

## Simulação de dois sistemas silvipastoris, avaliação de seu impacto ambiental, uso da terra e produtividade, no leste de Yucatán

## Simulation of two silvopastoral systems, evaluation of their environmental impact, land use and productivity, in eastern Yucatan

DOI: 10.34188/bjaerv6n1-051

Recebimento dos originais: 20/12/2022

Aceitação para publicação: 02/01/2023

### José Luis Palacios Santillán

pMVZ, Universidad Nacional Autónoma de México/ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Av. Universidad #3000, Colonia, C.U., Coyoacán, 04510 Ciudad de México

Dirección: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia/ Departamento de Etología, Fauna Silvestre y Animales de Laboratorio; Circuito Interior SN-Edificio 6, C.U., Coyoacán, 04510 Ciudad de México, CDMX

Correo: jossanmvz@gmail.com

### Rafael Olea Pérez

MVZ, Universidad Nacional Autónoma de México/ Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia  
Maestro en Reproducción Animal, Universidad Nacional Autónoma de México/ Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Philosophy Doctor, University of Newcastle upon Tyne, United Kingdom

Institución: Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Av. Universidad #3000, Colonia, C.U., Coyoacán, 04510 Ciudad de México

Dirección: Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia/ Departamento de Etología, Fauna Silvestre y Animales de Laboratorio; Circuito Interior SN-Edificio 6, C.U., Coyoacán, 04510 Ciudad de México, CDMX

Correo: perol@unam.mx

### RESUMEN

En vastas regiones tropicales de México la ganadería se practica de forma extensiva, en suelos delgados y forrajes poco nutritivos, que incrementan las emisiones de gases con efecto invernadero (eGEI). En este sentido, las unidades ganaderas de esta región deben usar fuentes alternativas de forraje para enfrentar el desafío de reducir su eGEI. Los sistemas silvopastoriles (SSP) con leguminosas nativas se han planteado como una alternativa viable. El objetivo de este estudio fue evaluar, a través de un modelo *in silico* (simulación del sistema), el impacto ambiental, el uso de la tierra y la productividad de SSP con leguminosas regionales en unidades de vaca-becerro en el este de Yucatán, México. Como estudio base, se llevó a cabo un análisis de ciclo de vida (LCA) para dos unidades vaca-becerro en la región. Luego, se calcularon y modelaron modificaciones relevantes para simular la operación con uno de los dos SSP: uno con *L. leucocephala* (SSP-leu) y el otro con *B. allicastrum* + *G. ulmifolia* (SPP-Ram) como forraje alternativo. Estos cambios en la fuente de forraje se centraron en la reducción de metano y el aumento de contenido de proteína de alimentación. El alcance del estudio fue de puerta a puerta de la unidad. La unidad funcional (UF) fue un kilogramo de peso vivo de bovino (ajustado a 18.5 % de proteína cruda) por hectárea y por año ( $\text{KgPV-aj}^{-1}\text{ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ ). Las categorías de impacto ambiental evaluadas fueron: potencial de calentamiento global (PCG en  $\text{KgCO}_2\text{-eq KgPV-aj}^{-1}$ ) y uso de suelo (US en  $\text{m}^2 \text{KgPV-aj}^{-1}$ ), de

acuerdo a las directrices del IPCC. En el presente estudio la productividad promedio fue de  $126.9 \pm 21.8$ ,  $149 \pm 25.5$  y  $169.2 \pm 32.4$  KgPV-aj<sup>-1</sup> para monocultivo, SSP-Leu y SSP-Ram, respectivamente. Para el PCG los valores fueron de  $34.9 \pm 2$ ,  $37.4 \pm 1.1$  y  $38.1 \pm 0.6$  KgCO<sub>2</sub>-eq KgPV-aj<sup>-1</sup> y el de US fue de  $80 \pm 14.1$ ,  $68 \pm 11.3$  y  $60 \pm 11.3$  m<sup>2</sup> KgPV-aj<sup>-1</sup> para Monocultivo, SSP-Leu y SSP-Ram, respectivamente. A pesar de la diferencia numérica, no hubo una diferencia estadística entre los sistemas para las variables evaluadas, ya sea para la implementación del SSP con Leucaena (SPP-Leu) o con Ramón + Guácimo (SPP-RAM), en unidades vaca-becerro. Finalmente, dado que es posible que la mejora de la dieta funcione en mayor medida en sistemas más productivos, se recomienda hacer simulaciones de SSP en unidades de doble propósito para complementar nuestros hallazgos.

