



## ANÁLISIS COMPARATIVO DE DOS HERRAMIENTAS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD GANADERA EN EL CONTEXTO MEXICANO †

### [COMPARATIVE ASSESSMENT OF TWO TOOLS FOR EVALUATING LIVESTOCK SUSTAINABILITY: IN THE MEXICAN CONTEXT]

Adriana Rivera-Huerta<sup>1</sup>, Fernanda Pérez-Lombardini<sup>2</sup>,  
Francisco Galindo Maldonado<sup>2</sup>, María de la Salud Rubio Lozano<sup>2</sup>  
and Leonor Patricia Güereca<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000 Coyoacán, Ciudad Universitaria, 04510, México City, México. Tel.: +52 (55) 56 23 36 00 ext. 8706. E-mail address: LGuerecaH@ingen.unam.mx

<sup>2</sup>Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Coyoacán, Ciudad Universitaria, 04510, México City, México.

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background.** In the future, the production of cattle will be increasingly affected by the reduction of natural resources, particularly land and water, and by the competition between food and feed, therefore, the evaluation of the sustainability of production systems, is increasingly important. **Objective.** The objective of this study was to identify the strengths and weaknesses of the Sustainability of Food and Agricultural Systems (SAFA) and Life Cycle Assessment (LCA) methodologies, as tools to assess the sustainability of cattle production systems. **Methodology.** The SAFA and LCA methodologies were theoretically evaluated and applied to three production systems for grazing cattle in the Mexican tropics. **Results.** The results show that the advantages of SAFA with respect to LCA are: having a friendlier and more agile format and not requiring expert evaluators for its management, however, it has the disadvantage that it does not allow for accurate identification, within 21 topics that it evaluates, of the results of each indicator (116 in total). This could hinder the proposal of measures to improve the performance of the systems. While LCA is a methodology by which objective, detailed and standardized evaluations are carried out, but the disadvantages of this tool are that it requires experts and can be more expensive than SAFA due to the use of specialized software. **Implications.** The results of this study help to identify the strengths and weaknesses of SAFA and LCA methodologies, allowing evaluators of the sustainable performance of livestock systems to decide which methodology suits their interests. **Conclusion.** It is concluded that both tools are useful for evaluating the sustainability of livestock systems but with different objectives and scopes. Likewise, the validity of the results in both methodologies depends on the quality, veracity and transparency of the data used.

**Keywords:** Livestock sustainability; LCA; SAFA; Mexico; tools to assess sustainability.

#### RESUMEN

**Contexto.** En el futuro, la producción de ganado bovino se verá cada vez más afectada por la reducción de recursos naturales, particularmente tierra y agua, y por la competencia entre alimentos y piensos, por lo que la evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de producción es cada vez más importante. **Objetivo.** El objetivo de este estudio fue identificar las fortalezas y debilidades de las metodologías Sostenibilidad de los Sistemas Alimentarios y Agrícolas (SAFA) y Análisis de Ciclo de Vida (ACV), como herramientas para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de producción bovina. **Metodología.** Las metodologías SAFA y ACV se evaluaron de forma teórica y se aplicaron a tres sistemas de producción de ganado bovino en pastoreo en el trópico mexicano. **Resultados.** Los resultados muestran que las ventajas de SAFA con respecto al ACV son: contar con un formato más amigable y ágil y no requerir de evaluadores expertos para su manejo, sin embargo, tiene la desventaja de que no permite identificar con precisión los resultados de cada indicador (116 en total), dentro de los 21 temas que evalúa. Lo anterior, podría dificultar proponer medidas para mejorar el desempeño de los sistemas. Por su parte el ACV, mostró ser una metodología que permite hacer evaluaciones objetivas, detalladas y estandarizadas, pero requiere expertos y puede ser más costosa que SAFA debido al uso de software especializados. **Implicaciones.** Los resultados de este estudio contribuyen a identificar las fortalezas y las debilidades de las metodologías SAFA y ACV, permitiendo a los evaluadores del desempeño sostenible de los sistemas ganaderos a decidir que metodología se adapta más a sus intereses. **Conclusión.** Se concluye que las dos herramientas son útiles para evaluar la sostenibilidad de los sistemas ganaderos, pero tienen diferentes objetivos y

† Submitted March 28, 2019 – Accepted July 23, 2020. This work is licensed under a CC-BY 4.0 International License.  
ISSN: 1870-0462.

alcances. Asimismo, la validez de los resultados en ambas metodologías depende de la calidad, veracidad y transparencia de los datos utilizados.

