{***} - 0,0301CE^{ns} + 2,0609CC^{***} + 0,2853CA^{ns} - 0,0004CE^2{}^{ns} + 0,0010CCxCE^{ns} + 0,0318CC^2{}^{***} + 0,0050CAxCE^{ns} - 0,0125CAxCC^{ns} - 0,0800CA^2{}^{ns}$$

$$\hat{Y}_{NIT} = 9,9259^{***} - 0,0157CE^{ns} + 0,4851CC^{***} + 0,0857CA^{ns} - 1,8x10^{-5}CE^2{}^{ns} + 0,0006CCxCE^{ns} - 0,0014CC^2{}^{ns} + 0,0015CAxCE^{ns} - 0,0038CAxCC^{ns} - 0,0231CA^2{}^{ns}$$

El ajuste de entre los valores predichos de EXE, MET y NIT y sus valores reales en el escenario MAY-AGO, se muestran en la Figura 4.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

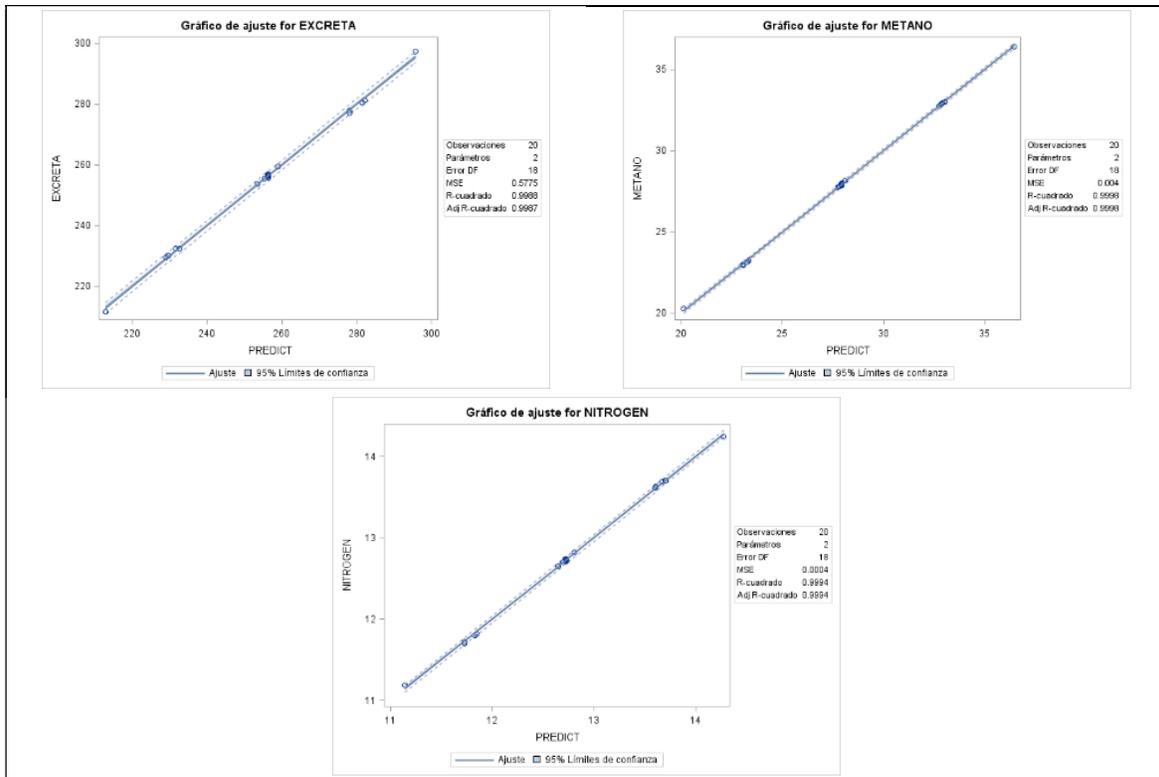


Figura 4. Ajuste del modelo para EXE, MET y NIT en el escenario MAY-AGO.

Los valores PREDICT (predichos) y los valores estimados por LIFE-SIM-BEEF para EXE (Figura 4) en donde se observa un punto “outlier” en la línea del límite de confianza superior, por lo que indicamos que el modelo lineal-cuadrático completo ajustó aceptablemente a los datos por sus valores de R^2 de 0,9988 y R^2 ajustado de 0,9987. Para MET, el modelo muestra valores de R^2 y R^2 ajustado de 0,9978 y 0,9977, respectivamente. Similar distribución se observa en NIT y los valores de R^2 y R^2 ajustado fueron 0,9965 y 0,9963, respectivamente.

En el escenario MAY-AGO, las mayores EXE se observaron a los altos niveles de CE y bajos niveles de CC con CA constante (Gráfica j) (Figura 5). Por otra parte, no mucho efecto se observa disminuyendo el CE y CA con CC constante (Gráfica k). Disminuir CC, tuvo mayores efectos que aumentar CA para aumentar EXE cuando CE estaba constante (Gráfica l). Con CA constante, aumentar el CC aumentó la MET a todos los niveles del CE (Gráfica m). En la Gráfica n, muestra que la producción de MET tiene una tendencia similar a la encontrada en la Gráfica k con CC constante; así aumentar CE o disminuir CA no tuvo mucho efecto en



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

los niveles de MET (Gráfica n). Por otra parte, disminuir el CC disminuyó MET a todos los niveles de CA con CE constante (Gráfica o). En cuanto a NIT, la tendencia de la Gráfica p es similar a la Gráfica m con alta producción de NIT a altos niveles de CC a todos los niveles de CE con CA constante. Así, la tendencia de la gráfica q es similar a la de la Gráfica n con producciones de NIT similares a todos los niveles de CE y CA con CC constante. La tendencia de la Gráfica r es parecida con la gráfica o con mayores niveles de NIT a altos niveles de CC y a todos los niveles de CA con CE constante (Figura 5).