**Palabras clave:** Sistemas Silvopastoriles, Impacto Ambiental, *in silico*, ACV.

## ABSTRACT

Livestock production is practiced in vast tropical regions of Mexico, on thin soils and fibrous fodder, generating large emissions of greenhouse gases (eGHG). In this matter, the livestock units of this region need to use alternative fodder sources to face the challenge of reducing their eGHG. Silvopastoral system (SSP) with native leguminosae have been a viable alternative. The objective of this study was to evaluate, through an *in silico* model (system simulation), the environmental impact, the land use and productivity of SSP with regional leguminosae on cow-calf systems in the eastern region of Yucatán, Mexico. As a baseline study, a life cycle assessment (LCA) was carried out for two cow-calf systems in the region. Then, relevant modifications were calculated and modeled to simulate the operation with one of two SSPs alternatives: one with *L. leucocephala* (SSP-Leu) and the other with *B. alicastrum* + *G. ulmifolia* (SSP-Ram) as alternative forage. This changes on forage source were focused on reducing methane emissions and increasing feed protein content. The boundaries of the system were established from door to door of the livestock unit. The functional unit (FU) was a kilogram of live weight (adjusted to 18.5 % crude protein). Productivity was measured as a FU per hectare and per year (KgLW-aj Ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup>). The environmental impact categories evaluated were: Global Warming Potential (GWP in KgCO<sub>2</sub>-eq KgLW-aj<sup>-1</sup>) and land use (LU in m<sup>2</sup> KgLW-aj<sup>-1</sup>), according to the IPCC guidelines. In the present study, the average productivity was  $126.9 \pm 21.8$ ,  $149 \pm 25.5$  and  $169.2 \pm 32.4$  KgLW-aj Ha<sup>-1</sup>year<sup>-1</sup> for monoculture, SSP-Leu and SSP-Ram, respectively. For the GWP, the values were  $34.9 \pm 2$ ,  $37.4 \pm 1.1$  and  $38.1 \pm 0.6$  kgCO<sub>2</sub>-eq KgLW-aj<sup>-1</sup>. Lastly, for LU the results obtained were  $80 \pm 14.1$ ,  $68 \pm 11.3$  and  $60 \pm 11.3$  m<sup>2</sup> KgLW-aj<sup>-1</sup> for Monoculture, SSP-Leu and SSP-Ram, respectively. Despite the numerical difference, there was no statistical difference between the systems for the variables evaluated, either for the implementation of the SSP with Leucaena (SSP-Leu) or with Ramón + Guácimo (SSP-Ram), in the cow-calf system. Finally, since it is possible that diet improvement will work out better in more productive systems, it is recommended to develop simulations of SSP on double purpose systems to complement our findings.

**Keywords:** Silvopastoral systems, environmental impact, simulation, LCA.

## 1 INTRODUCCIÓN

En las regiones tropicales de México, como Yucatán, la ganadería se practica de forma extensiva y en suelos inapropiados; lo que conlleva a una baja productividad de los pastos. Para implementar nuevos pastizales, se deforestan áreas de bosque o selva generando pérdida de biodiversidad, degradación y erosión del suelo, así como contaminación de recursos naturales. Esto

quebranta los ciclos biológicos y favorece la emisión de gases con efecto invernadero (eGEI) como el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (Murgueitio *et al.*, 2015). Los cuales, al estar asociados con la ganadería, representan uno de los principales retos asociados a este sector. Al buscar la reducción de las eGEI, los sistemas silvopastoriles (SSP) han sido propuestos como una alternativa sostenible, que permite mejorar la dieta y la productividad, así como reducir la dependencia de insumos externos. Con lo cual, se busca evitar la expansión de la frontera ganadera; además de contribuir a reducir las eGEI (Magaña Monforte *et al.*, 2006). Para evaluar el alcance de la implementación de estos sistemas, una de las herramientas más factibles son los ensayos *in silico* (modelación matemática y la simulación por computadora).