**Palabras clave:** Sostenibilidad pecuaria; ACV; SAFA; México; herramientas para evaluar la sostenibilidad.

## INTRODUCCIÓN

Desde la década de los 70s el consumo de alimentos de origen animal, especialmente de carne, ha tenido un incremento importante alrededor del mundo (FAO, 2009). El crecimiento de la demanda de este alimento ha supuesto una gran oportunidad de desarrollo para cerca de mil millones de personas que dependen de la ganadería y la producción de carne, particularmente de res; sin embargo, esta demanda se ha asociado a impactos negativos en el clima, fundamentalmente por las emisiones de gases de efecto invernadero, la deforestación, la erosión de suelos y el deterioro de cuerpos de agua (Steinfeld *et al.*, 2006; FAO, 2009; Herrero *et al.*, 2010). La magnitud de los impactos de la ganadería se debe a que aproximadamente 31.5 millones de km<sup>2</sup> de suelo (20–30% de la superficie total del planeta) se utilizan para el pastoreo. Una tercera parte de la superficie bajo cultivo agrícola se utiliza como complemento alimenticio del ganado; y, además, se requieren aproximadamente 16,000 litros de agua por cada kilogramo de carne producida. También esta actividad es fuente primaria de nitrógeno reactivo en el aire y agua a partir del estiércol del ganado (Herrero *et al.*, 2009; Janzen, 2011).

En México, la ganadería ocupa cerca de 1.1 millones de km<sup>2</sup> (56% de la superficie del territorio nacional), siendo los trópicos la zona de mayor producción ganadera (35.4% del inventario nacional) y la de mayor expansión, fundamentalmente en la región del sureste del país. En las últimas décadas, estas zonas se han convertido en el proveedor principal de becerros para engorda en corrales nacionales y de carne en canal para el abasto a nivel nacional (INEGI, 2016). Por años, y con el propósito de optimizar la productividad ganadera en los trópicos, se han ido implementando sistemas pastoriles a base de monocultivo. El sistema de monocultivo reduce la diversidad genética vegetal y propicia la degradación del suelo, además de que incrementa la demanda de insumos externos (agua de riego, fertilizantes, plaguicidas, entre otros). Ante tal evidencia, han surgido alternativas como el modelo silvopastoril que ofrece una mayor viabilidad social, ecológica y productiva (Broom *et al.*, 2013). En un estudio reciente mediante ACV realizado en Colombia, en el que se comparan los impactos ambientales de la producción lechera en dos sistemas productivos, uno silvopastoril y otro tradicional (monocultivo), los resultados muestran que el sistema silvopastoril genera menos emisiones que el convencional (2.05 vs. 2.34 kg CO<sub>2</sub>-eq) y además usa menos energía (3.64 contra 5.81 kg Mj-1) por litro de leche producida (Rivera *et al.*, 2016).

Evaluar los modelos de producción es primordial, por lo que entre los Objetivos del Desarrollo Sostenible establecidos en el año 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) (UN, 2015), se incluye el desarrollo de un método de análisis (cualitativo y/o cuantitativo) que identifique los puntos críticos en la actividad ganadera y que brinde un soporte en la toma de decisiones para mejorar los sistemas de producción que permitan su tránsito a modelos sostenibles.

Actualmente existe una gran variedad de herramientas encaminadas a la evaluación del desempeño de la sostenibilidad de los sistemas agropecuarios, entre ellas: RISE (Response Inducing Sustainability Evaluation), IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles), MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sostenibilidad), SAFA (Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems) y ACV (Análisis de Ciclo de Vida) (de Olde *et al.*, 2016; de Olde *et al.*, 2017), esta última metodología no es específica para sistemas agropecuarios pero tiene un amplio potencial de uso en este sector.

Recientemente, varios estudios han hecho revisiones teóricas de las metodologías SAFA y ACV comparando sus indicadores y sus alcances y han evaluado la sostenibilidad del campo mexicano (Rivera-Huerta *et al.*, 2016; Pérez-Lombardini, 2017; Tonolli y Ferrer, 2018). El objetivo de este artículo fue contrastar las dos metodologías, una cuantitativa y otra cualitativa, a través de un análisis teórico y aplicado a tres sistemas productivos de ganado en el sureste de México. Los resultados incluyen la identificación de fortalezas y debilidades identificadas para cada metodología.