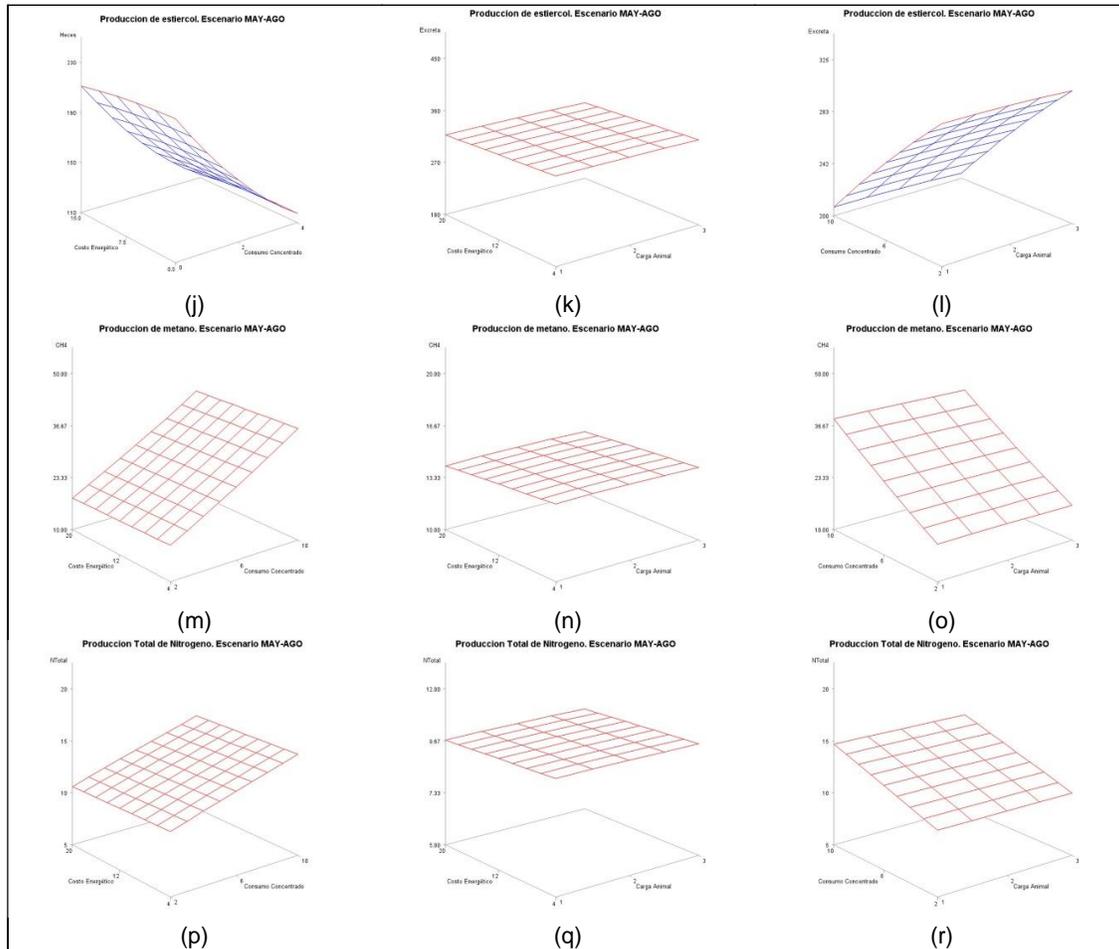


Figura 5. Respuestas predichas de la producción de excreta (EXE), producción de metano (MET) y producción de nitrógeno (NIT) de las interacciones CE*CC (j, m y p); CE*CA (k, n y q) y CC*CA (l, o y r) en el escenario MAY-AGO, respectivamente.

Escenario SEP-DIC: La falta de ajuste en EXE, MET y NIT fue altamente significativa ($P < 0,01$) en EXE y NIT y significativa ($P < 0,05$) en MET, por lo que indica que hay suficiente



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

evidencia para concluir que hay una falta de ajuste en el modelo lineal-cuadrático. Por lo tanto, en la predicción hay una contribución significativa en su error atribuida a la falta de ajuste del modelo. La respuesta fue lineal-cuadrática en MET por la alta significancia de sus efectos lineales y cuadráticos ($P < 0,01$) y una tendencia cuadrática ($P < 0,10$) en EXE, no así en NIT, el cual es lineal ($P < 0,01$) en el escenario MAY-AGO (Cuadro 6). No se reportaron efectos significativos en las interacciones o productos.

Cuadro 6. Cuadrados medios del análisis de superficie de respuesta para EXE, MET y NIT en el escenario SEP-DIC.

FV	gl	CUADRADOS MEDIOS		
		EXE	MET	NIT
Lineal	3	2329,2409***	90,6742***	3,0455***
Cuadrático	3	16,5062*	0,0190	0,0139
Productos cruzados	3	2,4900	0,0189	0,0019
Total del Modelo	9	782,7457***	30,2374***	1,0204***
Falta de Ajuste	5	9,1206*	0,0295	0,0601***
Error Puro	5	2,0990	0,0227	0,0017
Total del error	10	5,6098	0,0261	0,0308
CV, %		0.94	0,55	1,41
Factor:				
• CE	4	5,6561	0,0259	0,0068
• CC	4	1755,7398***	68,0065***	2,2892***
• CA	4	1,1365	0,0146	0,0015

* $P < 0,10$; ** $P < 0,05$; *** $P < 0,01$

Los CV fueron muy bajos (0,21 a 0,40%) y, por otra parte, el efecto del factor CE y CC fueron altamente significativo ($P < 0,01$) en las tres variables (Cuadro 6), pero el efecto de CA no afectó en la predicción a las tres características ($P > 0,05$).

