



CARGA ANIMAL E IMPACTO AMBIENTAL EN EL TRÓPICO HUMEDO DE VERACRUZ

[STOCKING RATE AND ENVIRONMENTAL IMPACT IN THE HUMID TROPIC OF VERACRUZ]

Julissa Lozano-Rojas¹, Jesús Jarillo-Rodríguez^{2§}, Epigmenio Castillo-Gallegos², Rafael Olea-Pérez³, Zabdi Uziel González-López¹, Daniel Cedillo Herrera³

¹Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván-Campus Tlapacoyan. ²Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia, Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical. ³Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. [§]Autor para correspondencia: (jarillorj22@hotmail.com).

RESUMEN

La ganadería bovina bajo condiciones de pastoreo extensivo ha estado asociada con una alta generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), sin embargo, se requiere evaluar el efecto de la carga animal sobre emisiones de GEI. La metodología más enfocada a la medición del impacto ambiental que tienen los procesos que producen bienes o servicios, es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El objetivo del presente estudio fue caracterizar mediante el ACV las emisiones de gases con efecto invernadero por producción animal a diferente carga en un sistema de producción en el trópico de Veracruz. Se realizó en un clima Af (m) w "(e) y suelo ácido tipo ultisol. Los tratamientos fueron de 2 (T2), 3 (T3) y 4 (T4) vacas ha⁻¹, en un sistema doble propósito bajo pastoreo. El tratamiento de mayor emisión fue el T4, seguido del T3 y el de menor emisión de GEI T2. No hubo una diferencia estadística significativa en cuanto la emisión de gases entre cada carga animal, destacando que existe una relación directamente proporcional entre la carga animal y la cantidad de GEI, respectivamente.

Palabras clave: Ciclo de vida, carga animal, trópico húmedo.

ABSTRACT

Cattle farming under extensive grazing conditions has been associated with a high generation of emissions greenhouse gases (EGG), however, it is necessary to assess the effect of the stocking rate on EGG. The methodology most focused on measuring the environmental impact of processes that produce goods or services is Life Cycle Analysis (LCA). The objective of this study was to characterize by the LCA the EGG produced in different stocking rate in a production system in the tropics of Veracruz state. It was performed in a climate Af (m) w"(e) and soil acid type ultisol. Treatments were 2 (T2), 3 (T3) and 4 (T4) cows ha⁻¹, in a double purpose system in grazing. The highest emission treatment was T4, followed by T3 and the lowest EGG T2 emission. There was no significant statistical difference in terms of gas emission between each stocking rate, there was a directly proportional relationship between the animal load and the amount of EGG, respectively.



Index words: Life cycle, stocking rate, humid tropic.

INTRODUCCIÓN

La ganadería bovina bajo condiciones de pastoreo extensivo ha estado asociada con una alta generación de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), degradación general de los recursos naturales y bajos parámetros productivos (Rivera *et al.*, 2016). Según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2015) el 10% de las emisiones de GEI se originaron por la actividad agropecuaria (Gerber *et al.*, 2013). Existen distintas metodologías para medir las distintas dimensiones que forman parte del desarrollo sostenible. La metodología más enfocada a la medición del impacto ambiental que tienen los procesos que producen bienes o servicios, es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el cual permite realizar mediciones del impacto ambiental desde la obtención de materias primas hasta que este producto es consumido o desechado (SIAC, 2006).

El ACV es una herramienta que evalúa el impacto ambiental de un producto o proceso a través de todo su ciclo de vida. Una de las categorías que mide el ACV es el potencial de calentamiento global (Antón, 2004). Según la FAO (2019), el sector ganadero contribuye significativamente al total de emisiones humanas de GEI, por lo que la caracterización y evaluación de los sistemas productivos es de vital importancia para mitigar el cambio climático. En tal contexto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar mediante el ACV las emisiones de gases con efecto invernadero que se generan por la producción animal a diferente carga (2, 3 y 4 vacas/ha) en un sistema doble proposito en el trópico de Veracruz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el Centro de Enseñanza, Investigación y Extensión en Ganadería Tropical de la FMVZ-UNAM, ubicado en Tlapacoyan, Veracruz, México, (Lat. 20 ° 02 'N, Long. 97° 06' W, altitud 112 m), con una temperatura media anual de 23.5 ° C y una precipitación media anual de 1991 mm. La clasificación climática es Af (m) w "(e), equivalente al tipo cálido y húmedo, con lluvia durante todo el año (García, 1981). En la Figura 1, se presentan las fluctuaciones en la temperatura y la lluvia durante el período de evaluación.