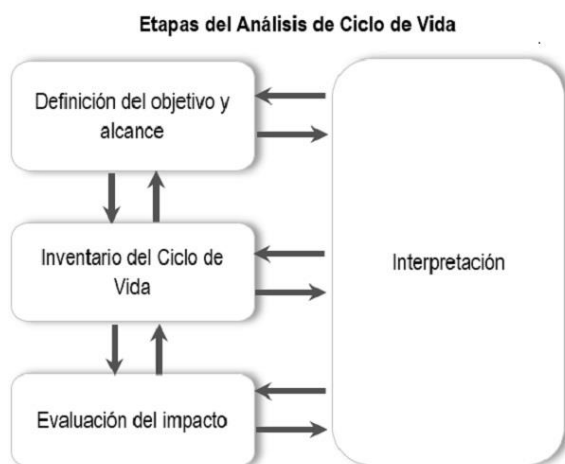
### Descripción teórica del ACV y SAFA

#### Análisis de ciclo de vida (ACV)

El Análisis de Ciclo de Vida es una herramienta que permite evaluar de forma objetiva, sistémica y científica los impactos ambientales de productos o servicios durante su ciclo de vida. En el análisis se consideran las etapas de extracción y procesamiento de las materias primas, producción, transporte, uso y disposición final (ISO, 2006a).

**ACV Ambiental.** La Norma ISO 14040 (Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Principios y marco de referencia) (ISO, 2006a) define el ACV como una metodología que evalúa el desempeño ambiental a lo largo del ciclo de vida de un producto o servicio, mediante la recopilación de un inventario de

las entradas (materias primas, recursos y energía) y salidas del sistema (emisiones a la atmósfera, agua y suelo) (McDougall *et al.*, 2001; Güereca *et al.*, 2006; ISO, 2006a). Se evalúa el potencial de impacto ambiental de productos o servicios, de acuerdo con categorías (por ejemplo, cambio climático, eutrofización, toxicidad humana) y se interpretan los resultados para cada etapa del ciclo de vida del producto con relación a los objetivos del estudio planteado. El ACV consta de cuatro etapas: (a) definición de objetivo y alcance, (b) inventario de ciclo de vida, (c) evaluación del impacto e (d) interpretación del ciclo de vida. Las cuatro etapas están representadas en la Figura 1 y se explican brevemente a continuación.



**Figura 1.** Estructura del Análisis de Ciclo de Vida (ISO 14040, 2006).

El objetivo y el alcance del estudio se definen en la primera etapa. en ella se documentan los motivos para llevar a cabo el estudio, la aplicación prevista del ACV y el público objetivo. En la etapa de definición de objetivo y alcance también se establecen los límites del sistema para aclarar qué se incluye en el estudio y qué se excluye. Finalmente, se define la unidad funcional, la cual proporciona la función que el producto debe cumplir. La segunda etapa es el inventario de ciclo de vida (ICV) que se refiere a la recopilación de datos. En esta etapa todos los procesos dentro de los límites del sistema se identifican y cuantifican en términos de entradas y salidas. El inventario de ciclo de vida es una colección de todas las entradas y salidas que incluyen todos los flujos de material y flujos de energía del producto a lo largo del ciclo de vida, todo en relación con la unidad funcional definida. Los insumos se relacionan con el consumo de recursos: recursos energéticos, recursos minerales y recursos renovables. Las salidas se relacionan con las emisiones de sustancias del sistema del producto al aire, al agua y al suelo. El resultado final es una compilación de todas las entradas y salidas. La tercera fase es la evaluación del impacto del

ciclo de vida real en la cual el ICV está conectado a los impactos ambientales. Para todas las entradas y salidas, los efectos ambientales se recopilan y clasifican en categorías de impacto. La última etapa es la interpretación del ciclo de vida, los resultados de las tres primeras etapas se evalúan en relación con la meta y el alcance con el objetivo de llegar a conclusiones y recomendaciones (ISO, 2006a). En la etapa de interpretación se deben identificar los principales contribuyentes a los impactos ambientales que se encuentran en la etapa de evaluación del impacto. También en la última se deben formular las conclusiones y recomendaciones del estudio (ISO, 2006a,2006b; van der Meer, 2019).