Las funciones de predicción para EXE, MET y NIT en el escenario SEP-DIC resultaron ser las siguientes:

$$\hat{Y}_{EXE} = 325,2486^{***} - 1,0709CE^{ns} - 7,2872CC^{**} - 8,8015CA^{ns} - 0,0010CE^2^{ns} + 0,0725CC \times CE^{ns} - 0,4491CC^2^{***} + 0,2200CA \times CE^{ns} + 0,3250CA \times CC^{ns} + 1,1045CA^2^{ns}$$

$$\hat{Y}_{MET} = 17,6579^{***} - 0,0986CE^{ns} + 2,2374CC^{***} - 1,0953CA^{ns} + 0,0005CE^2^{ns} + 0,0055CC \times CE^{ns} - 0,0104CC^2^{ns} + 0,0220CA \times CE^{ns} + 0,0325CA \times CC^{ns} + 0,1662CA^2^{ns}$$

$$\hat{Y}_{NIT} = 10,4283^{***} - 0,0097CE^{ns} + 0,2437CC^{ns} + 0,1158CA^{ns} - 0,0010CE^2^{ns} + 0,0020CC \times CE^{ns} + 0,0104CC^2^{ns} + 0,0060CA \times CE^{ns} + 0,0100CA \times CC^{ns} - 0,0599CA^2^{ns}$$



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Las gráficas de ajuste de entre los valores predichos de EXE, MET y NIT y sus valores reales en el escenario SEP-DIC (Figura 6).

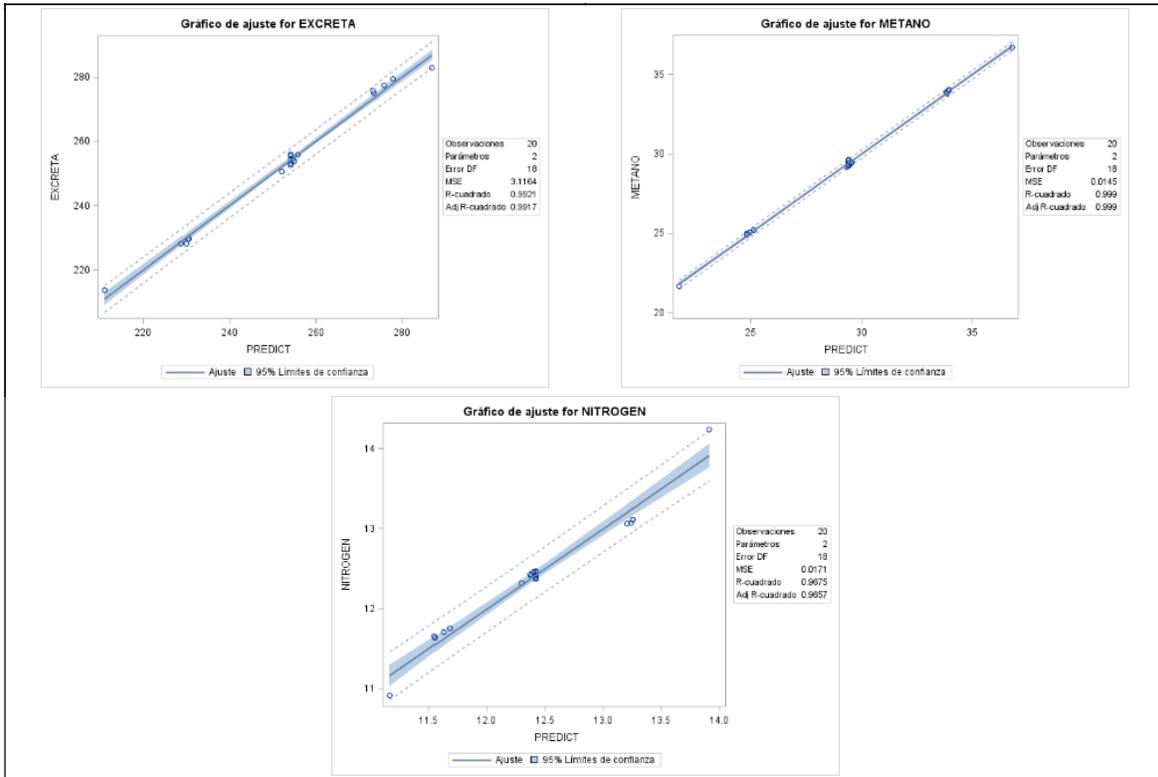


Figura 6. Distribución de los residuales versus valores PREDICT y ajuste del modelo para EXE, MET y NIT en el escenario SEP-DIC.

En las tres gráficas de la Figura 6 no se observan “outliers”. Los R^2 y R^2 ajustados para ECE, MET y NIT fueron 0,992 y 0,991; 0,999, 0,999 y 0,968 y 0,966, respectivamente.

Con CA constante, disminuir el CC disminuye EXE con todos los niveles de CE con CA constante (Gráficas). Disminuir CE y CA con CC constante se observa una tendencia ligeramente curvilínea aumentándose EXE muy ligeramente en los extremos (Gráfica t). Disminuir CC a todos los niveles de CA, la EXE tiende a aumentar con CE constante (Gráfica u).