El tipo de suelo en el sitio experimental fue ácido (pH 4.5 - 5.2), ultisol con bajo contenido de N (0.032%), P (2.32 ppm) y K (8.5 ppm). Tiene una capa arable poco profunda (2 - 5 a 25 cm), limitada en el fondo por una capa áspera conocida localmente como "tepetate", que tiene silicatos ácidos que limitan la penetración de la raíz y causan un engorde deficiente (Jarillo *et al.*, 2011).

Se realizó un diseño experimental donde los tratamientos fueron de 2, 3 y 4 vacas ha⁻¹ (Cuadro 1). Cada tratamiento tuvo 10 vacas Holstein x Cebú F1 (489 ± 67.5 kg de peso vivo) y áreas de 5, 3.3 y 2.5 ha, respectivamente, para una carga animal (CA) de 2, 3 y 4 vacas ha⁻¹, que se dividieron en 10 potreros de 0.5, 0.33 y 0.25 ha, respectivamente. Cada división se pastoreo por tres días y se descanso 27 días. Los potreros no fueron fertilizados desde cuatro años antes del inicio del estudio.

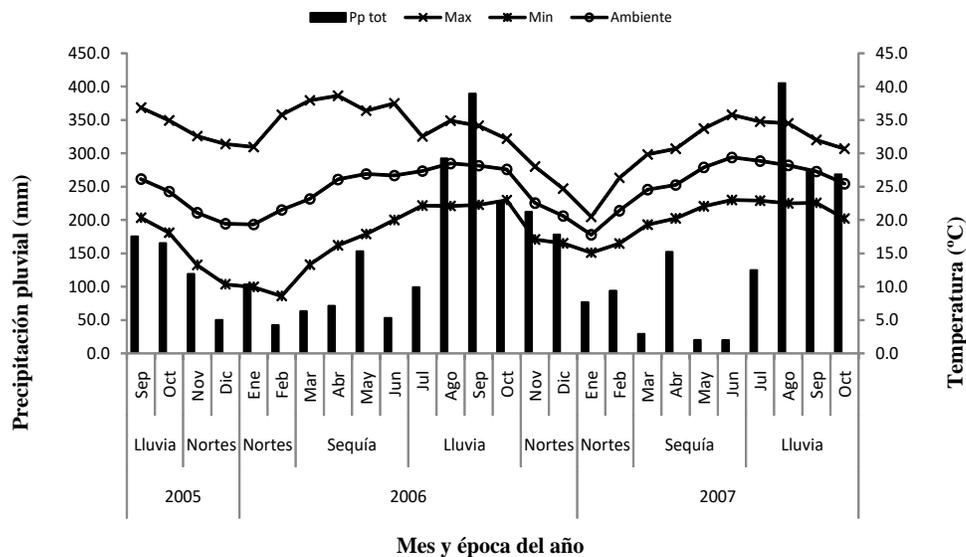


Figura 1. Temperatura máxima (Max), mínima (min), ambiente y precipitación pluvial (Pp tot) en las épocas de lluvia, nortes y sequía de septiembre de 2005 a octubre 2007 en el trópico húmedo de México.

Las vacas se mantuvieron en sus respectivos potreros todo el tiempo, excepto cuando fueron ordeñadas. Las vacas en cada tratamiento recibieron 1 kg de alimento concentrado (12% CP) al momento del ordeño y 2 kg de ensilado de taiwan (*Pennisetum purpureum*) solo por dos meses durante el invierno.

Cuadro 1. Principales características de cada uno de los tratamientos evaluados.

Tratamiento	Carga animal (vaca/ha ⁻¹)	No. Vacas	Área (ha)	Forraje	Suplementación
T2	2	10	5	Praderas mixtas ¹	Sales minerales,
T3	3	10	3.3		Concentrado ² , sustituto de leche, silo de Taiwán.
T4	4	10	2.5		

¹Praderas mixtas está integrada por forrajes de los géneros: *Paspalum* spp., *Axonopus* spp., *Bracharia arrecta*, *Desmodium* spp., malezas. ²Concentrado para vacas y concentrado para becerros.

El ACV se utiliza para estimar los contaminantes ambientales emitidos durante un proceso productivo, donde en forma estandarizada y objetiva se contabilizan los efectos del flujo de los recursos y las emisiones que le son atribuidas a la producción del bien o servicio, en este caso la producción de leche en pastoreo (Molina, 2019).