Los ensayos *in silico* han sido empleados en diferentes áreas del conocimiento; siendo una metodología muy común en el estudio de sistemas (Fina *et al.*, 2013). Este tipo de ensayos nos permite tener aproximaciones de la realidad con menor inversión de recursos y tiempo. Así, poder tomar decisiones o determinar si es viable implementar alguna tecnología. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de la implementación de SSP con leguminosas forrajeras, de la zona, como: Leucaena (*L. leucocephala*) o Ramón (*B. allicastrum*) más Guácimo (*G. ulmifolia*) sobre la productividad, las eGEI y el US en los sistemas vaca-becerro de la región oriente de Yucatán usando modelajes de simulación *in silico*.

## 2 MATERIAL Y MÉTODOS

### Área de estudio

Este estudio se realizó en la región tropical del oriente de Yucatán, en el municipio de Espita, durante 2019. Tiene una precipitación pluvial anual de 1,000 mm, clima cálido Aw1 y temperatura media de 24.5°C (INAFED, n.d.).

Se seleccionaron, al azar, dos unidades de producción (UP) vaca-becerro que cumplieran los siguientes criterios: tener pastizales de monocultivo, contar con registros productivos de más de tres años continuos (registro de compras-ventas de insumos y servicios), y que tuvieran un manejo zootécnico similar entre las UP.

### Desarrollo del modelo

Para tener una modelación inicial, se realizaron Análisis de Ciclo de Vida de cada UP, posteriormente, se desarrollaron escenarios para simular la inclusión de Leucaena (SSP-Leu) y Ramón + Guácimo (SSP-Ram). Esto último se realizó a cada UP y se evaluó la productividad, así como el impacto ambiental. Para la evaluación ambiental se consideraron las categorías de potencial de calentamiento global (PCG) y uso de suelo (US) siguiendo las directrices del IPCC (2006). La

metodología del Análisis de Ciclo de Vida establece la definición de los límites del sistema, estandarizar la unidad funcional y las categorías de impactos a evaluar.

#### Límites del sistema, estandarización de unidad funcional y categorías de impacto ambiental.

El límite se definió de puerta a puerta, tomando como referencia la metodología de Molina-Rivera *et al.* (2019). Esta metodología involucra todos los procesos, y su interacción, llevados desde la entrada de insumos al sistema hasta la salida del producto. En este estudio el producto de las UP fueron animales a pie de corral. Dado que las animales pudieron ser tanto becerros como reproductores de desecho, se estandarizó una unidad funcional (UF) ajustando los contenidos de proteína cruda de cada producto para expresarse como: kilogramo de peso vivo de bovino, ajustado a 18.5% de proteína cruda ( $\text{KgPV-aj}^{-1}$ ).

Por otro lado, las categorías de impacto ambiental evaluadas fueron PCG y US. Para el PCG se incluyeron las emisiones de  $\text{CH}_4$  por fermentación entérica y  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  por manejo de excretas. para estandarizar las eGEI se utilizaron los equivalentes de forzamiento radiativo a 100 años de: 1, 28 y 265 para  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  respectivamente (INECC, 2018), para expresarse como: kilogramos de dióxido de carbono equivalente ( $\text{KgCO}_2\text{-eq}^{-1}$ ). El US considera la superficie ocupada como un recurso, al no estar disponible para otros usos. Se considera la superficie utilizada para producir una UF. Se expresó como: metros cuadrados por kilogramo de peso vivo ajustado ( $\text{m}^2 \text{KgPV-aj}^{-1}$ ). El US considerado fue solo donde se realizó pastoreo continuo, excluyendo zonas de manejo, caminos y brechas.