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Con CA contante, mayores valores de MET se observan al aumentar CC a todos los niveles de CE (Gráfica v). Cambios en los niveles de CE y CA con CC constante no produce cambios marcados en la MET (Gráfica w). Disminuciones en MET se encontraron al disminuir los niveles de CC a todos los niveles de CA con CE constante (Gráfica x). Aumentar CC aumenta NIT en todos los niveles de CE con CA constante (Gráfica y). Tampoco se observa aumentos marcados al disminuir el CE y aumentar la CA con CC constante (Gráfica z). Aumentar los niveles de CC aumenta el NIT en todos los niveles de CA con CE constante (Gráfica α) (Figura 7). Finalmente y resumiendo, se observa que las tendencias de MET son similares en las gráficas d, e, f ; m, n, o y v, w, x; así como las tendencias de las gráficas g, h, i; p, q, r y y, z, α con respecto a NIT.

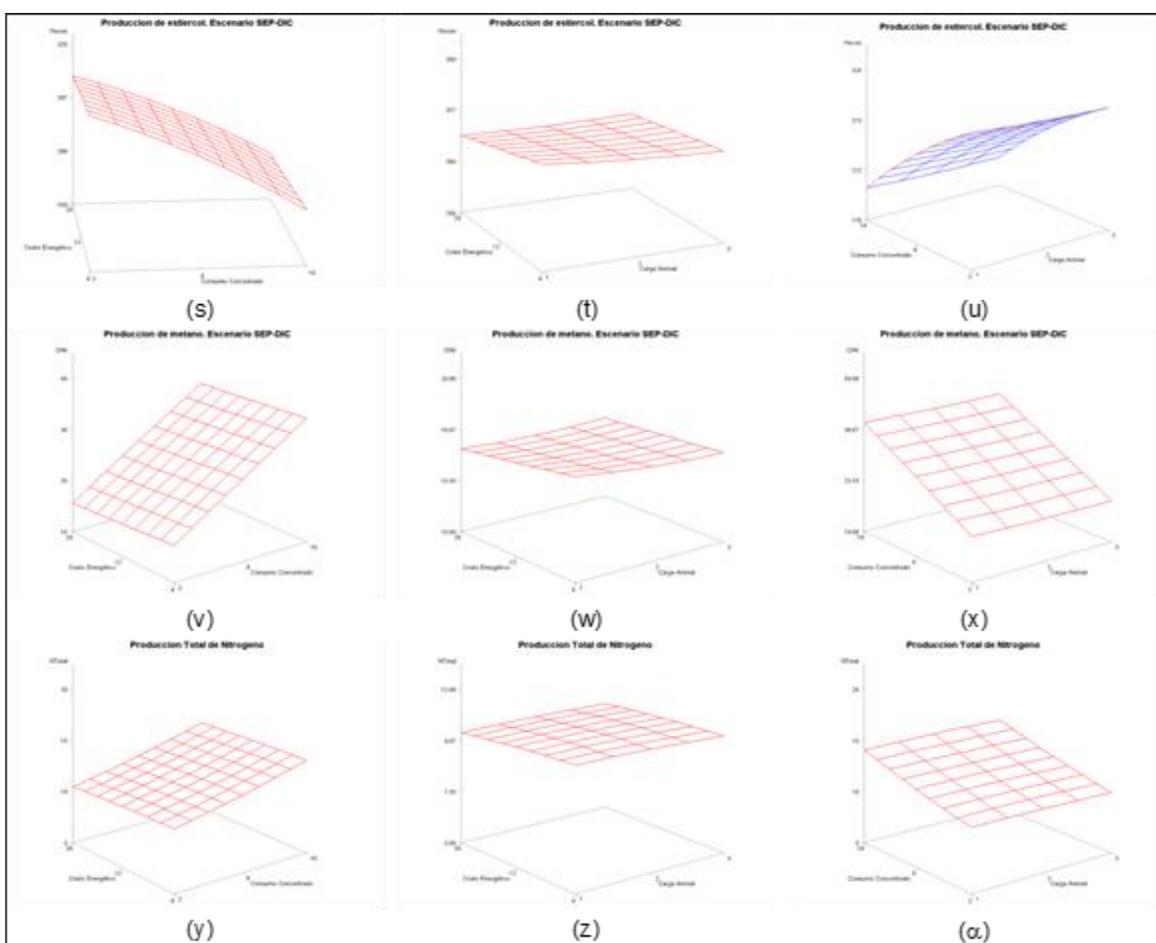


Figura 7. Respuestas predichas de la producción de excreta (EXE), producción de metano (MET) y producción de nitrógeno (NIT) de las interacciones CE*CC (s, v e y); CE*CA (t, w y z) y CC*CA (u, x y α) en el escenario SEP-DIC, respectivamente.



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Combinaciones de 10% de CE, 9,36 kg concentrado/animal/día de CC y CA de 2,0 UA/ha produjeron más MET y NIT en ENE-ABR con 32,50 kg y 13,48 kg, respectivamente, y en SEP-DIC fue 36,71 kg y 14,24, respectivamente. Sin embargo, para estos escenarios la máxima producción de EXE (274,5 y 282,9 kg, respectivamente) se obtuvo con la combinación de 10% de CE, 2,64 kg concentrado/animal/día y 2,0 UA/h.

Por otra parte, la combinación de 10% de CE, 9,36 kg concentrado/animal/día y CA de 2,0 UA/ha se obtuvo mayor producción de EXE (297,4 kg), EXE (36,37 kg) y NIT (14,25 kg) en el escenario de MAY-AGO.