**ACV Social.** La metodología ACV, además de apoyar en la evaluación de impactos ambientales, también permite evaluar los impactos sociales y socioeconómicos de un producto o servicio mediante la metodología Análisis de Ciclo de Vida Social (ACV social), la cual sigue el marco general ACV ambiental, basada en las etapas descritas por la ISO 14040/14044 (Gestión ambiental - Evaluación del ciclo de vida - Requisitos y directrices) (ISO, 2006a; 2006b). El ACV social está definido en las guías UNEP/SETAC (UNEP/SETAC, 2009) e incluye cinco grupos de interés: trabajadores, comunidad local, sociedad, consumidores y actores de la cadena de valor, así como seis categorías de impacto que abarcan 31 indicadores en total (también denominados subcategorías). Las categorías de impacto identificadas son: 1) derechos humanos, 2) condiciones de trabajo, 3) salud y seguridad, 4) patrimonio cultural, 5) gobernanza y 6) repercusiones socioeconómicas. El ACV social, utiliza el marco metodológico del ACV; sin embargo, aún no se encuentra estandarizada la forma de evaluación de los indicadores, siendo el enfoque de desempeño la forma más común de evaluación. En esta forma de evaluación se pueden utilizar datos cualitativos o semicuantitativos y a través de una escala nominal se obtienen niveles de desempeño, definidos con el cumplimiento o incumplimiento de determinados criterios denominados valores de referencia. La subjetividad de esta evaluación puede reducirse al comparar los datos con normativas o estándares nacionales e internacionales aplicables al caso (Franze y Citroth, 2011).

Los “impactos sociales” se definen en ACV social como las consecuencias de las interacciones sociales tejidas en el contexto de una actividad (*i.e.*, producción, consumo o disposición) y/o generadas por ella. Los impactos sociales están asociados a tres causas (UNEP/SETAC, 2009): 1. comportamientos: es decir, una decisión (*e.g.*, prohibir a los empleados formar sindicatos); 2. procesos socioeconómicos: se considera que los impactos sociales son el efecto final de las decisiones socioeconómicas a nivel macro y micro (*e.g.*, una decisión de inversión en un sector para construir infraestructura en una comunidad) y, capitales (humano, social, cultural): los impactos sociales pueden

generarse a partir del contexto original, es decir de atributos poseídos por un individuo, un grupo o una sociedad (e.g., el nivel de educación) y pueden ser positivos o negativos.

En resumen, y de acuerdo con sus características, el ACV es una herramienta metodológica que apoya en la identificación de los puntos críticos del ciclo de vida de un producto o servicio con la finalidad de alcanzar mejoras ambientales y sociales. Además, permite comparar los impactos de productos o servicios, siempre y cuando tengan la misma función, lo que apoya a los tomadores de decisiones para seleccionar aquellos menos dañinos al ambiente y socialmente más aceptables, estableciendo un criterio general hacia la producción de bienes y servicios que favorezcan la sostenibilidad.

### **Sostenibilidad de los Sistemas Alimentarios y Agrícolas (SAFA)**

La metodología SAFA fue desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) con el objetivo de aumentar el entendimiento de la sostenibilidad en el sector productivo de alimentos. Esta herramienta permite evaluar una o más entidades que forman parte de una cadena de valor relacionada con la agricultura, los bosques, la pesca o la acuicultura (Entidad es utilizada en SAFA para referirse a la unidad de análisis, la cual puede ser tanto una pequeña o gran empresa (e.g., rancho, granja, plantas de transformación de alimentos o puntos de venta). SAFA se presenta en forma de una plataforma informática de acceso gratuito que permite tener una evaluación holística o integral del desempeño sostenible que las entidades económicas (grandes o pequeñas compañías de productores, distribuidores, entre otros.) tienen desde el lugar donde realizan la producción primaria hasta donde realizan la venta de los productos finales. El método consta de cuatro etapas, que son el mapeo, la contextualización, la evaluación de indicadores y el reporte. El instrumento integra las cuatro dimensiones de la sostenibilidad: la integridad ambiental, la resiliencia económica, el bienestar social y la buena gobernanza (FAO, 2013). En SAFA las dimensiones de la sostenibilidad se asocian a 21 temas que reflejan el desempeño de 58 subtemas integrados por un total de 116 indicadores. Los temas evaluados de acuerdo a las cuatro dimensiones de la sostenibilidad son: Buena Gobernanza (Ética corporativa, Contabilidad, Participación, Estado de derecho, Manejo holístico), Integridad Ambiental (Atmósfera, Agua, Tierra, Materiales y energía, Biodiversidad y Bienestar animal), Resiliencia Económica (Inversión, Vulnerabilidad, Información y Calidad de producto, Economía local) y Bienestar Social (Calidad de vida digna, Comercio justo, Derecho laboral, Equidad, Seguridad y salud humana y Diversidad cultural). La valoración se hace a partir de datos cualitativos y cuantitativos cuyos resultados pueden ser representados por colores basados