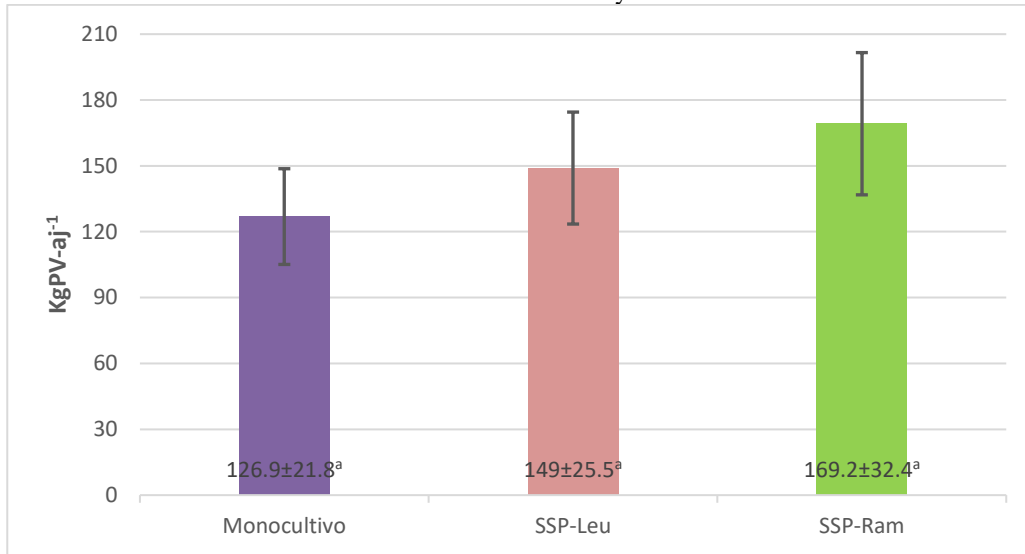
#### *Análisis estadístico*

Para determinar las diferencias entre PCG, US y productividad que presentaban las UP entre sí y entre las simulaciones, se realizó una prueba T de student para muestras interrelacionadas. Se utilizó el programa Excel®, de la paquetería Office® (Microsoft, 2016).

### **3 RESULTADOS**

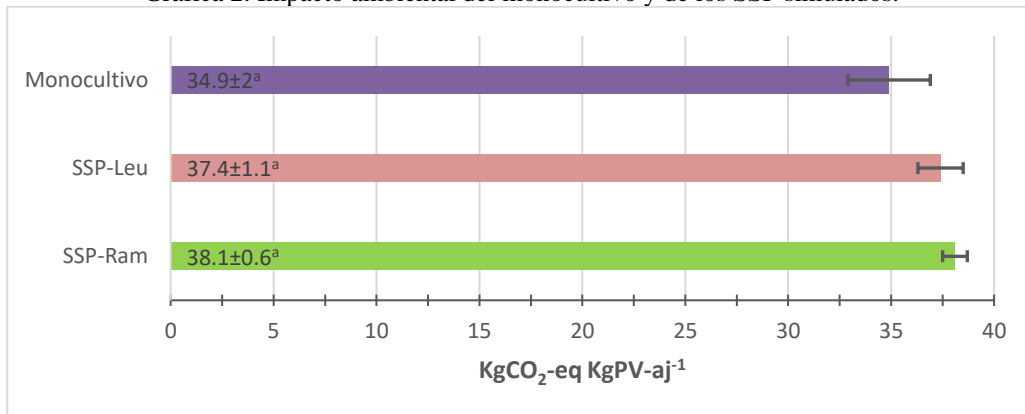
Los resultados se presentan en las gráficas 1.2 y 3

Gráfica 1. Productividad del monocultivo y de cada SSP simulado.