En vacas lecheras producciones diarias de metano de hasta 400 g/día cuando se alcanzó el pico de lactación, manteniéndose así hasta el final de ésta (De Hass et al., 2011). Yan et al. (2010) indican que la producción de metano depende de la calidad de la dieta, de tal manera que alimentar con dietas altas en concentraciones de energía metabolizable se considera un método eficaz para reducir las emisiones de metano entérico de las vacas lecheras, con sistemas de producción normales. Berndt y Tomkins (2013) reportan medias diarias (\pm EE) de emisiones de CH₄ en un rango que va de 136 \pm 21,5 g/animal/día para novillos Brahman pastoreando pasto Rhodes irrigado hasta 281 \pm 22,3 g/animal/día para vacas Brahman pastoreando mezclas de Buffel (*Cenchrus ciliaris*) y Sabi (*Urochloa mosambicensis*). Canesin et al. (2014) evaluaron la producción de CH₄ con diferentes frecuencias de suplementación mientras pastoreaban *Brachiaria brizantha* cv. Marandú en Joboticabal, SP, Brasil y observaron diferencias en la producción entérica de metano en diferentes meses, con 176,8 g/día y 84,5 g/día de CH₄/kg consumido de energía bruta en septiembre y 311,0 g/día y 123,4 g/día de CH₄/kg consumido de energía bruta en noviembre. Además, suplementar en días alternados se produjo 252,5 g/día, 253,3 g/día suplementar diariamente excepto sábados y domingos y 226,0 g/d una vez al día. Primavesi et al. (2004) también obtuvieron resultados similares de producción de metano en novillas lecheras cruzadas brasileñas pastoreando pastos *Brachiaria* spp., sin fertilizantes de 181 g/día y 295 g/día en vacas secas pastoreando en pasto Tobiatã fertilizada en el verano. Las más bajas emisiones han sido asociadas con novillos jóvenes pastoreando pasturas mejoradas fertilizadas con urea e irrigadas y manejadas intensivamente (Tomkins et al., 2011). De acuerdo con Johnson y Johnson (1995), cuando carbohidratos altamente disponibles son suplidos a consumos



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

limitados, ocurren altas pérdidas de metano fraccional, en contraste con altos niveles de consumo de dietas altamente digestibles, bajas pérdidas de metano fraccional ocurren. Además, agregan que la suplementación de forraje de baja calidad incrementará las pérdidas de CH₄ proporcionalmente al mejoramiento en la digestibilidad y que las pérdidas totales de CH₄ por unidad de producto (mantenimiento, lactación o desarrollo) decrecería con la suplementación proteica.

Nuestros resultados no llegaron a alcanzar los niveles de producción diaria de metano de De Hass et al. (2011) en los tres escenarios de ceba, pero si hay que indicar que el ganado lechero es mucho más exigente en sus nutrimentos diarios que el ganado de carne. Johnson y Johnson (1995) indican que la producción de metano se incrementa con la digestión de la fibra, debido al aumento en la cantidad de ácido acético en relación con el ácido propiónico, así que los forrajes más digestibles y fibras de calidad generan mayor cantidad de metano. Se pudiera inducir que con la *Brachiaria humidicola*, un forraje de mediana a baja calidad dependiendo del manejo y de la época del año, junto con la pica de arroz pudieran contribuir al aumento en la producción de metano cuando se aumentó su oferta en base fresca en ambos niveles de costo energético. Por otra parte, el aumento en el ofrecimiento de almidón a través de la pulidura de arroz, harina de soya y maíz no tuvo el suficiente beneficio en disminuir la producción de metano por su fermentación y su efecto en el cambio del pH ruminal y no propició un estímulo en las bacterias amilolíticas de acuerdo con lo propuesto por Van Kessel y Russell, (1996). Además, por diferencias entre componentes de carbohidratos no fibrosos, la inclusión de pectinas es capaz de generar cantidades de ácido acético (Mauronek et al., 1985) y por consiguiente aumento en la producción de metano, mientras que los azúcares solubles, como los presentes en la melaza, generan butirato (Schultz et al., 2013) con menor generación de metano.

Las relaciones descritas por Charmly et al. (2008) y Kennedy and Charmly (2012) para pasturas, forrajes y leguminosas tropicales indican que producciones de CH₄ podrían ser predichas como 19,6 g/kg MS consumida, o 8,6% a 13,4% de la energía digestible consumida, y 5,2% a 7,2% de la energía bruta consumida. Por otra parte, los valores defectos (default values) provistos por el Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

2006) para América Latina son 63 kg CH₄/cabeza por año para vacas lecheras y 56 kg CH₄/cabeza por año para los otros tipos de ganado. En la revisión de Berndt y Tomkins (2013) se encontraron que con la alimentación a base de ensilado más granos el factor de emisión de CH₄ fue 50,7±4,5 kg/cabeza/año, con Caña de Azúcar más granos de 49,2±8,5 kg/cabeza/año (Pedreira et al., 2009), con heno de *Brachiaria* más ionóforos de 26,2±6,6 kg/cabeza/año (Balieiro Neto et al., 2009), y pasto más mineral más suplementos energéticos y proteicos de 41,9±1,0 kg/cabeza/año (Fontes et al., 2011).