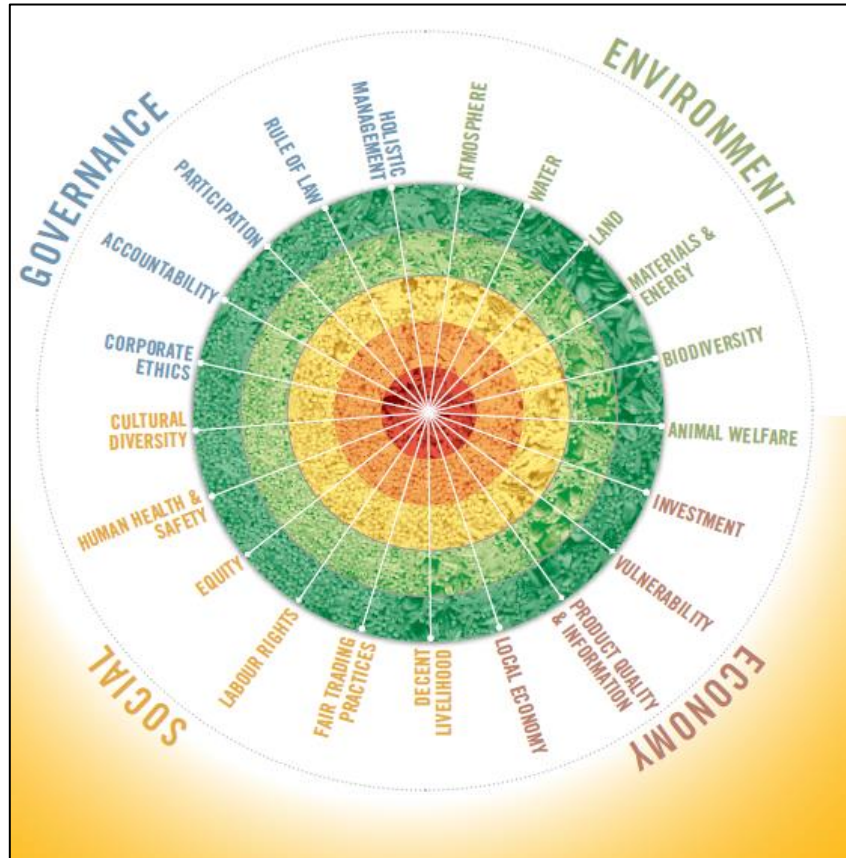
en una escala porcentual para medir el rendimiento de la actividad: inaceptable (rojo/0 -20%), limitado (naranja/20-40%), moderado (amarillo/40-60%), bueno (verde claro/60-80%) o ideal (verde oscuro/80-100%). Los resultados se presentan mediante el “polígono de la sostenibilidad” (Figura 2), el cual representa el desempeño de cada uno de los 21 temas asociados a las cuatro dimensiones de la sostenibilidad evaluadas. Es importante mencionar que en las evaluaciones realizadas mediante SAFA el papel del asesor o experto que desarrolle el diagnóstico es determinante, debido a que a lo largo de la evaluación tendrá que aplicar su criterio (Tonolli y Ferrer, 2018). Para el uso de SAFA el experto deberá elegir o proponer los indicadores más relevantes del estudio de acuerdo con el tipo de actividad que se evaluará, después se recolectarán los datos de las mejores fuentes disponibles y finalmente se calificarán los indicadores de manera objetiva y precavida. Además, SAFA recomienda al experto consultar a otros expertos en diferentes áreas. Para llevar a cabo la calificación de los indicadores, SAFA presenta los valores extremos de cada indicador, es decir, los valores correspondientes al mejor desempeño y al inaceptable. Los valores de los niveles intermedios (bueno, moderado, limitado) deberán ser establecidos por el experto, quien tendrá que contextualizar cada indicador de acuerdo con la información disponible en la región o de la industria para así establecer los umbrales apropiadamente.

## **MATERIALES Y MÉTODO**

El estudio es un análisis comparativo de SAFA y ACV que consistió en tres pasos: el análisis teórico de las metodologías identificando sus fortalezas y debilidades, posteriormente se aplicaron las dos herramientas metodológicas a tres sistemas de producción de ganado en México y finalmente se hizo el análisis comparativo de los resultados. Estos pasos son explicados a continuación.