Como ya se mencionó, el ACV tiene una metodología que se encuentra estandarizada (ISO, 2007) descrita en las normas ISO 14040 y 14044 (ISO, 2006b, 2006a), por lo que puede llevarse a cabo en cualquier región, clima y se utiliza en una gran variedad de sectores. En este sentido, se reconocen cuatro componentes metodológicos, fases o etapas relacionadas entre sí, (Rebitzer *et al.*, 2004; Hellweg y Milà i Canals, 2014) establecidas bajo los siguientes parámetros:



Objetivo y alcance

Esta etapa garantiza la descripción detallada del producto que se va a evaluar y su contexto, el sistema en términos de fronteras (Antón, 2004), así como definir la Unidad Funcional (UF) o unidades en las que se expresarán las cargas ambientales.

Los límites se establecieron desde la entrada de insumos para la producción hasta la salida del producto como becerros y reproductores de desecho o leche vendidos a pie de potrero. Se construyó la unidad funcional (UF) estandarizando los principales productos (peso vivo en pie y leche) con base a su contenido de proteína cruda para expresarse como kilogramo de peso en pie de ganado bovino vendido, ajustado a 18.75 % de proteína cruda (kgPV-eq). Las categorías de impacto ambiental evaluadas fueron el potencial de calentamiento global o emisiones de gases de efecto invernadero expresado como kgCO₂-eq kgPV-eq-1 y el uso del suelo expresado como m² kgPV-eq-1.

Inventario de ACV

La segunda etapa es el desarrollo del inventario del ciclo de vida, que en forma clara y detallada describe los procesos e información utilizada para desarrollar el flujo productivo y estimación de emisiones (Molina, 2019). Por lo tanto, se debe obtener información sobre todo el material y energía que entra e igualmente se registran todas las salidas, como lo serían las excretas, contaminantes, gases y otros desechos sólidos, tomando en cuenta todos los posibles subproductos y el producto principal de la unidad pecuaria (SIAC, 2006).

De acuerdo con intervenciones previas que han permitido contar con una base de datos sólida sobre el manejo del Modulo de Producción Bovinos Doble Proposito del CEIEGT, se recolectó la información de la UPP. Con esta información se determinó la superficie para cada tratamiento con diferente CA, la cantidad de tierra destinada al pastoreo, al cultivo de forrajes y la sala de ordeña; también se determinó la composición de la dieta, la cantidad de alimento ofrecido y el inventario animal. Además, se obtuvieron los parámetros productivos y reproductivos y el manejo de las excretas.

Para que la información de este ACV sea de valía en la construcción del inventario de emisiones de GEI en forma regional y evitar duplicidad de contabilización de emisiones, no se consideró dentro del estudio insumos que correspondan a otros sectores como el agrícola o el industrial, por ejemplo: los fertilizantes y los combustibles que consuman las UPP.

Evaluación del impacto

En esta etapa se detallan los procesos para la estimación de emisiones en relación con la UF. Con la información previa se estimaron los impactos del Potencial de Calentamiento Global y Uso de Suelo. El Potencial de Calentamiento Global (PCG) se estandarizó a emisiones de GEI en kgCO₂-eq, utilizando los equivalentes de PCG a 100 años de 1, 25 y 298 para CO₂, CH₄ y N₂O, respectivamente (IPCC, 2006). En el cálculo del PCG, se incluyeron las emisiones de metano de



la fermentación entérica y del manejo de las excretas a nivel de potrero y por su deposición en las praderas.

Para la estimación de metano, producto del manejo de las excretas se calculó con base en el Tier 2 del IPCC (2006). Las fuentes de óxido nitroso estuvieron relacionadas a las excreciones de nitrógeno vía estiércol y orina, en concordancia con las recomendaciones del IPCC, Tier 2 (IPCC, 2006; Molina, 2019). Es importante resaltar que la excreción de nitrógeno fue calculada como el total de nitrógeno remanente que no se convirtió en leche o carne y de acuerdo a los lineamientos del IPCC (2006).

El uso de suelo considerado en este estudio fue en su mayoría aquel que se utilizó para pastoreo continuo para cada CA y en menor superficie el suelo utilizado para la producción de cultivos forrajeros, instalaciones, caminos y otros.