Las intensidades de emisiones de CH₄ del ganado pastando extensivamente pasturas tropicales son reconocidas ser más altas que las emisiones características del ganado pastando pasturas templadas o mejoradas (Berndt y Tomkins, 2013). La digestibilidad del forraje influye en la emisión de metano. De acuerdo con Hegarty (1999a, b) y Hegarty et al. (2007) mejorar la calidad del forraje en animales en pastoreo es la manera práctica de reducir las emisiones de metano por unidad de producto generado. La digestibilidad de la *Brachiaria humidicola* está entre 43,6% en marzo y 57,4% en septiembre (Cuadro 2), por lo que pudo ser un factor en aumentar la emisión de metano en los tres escenarios de ceba y los dos niveles de costo energético. Sin embargo, Wittenberg (2008) señala que incrementar la digestibilidad de un forraje se mejora su consumo y esto generalmente se asocia al aumento en CH₄ por animal, pero menor producción por kg de alimento consumido. Sejian et al. (2011) sostienen que la reducción en la emisión de metano se podría realizar mediante el mejoramiento genético de los forrajes u optimizando la dieta forrajera con suplementos tipos concentrados.

El estiércol bovino es el mayor desecho producido en los agroecosistemas y sostiene que un uso inapropiado puede crear problemas tales como olor, producción de nitratos y otros elementos contaminantes dependiendo del tipo de dieta y aditivos, de acuerdo con Rodríguez (2002) y de Wit et al. (1997). Además, indica que se acepta de forma general una producción media diaria de deyecciones sólidas y líquidas, equivalente al 7% del peso vivo del animal, también sometida a numerosos factores que inciden en una alteración del valor citado. Rodríguez (2002) agrega que la vaca cárnica y la lechera pueden producir, en base fresca, 28 y 45 kg/día de heces más orina, respectivamente. De acuerdo con Vera-Romero et al. (2014) la producción de excretas bovinas de acuerdo con



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

el tamaño va de 15, 10, 8 y 4 kg/día en base fresca para el ganado grande, mediano, pequeño y ternero, respectivamente. Por otra parte, Nennich et al. (2003) reportan que la producción de estiércol fresco en el bovino es de 22 kg/día en el bovino de engorda y 68 kg/día en la vaca lactante. Estos valores reportados en la literatura indican mucha variación dependiendo de factores como el tipo de alimentación, contenido bromatológico de la ración, época del año, entre otros.

CONCLUSIONES

- De nueve análisis corridos, cinco ajustaron al modelo lineal, uno al modelo cuadrático y tres al modelo lineal-cuadrático y mostraron una tendencia significativa.
- El factor consumo de concentrado (CC) fue de más alta significancia ($P < 0,01$) en todas las variables de respuesta y en los tres escenarios estudiados.
- En los tres escenarios se observó que:
 - EXE disminuye cuando aumenta el CC.
 - MET y NIT aumenta cuando CC.
 - CE y CA tuvieron muy pocos efectos en la producción de EXE, MET y NIT en los tres escenarios.

REFERENCIAS

Aguilar-Zalzano, E., y Rojas-Bourrillon, A. (2014). Métodos utilizados para reducir la producción de metano endógeno en rumiantes. Revisión de literatura. *Nutrición Animal Tropical*, 8(2), 72-90.

<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/nutrianimal/article/view/17582/17082>

Baliero Neto, G., Berndt, A., Nogueira, J. R., Demarchi, J. J. A., and Nogueira Filho, J.C.M. (2009). Monensin and protein supplements on methane production and rumen protozoa in bovine fed low quality forage. *South African Journal of Animal Science*, (Supplement) 39, 280-283. <https://doi.org/10.4314/sajas.v39i1.61240>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Berndt, A., and Tomkin, N.W. (2013). Measurement and mitigation of methane emissions from breed cattle in tropical grazing systems: a perspective from Australia and Brazil. *Animal*, 7(2), 363-372. <https://doi.org/10.1017/s1751731113000670>
- Canesin, R. C., Berchielli, T. T., Messana, J. D., Baldi, F., Pires, A. V., Frighetto, R. T. S., Fiorentini, G., and Reis, R. A. (2014). Effects of supplementation frequency on the ruminal fermentation and enteric methane production of beef cattle grazing in tropical pastures. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(11), 590-600. <https://www.scielo.br/j/rbz/a/DY7F7z4nMSnvXq8hc75dqGq/?lang=en>
- Cambra López, M., García Rebollar, P., Estellés, F. y Torres, A. 2008. Estimación de las emisiones de los rumiantes en España: El factor de conversión de metano. *Archivo de Zootecnia*, 57, 89-101. https://www.researchgate.net/publication/284758056_Estimacion_de_las_emisiones_de_los_rumiantes_en_Espana_El_factor_de_conversion_de_metano
- León-Velarde, C., Quiróz, R. A., Caña, R., Osorio, J., Guerrero, J., and Pezo, D. 2006. *Life-Sim: Livestock feeding strategies simulations models*. International Potato Center (CIP). Natural Resources Management Division. Lima, Peru. 47p. [Archivo PDF]. <https://www.researchgate.net/publication/290799540>
- Charmly, D., Stephens, M. L., and Kennedy, P. M. (2008). Predicting livestock productivity and methane emissions in northern Australia: development of a bio-economic modelling approach. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48(2), 109-113. <https://doi.org/10.1071/EA07264>
- de Hass, Y., Windig, J., Calus, M., Dijkstra, J., De Haan., M., Bannik, A., and Veerkamp, R. (2011). Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emission through genomic selection. *Journal of Dairy Science*, 94(12), 6122-6134. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4439>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

de Wit, J., van de Meer, H. G., and Nell, A. J. (1997). Animal manure: ¿asset or liability? *Revista Mundial de Zootecnia (FAO)*, No. 88.
<https://www.fao.org/4/w5256t/w5256t05.htm>

di Marco, O. N., y Aello, M. S. (2003). *Costo energético de la actividad de vacunos en pastoreo y su efecto en la producción. Sitio Argentino de Producción Animal*. https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/01-costo_energetico_de_actividad_en_pastoreo_efecto.pdf