### **Análisis teórico de fortalezas y debilidades de SAFA y ACV**

Las Normas ISO 14040 e ISO14044 (ACV Ambiental), las Directrices de la UNEP/SETAC para el ACV Social, así como las directrices y el manual de indicadores de SAFA (ISO, 2006a; ISO, 2006b; UNEP/SETAC, 2009; FAO, 2013) son el marco teórico para contrastar ambas metodologías. Este paso del estudio incluyó: el enfoque y el alcance de las evaluaciones llevadas a cabo con las dos herramientas metodológicas, las dimensiones de la sostenibilidad que evalúan, el tipo de indicadores, las herramientas informáticas de evaluación que utilizan, el perfil del usuario a quien están dirigidas, si los resultados permiten el análisis objetivo de desempeño y si permiten la realización de comparaciones con otros estudios (interpretación y comunicación de resultados).



**Figura 2.** Polígono de la sostenibilidad SAFA (FAO, 2013).

### Aplicación de SAFA y ACV en tres sistemas de producción de ganado en México.

Las metodologías SAFA y ACV fueron aplicadas a tres sistemas de producción de ganado bovino en pastoreo: monocultivo (Mc), silvopastoril intensivo (SI) y silvopastoril nativo o monte (SN) en Yucatán, México. El sistema de Mc se caracteriza por basar la alimentación del ganado en cultivos forrajeros en potreros. El SI combina varios estratos de vegetación como base de la alimentación, un estrato herbáceo (gramíneas y leguminosas), un estrato arbustivo de alta densidad con *Leucanea leucocephala* y un tercer estrato de árboles para la producción de madera o frutas y palmas. El sistema SN se asocia a una alimentación basada en vegetación nativa. De los tres sistemas productivos, el SN se caracteriza por tener la menor inversión en tecnología e instalaciones.

Para la aplicación de las metodologías, se seleccionaron un total de nueve unidades de producción pecuaria (UPP), tres por cada uno de los sistemas de producción

evaluados.-La función zotécnica de las UPPs analizadas, es la producción de becerros o el doble propósito. En la Tabla 1 se describen las características de cada una UPPs incluidas en el estudio.

El ACV y SAFA fueron aplicados a cada una de las UPPs. La evaluación incluyó: a) el diseño de los instrumentos para la recolección de información; b) el levantamiento de datos; y c) el análisis de la información. Por lo que, en esta etapa del estudio, se diseñaron cuestionarios específicos para los ganaderos, los trabajadores y para la comunidad local. La recolección de la información se hizo mediante entrevistas semiestructuradas a los ganaderos y a los trabajadores de las UPPs y mediante encuestas a la comunidad local. El análisis de los datos mediante el ACV se hizo con el software SimaPro Pré Consultants versión 3.1.1, y para SAFA se utilizó la versión beta 2.1.50 de esta plataforma. La comparación de las metodologías se basó en el análisis de las dimensiones ambiental y social del ACV y en las cuatro dimensiones que evalúa SAFA (integridad ambiental, resiliencia económica, bienestar social y buena gobernanza).

**Tabla 1. Descripción de las unidades de producción pecuaria estudiadas.**

Sistema de pastoreo	Producción	Superficie (ha) <sup>1</sup>	Número de hembras en producción	Ubicación/Municipio
Monocultivo	Becerras	700	83	Tizimín, Yucatán
Monocultivo	Becerras	46	46	Tzucacab, Yucatán
Monocultivo	Doble Propósito	20	57	Mérida, Yucatán
Silvopastoril intensivo	Becerras	123	42	Tizimín, Yucatán
Silvopastoril intensivo	Becerras	32	48	Tzucacab, Yucatán
Silvopastoril intensivo	Doble propósito	100	40	Mérida, Yucatán
Silvopastoril nativo	Becerras	200	137	Tizimín, Yucatán
Silvopastoril nativo	Doble propósito	45	11	Tzucacab, Yucatán
Silvopastoril nativo	Becerras	32	29	Mérida, Yucatán

<sup>1</sup>La superficie reportada, además del uso de suelo ganadero, incluye otros tipos de uso de suelo (*e.g.*, suelo de vegetación natural y suelo forestal maderable).