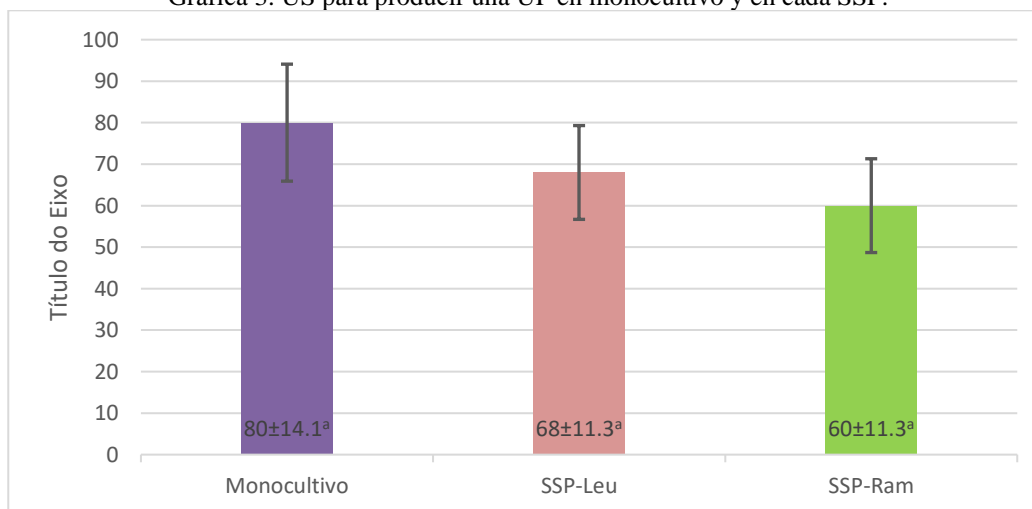
Literales diferentes en cada tipo de sistema tienen  $p < 0.05$

Gráfica 2. Impacto ambiental del monocultivo y de los SSP simulados.



Literales diferentes en cada tipo de sistema tienen  $p < 0.05$

Gráfica 3. US para producir una UF en monocultivo y en cada SSP.



Literales diferentes en cada tipo de sistema tienen  $p < 0.05$

#### 4 DISCUSIÓN

En el presente estudio se observa una productividad que va de  $126.9 \pm 21.8$  a  $169.2 \pm 32.4$  KgPV-aj<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> (Gráfica 1), la cual en sistema monocultivo es menor a lo reportado Molina-Rivera *et al.* (2019) en Campeche que fue de 129 y por Geffroy-López (2018) con  $228.6$  KgPV-aj<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> en Veracruz, ambos en sistemas monocultivo. Al implementarse los SSP (SSP-Leu y SSP-Ram) y compararse entre sí y con el monocultivo no hubieron diferencias significativas. Sin embargo, en los SSP hubo una tendencia a incrementar, la cual fue de aproximadamente 17% y de 33% , para SSP-Leu y SSP-Ram, respectivamente. Siendo mayor el efecto en la productividad, la implementación de SSP-Ram. La productividad en SSP-Leu fue de  $149 \pm 25.5$  y en SSP-Ram de  $169.2 \pm 32.4$  KgPV-aj<sup>-1</sup>. Estos datos son similares a los hallados por Molina-Rivera *et al.* (2019) y menores a los descritos por Geffroy-López (2018) quienes también evaluaron sistemas silvopastoriles en sus estudios y encontraron una productividad de 147 y 240.2 KgPV-aj<sup>-1</sup>, respectivamente.