Draper, N. R., and Smith, H. (1981). *Applied regression analysis*. 2nd Edition. John Willey and Sons. New York, USA. 709p.
https://books.google.com.pa/books/about/Applied_Regression_Analysis.html?id=d6NsDwAAQBAJ&redir_esc=y

Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá. (IMHPA). (1 de junio de 2018). *Hidrometeorología. Clima. Datos Climáticos Históricos*. Instituto de Meteorología e Hidrología de Panamá. Panamá, Panamá. <https://www.imhpa.gob.pa/es/clima-historicos>

Fontes, C. A. A., Costa, V. A. C., Berndt, A., Frighetto, R. T. S., Valente, T. N. P., y Processi, E. F. (18-21 de julio de 2011). *Emissão de metano por bovinos de corte, suplementados ou não, em pastagem de campin mombaça (Panicum maximum cv. Mombaça)* [Conferencia]. Proceedings of the 48th Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia. Sociedade Brasileira de Zootecnia, Belém, Brazil.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40196/1/PROCI-2011.000083.pdf>

Guerra M, P., Quiel B, R. A., Rodríguez, G., y De Gracia, M. M. (2002). Evaluación bioeconómica de cuatro sistemas de ceba en pastoreo, suplementación energética proteica y estimuladores del consumo y crecimiento. 1999. *Ciencia Agropecuaria*,



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

12, 191-222. <http://www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/348>

Guerra M., P., Ono, T., Chacón P, O., Quiel B, R. A., De Gracia V, M. M., González M, R. A., y Bernal R., J. L. (2012). *Características cárnicas y de la canal de animales Brahman, Criollos y cruzados de acuerdo con el sistema de alimentación*. Boletín Técnico. IDIAP.CIA Chiriquí, Panamá.

<http://www.idiap.gob.pa/download/caracteristicas-carnicas-y-de-la-canal-de-animales-brahman-criollos-y-cruzados-de-acuerdo-al-sistema-de-alimentacion/>

Hobson, P., and Stewart, C. (Editors). (1997). *The rumen microbial ecosystem*. 2nd Edition. Blackie Academic and professional. An Imprint of Chapman and Hull. London, UK.

<https://www.amazon.com/Rumen-Microbial-Ecosystem-P-N-Hobson/dp/0751403660>

Howden, S., and Reyenga, P. (1999). Methane emissions from Australian livestock: implications the Kyoto protocol. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(8), 1285-1292. <https://doi.org/10.1071/AR99002>

Hungate, R. E., Smith, W., Bauchop, T., Yu, I., and Rabinowitz, J. C. (1970). Format as an intermediate in the bovine rumen fermentation. *Journal of Bacteriology*, 102(2), 389-397. <https://doi.org/10.1128/jb.102.2.389-397.1970>

Hegarty, R. S. (1999a). Mechanisms for competitively reducing ruminal methanogenesis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(8), 1299-1306.

<https://doi.org/10.1071/AR99007>

Hegarty, R. S. (1999b). Reducing rumen methane emissions through elimination of rumen protozoa. *Australian Journal of Agricultural Research*, 50(8), 1321-1328.

<https://doi.org/10.1071/AR99008>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Hegarty, R. S., Goopy, J. P., Herd, R. M., and McCorkell, B. (2007). Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. *Journal of Animal Science*, 85, 1479-1486. <https://doi.org/10.2527/jas.2006-236>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Climate change 2001. The scientific basis*. In: J.T. Houghton *et al.* (Eds). IPCC. Cambridge University Press. Ginebra, Switzerland.
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). *Guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 4. Agriculture, forestry and other land use*. IPCC. Hayama, Japan. [Archivo PDF]. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

Johnson, K., and Johnson, D. (1995). Methane emission from cattle. *Journal of Animal Science*, 73, 2483-2492. <https://doi.org/10.2527/1995.7382483x>

Kennedy, P. M., y Charmley, E. (2012). Methane yields from Brahman cattle fed tropical grasses and legumes. *Animal Production Science*, 52(4), 225-239.
<https://doi.org/10.1071/AN11103>

Khalil, M. (2000). *Atmospheric methane: An introduction*. In: M. Khalil, Editor. Atmospheric methane, its role in the global environment. Springer-Verlag. Berlin, Germany. p. 1-8.
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-04145-1>

Mader, T., Davis, S., Gaughan, J., and Brown-Brandl, T. (2005). *Wind speed and solar radiation adjustments for the temperature-humidity index*. [Conference] In: Proceeding of the 16th Conference on Biometeorology and Aerobiology. Meeting Abstract 6B.3. Vancouver, British Columbia, Canada.
https://www.academia.edu/89662618/Wind_speed_and_solar_radiation_adjustments_for_the_temperature_humidity_index



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Mauronek, M., Bartos, S., and Brezina, P. (1985). Factors influencing the production of volatile fatty acids from hemicellulose, pectins and starch by mixed cultures of microorganisms. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 53, 50-58.

<https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1985.tb00006.x>

Monteny, G. J., Groenestein, C. M., and Hillshorts, R. B. (2001). Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry. *Nutrition Cycling Agroecosystem*, 60, 123-132. <https://doi.org/10.1023/A:1012602911339>

Myers, R. H. (1976). Response surface methodology. Virginia Polytechnic Institute and State University. USA. <https://www.amazon.com/Response-surface-methodology-Raymond-Myers/dp/B0007AN604>

National Oceanic and Atmospheric Administration. (1976). *Livestock Hot Weather Stress*. Operations Manual Letter C-31-76, Department of Commerce, NOAA, National Weather Service Central Region, Kansas City.