### Análisis comparativo de resultados

En este paso se compararon y discutieron los resultados de la aplicación de las metodologías SAFA y el ACV. Los resultados del análisis de las evaluaciones de la sostenibilidad mediante SAFA, están basados en Pérez-Lombardini (2017), quien evaluó tres sistemas de producción ganadera con esta herramienta. Mientras que los resultados del ACV utilizados en este estudio, fueron calculados específicamente para este análisis comparativo.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El resultado del análisis teórico de las metodologías SAFA y ACV, con base en seis características, se describe a continuación:

**Enfoque y alcance.** El ACV es un procedimiento sistemático y holístico, cuyo objetivo es evaluar el ciclo de vida de bienes o servicios. Esta metodología está fundamentada en una norma internacional (ISO 14040, 2006) que utiliza como unidad de cálculo la “unidad funcional”, elemento característico del ACV que permite comparar cualquier tipo de bien o servicio que tengan una función equivalente. Por otro lado, SAFA es una herramienta diseñada específicamente para la evaluación de entidades que forman parte del sector productivo de los alimentos y que permite el análisis de cadenas de producción completas o sólo alguno de los procesos que las conforman ya que los lineamientos

de esta metodología no obligan a su ejecución desde un enfoque de ciclo de vida.

**Dimensiones de la sostenibilidad evaluadas.** Las dimensiones de la sostenibilidad que son factibles de evaluar utilizando el marco metodológico de ACV son las dimensiones ambiental (ACV ambiental), social (ACV social) y económica (ACV económico). Mientras que SAFA está diseñada para evaluar cuatro dimensiones: “buena gobernanza”, “integridad ambiental”, “resiliencia económica” y “bienestar social”. Por lo tanto, SAFA tiene un espectro más amplio que el ACV para la evaluación de la sostenibilidad.

**Tipo de indicadores.** Las dos herramientas utilizan indicadores para la evaluación de varias dimensiones de la sostenibilidad, pero presentan diferencias en su cálculo, evaluación y forma de interpretación. Tanto el ACV como SAFA permiten seleccionar los indicadores que se incluirán en la evaluación de acuerdo a la relevancia del caso. En ACV, las categorías de impacto ambiental o social que se incluirán en el análisis deben ser especificadas y justificadas en la primera etapa de la metodología (objetivo y alcance). Por su parte, en SAFA se pueden elegir los temas e indicadores que se utilizarán, pero debe justificarse la omisión de aquéllos que no se incluirán.

Con relación a los indicadores sociales, el ACV social propone indicadores parecidos a los utilizados en las dimensiones “bienestar social” y “buena gobernanza” de SAFA. En cuanto a la evaluación ambiental, SAFA

plantea tres tipos de indicadores para la dimensión “integridad ambiental”: 1) indicadores basados en el desempeño; 2) indicadores basados en la práctica e 3) indicadores basados en metas. Los indicadores basados en el desempeño y los indicadores basados en la práctica son cuantitativos, y los indicadores basados en metas son cualitativos. En contraste, en el ACV ambiental, todos los indicadores (denominados categorías de impacto, *e.g.*, cambio climático, eutrofización, toxicidad humana), son de tipo cuantitativo.

Es importante destacar que los indicadores en el ACV ambiental, se expresan en unidades de las sustancias de referencia, representativas para cada categoría. Esto permite la comparación de los impactos a lo largo de las etapas del ciclo de vida de los bienes o servicios evaluados e incluso permite la comparación con otros estudios realizados con esta misma herramienta. Mientras que en SAFA, los resultados de los indicadores se integran en la evaluación general del tema al que correspondan, en una escala de desempeño porcentual y asociados a un color.

**Herramientas informáticas de evaluación.** Para el análisis de datos mediante el ACV, se han diseñado varios softwares especializados, los más utilizados son Umberto, GaBi y SimaPro, que para su manejo es necesario el entrenamiento por parte de expertos, por lo que es indispensable considerar el tiempo para la capacitación del evaluador cuando se desee hacer un ACV. Estos programas tienen un costo económico que puede ser alto. Mientras que en SAFA, el análisis está basado en una plataforma amigable para su manejo por lo que no requiere personal capacitado para su ejecución y tiene la ventaja de ser de acceso libre, no representando un gasto adicional para las entidades interesadas en conocer su desempeño en sostenibilidad.

**Perfil del usuario.** En cuanto al perfil del usuario u operador al que está dirigida cada herramienta metodológica, existe una diferencia principal. El ACV requiere la asesoría de expertos pues el tratamiento de los datos para la conformación del inventario de ciclo de vida es de tipo cuantitativo y requiere tanto precisión para su cálculo como conocimiento en el manejo de los softwares para la evaluación del impacto. En contraste, el análisis mediante SAFA puede ser realizado por interesados no especializados (*e.g.*, agricultores, empresarios o tomadores de decisiones) en el manejo de la herramienta, ya que esta metodología ofrece un marco muy flexible de acuerdo con el contexto y con el acceso a la información. Sin embargo, la facilidad en el manejo del programa no impide que los indicadores en SAFA también puedan ser construidos y evaluados con datos muy precisos obtenidos por expertos y científicos.