Interpretación del ciclo de vida

La cuarta y última etapa es la interpretación del análisis, donde se exponen los resultados y su interpretación. Para el cálculo del Potencial de Calentamiento Global se usó un modelo de Excel automatizado, construido bajo la metodología “Tier 1 y 2” del IPCC (2006). En este se desarrolló el Inventario de ciclo de vida para la producción del hato bovino, la alimentación del ganado y la productividad de los potreros, para que el modelo calcule las emisiones producto del metabolismo animal y el manejo del estiércol para la producción de metano y óxidos nitrosos como principales GEI en la producción pecuaria. Finalmente, se realizó un análisis estadístico utilizando el análisis de varianza (ANOVA) para determinar la incertidumbre entre las emisiones de GEI, uso de suelo o productividad entre los tres tratamientos con su respectiva carga animal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 2 se observan las emisiones de los GEI por cada tratamiento. El tratamiento de mayor emisión fue el T4, seguido del T3. El T2 fue en donde se observó una menor cantidad de GEI. No obstante, no hubo una diferencia estadística significativa en cuanto a la emisión de gases entre carga animal, pero existió una relación directamente proporcional entre la carga animal y la cantidad de GEI producidos, respectivamente.

En el caso de la fuente de emisión, los tratamientos se comportaron de manera similar como se puede observar en la Figura 2, el metano producido por fermentación entérica tuvo la mayor contribución con un 72%, seguido por el metano producido por el manejo de excretas con un 18% y finalmente los óxidos nitrosos con un 10%, aproximadamente. Aunque son porcentajes muy similares destacamos que el T3 presenta un porcentaje ligeramente mayor en CH₄ entérico con un 71.92%, en CH₄ producido por el manejo de excretas con un 18.12%. Por lo contrario, la producción de N₂O representa el 9.94% siendo el porcentaje ligeramente más bajo comparado con el T2 y T4.



Cuadro 2. Distribución de las emisiones de GEI en los tres tratamientos por fuente de emisión en kgCO₂-eq kgPV-eq-1

Tratamiento	T2	T3	T4
Carga animal (vaca/ha ⁻¹)	2	3	4
CH ₄ -Ruminal	1.431	1.504	2.667
CH ₄ -MEx	0.36	0.379	0.672
CH ₄ -Total	1.791	1.883	3.339
N ₂ O-Total	0.201	0.208	0.382
Total	1.992	2.091	3.721

CH₄-Ruminal: metano producido por fermentación entérica. CH₄-MEx: metano producido por el manejo de excretas. CH₄-Total: total de metano emitido. N₂O-Total: total de óxidos nitrosos emitidos. Total: Total de GEI emitidos.

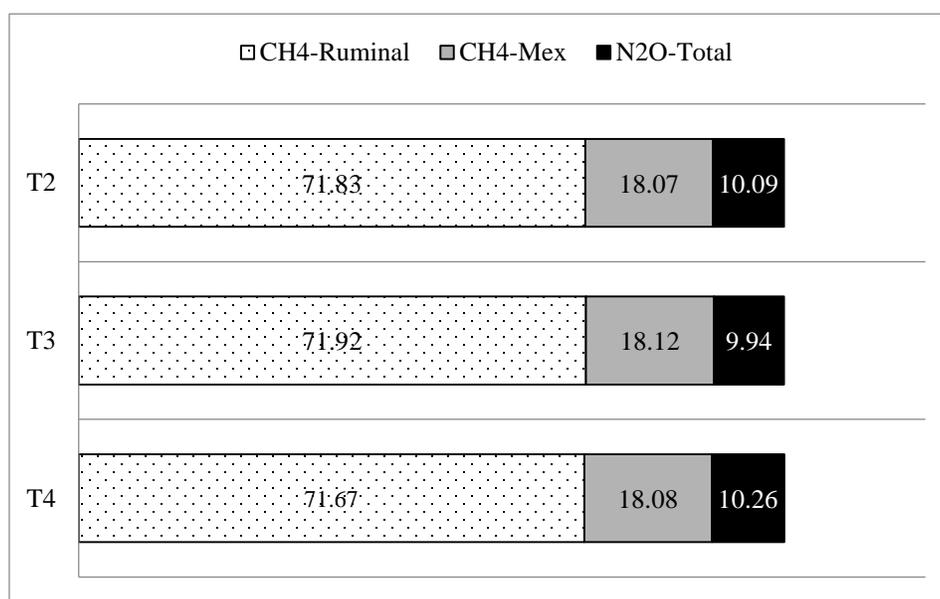


Figura 2. Porcentaje de los principales gases de efecto invernadero emitidos por cada tratamiento.