National Research Council. (2000). *Nutrient requirements of beef Cattle*. NRC 7th Edition. NRC. National Academy Press. Washington, DC. USA.

<https://nap.nationalacademies.org/catalog/9791/nutrient-requirements-of-beef-cattle-seventh-revised-edition-update-2000>

Nennich, T., Harrison, J. H., Meyer, D., Weiss, W. P., Heinrichs, A. J., Kincaid, R. L., Powers, W. J., Koelsch, R. K., and Wright, P. E. (12 – 15 October 2003). *Development of standard methods to estimate manure production and nutrient characteristics from dairy cattle* [Conference presentation abstract]. Ed. R. T. Burns. Symposium. Ninth International Animal, Agricultural and Food Processing Wastes Proceedings. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) Publication Number 701P1203. Pp 263-268. Research Triangle Park. North Carolina, USA. Digital Communications. University of Nebraska-Lincoln. Conference with White Papers: Biological System Engineering.

<https://digitalcommons.unl.edu/biosysengpres/1>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

- Pedreira, M. S., Primavesi, O., Lima, M. A., Frighetto, R. T. S., Oliveira, S. G., and Berchielli, T. T. (2009). Ruminal methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. *Scientia Agricola*, 66(6), 742-750. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000600004>
- Pinos Rodríguez, J. M., García López, J. C., Peña Avelino, L. Y., Rendón Herrera, J. A., González González, C., y Tristán Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952012000400004
- Pinzón, B., y Montenegro, R. (2002). Potencial de producción de carne en pasturas de *Brachiaria* solas y asociadas con la leguminosa *Arachis pintoi*. 1994-1996. *Ciencia Agropecuaria*, 11, 129-157. www.revistacienciaagropecuaria.ac.pa/index.php/ciencia-agropecuaria/article/view/378
- Primavesi, O., Frighetto, R. T., Pedreira, M. S., Lima, M. A., Berchielli, T. T., y Barbosa, P. F. (2004). Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 39(3), 277-283. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000300011>
- Rodríguez, C. (2002). *Residuos ganaderos*. En. Curso de Introducción a la Producción Animal. FAV, UNRC. Sitio Argentino de Producción Animal. Buenos Aires, Argentina. https://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf
- Rubio-Aguirre, F. A., Echavarrí-Cháirez, F. G., y Castañeda-Orozco, A. (2012). *Uso de zeolita para captura de nitrógeno en estiércol bovino*. Desplegable Informativa No. 23. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de Investigación Regional del Norte-Centro. Centro Experimental Zacatecas. México. [Archivo PDF].



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

<http://zacatecas.inifap.gob.mx/publicaciones/usoZeolita.pdf>

Sejian, V., Lai, R., Lakritz, J., and Ezeji, T. (2011). Measurement and prediction of methane enteric emissions. *International Journal of Meteorology*, 55, 1-16.

<https://doi.org/10.1007/s00484-010-0356-7>

Shultz, E., Carnevali, A. A., Chicco, C. E., y Shultz, T. A. (2013). *Suplementación con urea-melaza y pulidura de arroz en bovinos alimentados con pastos de pobre calidad*. En: Sitio Argentino de Producción Animal. Buenos Aires, Argentina.

<https://www.produccion->

[animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/94-Suplementacion_con_urea.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion_proteica_y_con_nitrogeno_no_proteico/94-Suplementacion_con_urea.pdf)

Tomkins, N. W., McGinn, S. M., Turner, D. A., and Chamley, E. (2011). Comparison of open-circuit respiration chambers with a micrometeorological method for determining methane emissions from beef cattle grazing a tropical pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 166, 240-247.

<https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.014>

Van Kessel, J. A., and Russell, J. B. (1996). The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS Microbiology Ecology*, 20(4), 205-210. [https://doi.org/10.1111/j.1574-](https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1996.tb00319.x)

[6941.1996.tb00319.x](https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1996.tb00319.x)

Vargas, J., Cárdenas, E., Pabón, M., y Carulla, J. (2012). Emisión de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Archivos de Zootecnia*, 61, 51-66.

<https://www.redalyc.org/pdf/495/49558825005.pdf>

Vera-Romero, I., Estrada-Jaramillo, M., Martínez-Reyes, J., y Ortiz-Soriano, A. (2014). Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 15(3), 429-436.

[https://doi.org/10.1016/S1405-7743\(14\)70352-X](https://doi.org/10.1016/S1405-7743(14)70352-X)



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Weiss, W. P., and St-Pierre, N. (2011). Estrategias de alimentación para disminuir la producción de estiércol de vacas lecheras. *Sitio Argentino de Producción Animal*. Agroindustria. Rumiantes.

https://produccionanimal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/produccion_bovina_leche/191-reduccion_estiercol_32.pdf

Wittenberg, K. M. (2008). Enteric methane emissions and mitigation opportunities for Canadian cattle production systems [Archivo PDF]. University of Manitoba. Winnipeg, Manitoba. CAN.

https://www.researchgate.net/profile/Karin-Wittenberg/publication/237438998_Enteric_methane_emissions_and_mitigation_opportunities_for_Canadian_cattle_production_systems/links/5630c48e08aef3349c29f524/Enteric-methane-emissions-and-mitigation-opportunities-for-Canadian-cattle-production-systems.pdf

Yan, T., Mayne, C., Gordon, F., Porter, M., Agnew, R., Patterson, D., Ferris, C., and Kilpatrick, C. (2010). Mitigation of enteric methane emissions through improving efficiency of energy utilization and productivity in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93(6), 2630-2638. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2929>



Este trabajo está licenciado bajo una [licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)