El PCG del monocultivo, en este estudio, fue mayor que lo encontrado por Geffroy-López y Molina-Rivera con 12 y 19.5 KgCO<sub>2</sub>-eq<sup>-1</sup> en sistemas monocultivo y de 17.2 - 19 KgCO<sub>2</sub>-eq<sup>-1</sup> en SSP. Siendo el SSP-Ram el de mayor emisión con  $38.1 \pm 0.6$  y el monocultivo la de menor emisión con  $34.9 \pm 2$  KgCO<sub>2</sub>-eq<sup>-1</sup>. En las simulaciones de SSP ambas tienen emisiones mayores a las mencionadas con un rango de  $37.4 \pm 1.1$  -  $38.1 \pm 0.6$  KgCO<sub>2</sub>-eq<sup>-1</sup> en SSP-Leu y SSP-Ram (Gráfica 2). Cabe mencionar que a pesar de que no hubo diferencias significativas, se observó un incremento de las eGEI del 7% y del 9% en los SSP simulados (SSP-Leu y SSP-Ram), que está relacionado con una mejor calidad de la dieta (IPCC, 2006).

El US del monocultivo en el presente estudio fue de  $80 \pm 14.1$  m<sup>2</sup>KgPV-aj<sup>-1</sup> siendo menor a lo reportado por Molina-Rivera con 88.4 en sistemas monocultivo; en el SSP- Leu el US fue de  $68 \pm 11.3$  y en SSP-Ram  $60 \pm 11.3$  m<sup>2</sup>KgPV-aj<sup>-1</sup> ambas simulaciones con menor US a lo encontrado por Molina-Rivera con 87.6 m<sup>2</sup>KgPV-aj<sup>-1</sup> en SSP. En las simulaciones SSP-Ram fue la que mejor eficiencia en el US tuvo en comparación al SSP-Leu.

No se hallaron diferencias estadísticas significativas de que la implementación de SSP ya sea con Leucaena o Ramón + Guácimo, contribuyan a incrementar la productividad, disminuir las eGEI y el US.

#### 5 CONCLUSIONES

Los SSP-Leu o SSP-Ram no contribuyen a incrementar la productividad ni a disminuir el PCG y el US en la región oriente de Yucatán. Coincidiendo con lo reportado por Molina-Rivera en Campeche, quien no halló diferencia entre los tipos de sistemas de pastoreo. En cambio, encontró

una relación, debido al sistema de producción, entre su productividad e impacto ambiental. Detectando, que los sistemas de doble propósito tuvieron una mayor productividad y un menor impacto ambiental que los sistemas vaca-becerro.

En contexto con lo anterior, se recomienda simular el cambio de sistema productivo de vaca-becerro a doble propósito para evaluar si existe diferencia, en productividad, PCG y US, entre estos tipos de sistemas en la región oriente de Yucatán.

### **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimientos a la Asociación Ganadera Local de Espita, Yucatán (AGL-E) y a los productores que participaron y contribuyeron al desarrollo de este estudio.

## REFERENCIAS

1. Fina, B. L., Lombarte, M., & Rigalli, A. (2013). Investigación De Un Fenómeno Natural: ¿Estudios in Vivo, in Vitro O in Silico? *Actual. Osteol*, 9(3), 239–240. [http://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/21655/CONICET\\_Digital\\_Nro.25729.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/21655/CONICET_Digital_Nro.25729.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
2. Geffroy-López, M. (2018). Análisis de Ciclo de Vida en tres sistemas de producción de becerros en el estado de Veracruz. Tesis de licenciatura. FMVZ-UNAM.
3. IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Inventories Programme. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4\\_Volume4/V4\\_10\\_Ch10\\_Livestock.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf)
4. Magaña Monforte, J. G., Ríos Arjona, G., & Martínez González, J. C. (2006). Los sistemas de doble propósito y los desafíos en los climas tropicales de México. *Arch. Latinoam. Prod. Anim.*, 14(3), 105–114.
5. Molina-Rivera, M., Olea-Pérez, R., Galindo-Maldonado, F., & Arriaga-Jordán, C. (2019). Análisis de ciclo de vida de tres sistemas ganaderos tropicales en Campeche, México: Caso de estudio. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22, 127–141.
6. Murgueitio, E., Barahona, R., Flores, M. X., Mauricio, R. M., & Molina, J. J. (2015). The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(4), 541–554