CONCLUSIONES

La principal fuente de emisión en los tres tratamientos estudiados fue el de CH₄ de la fermentación entérica. En la mayoría de los estudios realizados, la producción de CH₄ entérico es la de mayor proporción dentro del PCG total, con rangos del 51 al 87% del total de los GEI emitidos (Rivera *et al.*, 2016; De Figueiredo *et al.*, 2017). Este es seguido por CH₄ producido por el manejo de las excretas, ya que este no lleva ningún manejo después de su deposición por los animales en el potrero. Pese a que sus porcentajes son menores al CH₄ entérico producido en esta investigación, fueron muy altos a los encontrados por Molina *et al.* (2019) en donde evaluaron tres sistemas ganaderos tropicales en el estado de Campeche, México, encontrando porcentajes cercanos al 3%. El N₂O es un gas que en sistemas extensivos no causa un impacto tan alto por el manejo de las



excretas, la mayor parte de las excretas es depositada directamente en los pastizales y una parte regresa a formar parte del ciclo de nutrientes en el suelo. La literatura reporta porcentajes de N₂O que va desde los 17 hasta los 29% del total de las emisiones (Opio *et al.*, 2013; Gaitán *et al.*, 2016), por lo tanto, en este trabajo el porcentaje de N₂O se encuentra por abajo del rango.

LITERATURA CITADA

- Antón-Vallejo, M. A. 2004. Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Projectes d'Enginyeria. España. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/94137>
- FAO. 2019. Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM) - Evaluación de las emisiones de gases de efecto invernadero y su potencial de mitigación. Disponible en: <http://www.fao.org/gleam/results/es/>
- De Figueiredo, E., S. B. Jayasundara, R. de Oliveira Bordonal, T. Teresinha Berchielli, R. Andrade Reis, C. Wagner-Riddle and N. La Scala. 2017. Greenhouse gas balance and carbón footprint of beef cattle in three contrasting pasture-management systems in Brazil. *Journal of Cleaner Production* 142: 420-431.
- Gaitán, L., P. Laderach, S. Graefe, I. Rao and R. Van der Hoeket. 2016. Climatesmart livestock systems: An assessment of carbón stock and GHG emissions in Nicaragua. *Plos one*. 11(12): 1-19.
- García, E. 1981. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 3a. ed. Instituto de Geografía, UNAM. México, D.F.
- Gerber, P. J., H. Steinfeld, B. Henderson, A. Mottet, C. Opio, J. Dijkman, A. Falcucci and G. Tempio. G. 2013. Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería – Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3437s.pdf>
- Hellweg, S. and L. Milà i Canals. 2014. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. Special section: Rethinking the global supply chain. *Science*. 344: 1109-1113.
- INECC. 2015. Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero. Disponible en: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
- IPCC. 2006. Emissions from livestock and manure management. En: IPCC. Guidelines for national greenhouse gas inventories, Volume 4: Agriculture, forestry and other land use. IGES. Japón.
- ISO. 2006a. Environmental management - LCA: Requirements and guidelines. ISO 14044. European Committee for Standardisation. Belgium.
- ISO. 2006b. Environmental management-LCA: Principles and framework. ISO 14040. European Committee for Standardisation. Belgium.
- ISO. 2007. ISO 14040: Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework.
- Jarillo-Rodríguez, J., E. Castillo-Gallegos, A. Flores-Garrido, A. F. Valles-de la Mora, B. Ramírez, L. Avilés, R. Escobar-Hernández and E. Ocaña-Zabaleta. 2011. Forage yield, quality and



- utilization efficiency on native pastures under different stocking rates and seasons of the year in the mexican humid tropic. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 13: 1-11.
- Molina, M., R. Olea Pérez, F. A. Galindo Maldonado and C. M. Arriaga Jordán. 2019. Life cycle assessment of three tropical livestock systems in Campeche, Mexico: Case of study. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 22: 127-141.
- Opio, C., P. Gerber, A. Mottet, A. Falcucci, G. Tempio, M. MacLeod, T. Vellinga, B. Henderson and H. Steinfeld. 2013. Greenhouse gas emissions from ruminant supply chains-A global life cycle assesment. Rome: Food anf Agricultura Organization of the United Nations (FAO).
- Rebitzer, G., T. Ekvall, R. Frischknecht, D. Hunkeler, G. Norris and T. Rydberg. 2004. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *Environ. Int.* 30 (5): 701-720.
- Rivera, J. E., J. Chará y R. Barahona. 2016. Análisis del ciclo de vida para la producción de leche bovina en un sistema silvopastoril intensivo y un sistema convencional en colombia. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 19: 237-251.
- SIAC. 2006. Life Cycle Assessment- Principles and Practice, U. S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio. Disponible en: <http://www.epa.gov/ORD/NRMRL/lcaccess/lca101.htm>.