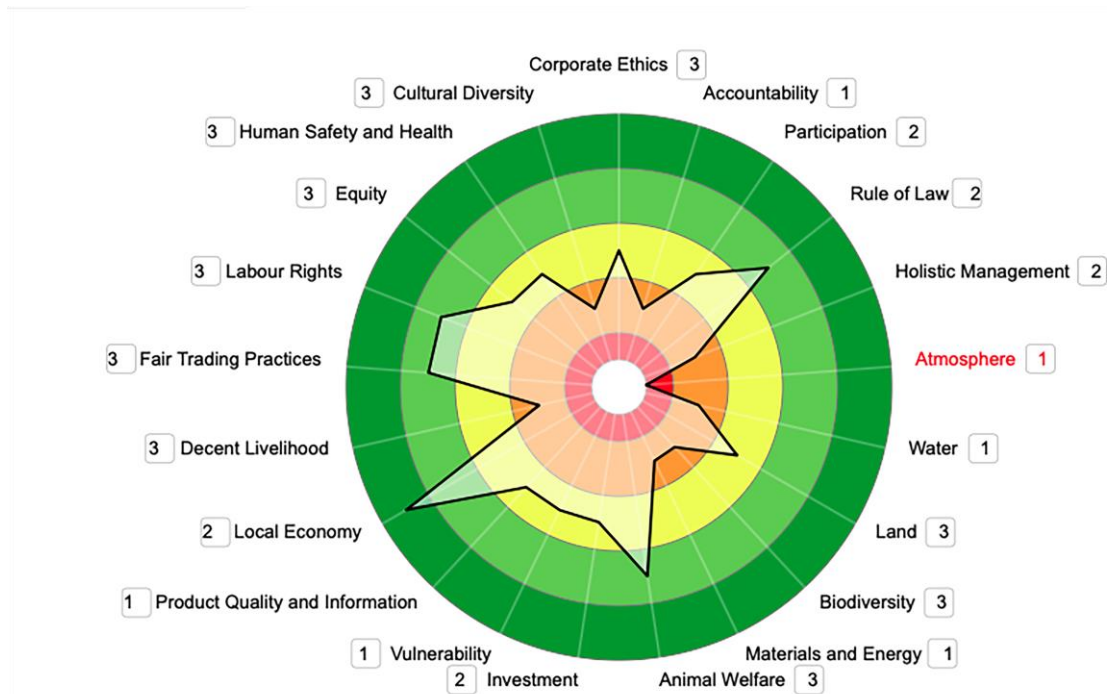
**Interpretación y comunicación de resultados.** El tipo de resultados originados de ambas herramientas es diferente. En ACV se obtienen valores cuantitativos, expresados en unidades de medida de cada categoría de impacto, por ejemplo: kg CO<sub>2</sub> eq, para cambio climático o kg SO<sub>2</sub> eq para acidificación terrestre. Esta forma de expresión permite la interpretación objetiva de los resultados, así como la comparación con otros estudios de productos con la misma función. Adicionalmente, los softwares utilizados en ACV, están programados para desagregar el valor de los impactos por procesos a lo largo del ciclo de vida de los bienes o servicios, lo que facilita en un análisis preciso de los impactos. Por su parte, los resultados obtenidos mediante SAFA son presentados en una escala porcentual de desempeño, que está asociada a una escala de color, esta escala está clasificada en ideal (color verde oscuro), bueno (color verde claro), moderado (color amarillo), limitado (color naranja) e inaceptable (color rojo). Las calificaciones de desempeño son asignadas a cada uno de los temas evaluados (*i.e.*, 21 calificaciones correspondientes a los 21 temas analizados) y para la comunicación de los resultados SAFA usa gráficos denominados “polígonos de la sostenibilidad”, que sirven como una herramienta eficaz de comunicación para visualizar el desempeño de todos los temas de forma explícita (Figura 2). Mientras que para mostrar los resultados del ACV se utilizan tablas o gráficos (Figura 4) que pueden ser difíciles de comprender por lo que deben ser explicados con claridad. No obstante, los valores resultantes del ACV ayudan a la comunicación de resultados específicos a los grupos interesados y no sólo transmiten información de forma global. De acuerdo con lo anterior, los polígonos de la sostenibilidad mediante el cual representa sus resultados SAFA es altamente amigable, mientras que en ACV los resultados son menos comprensibles para grupos no interesados y van enfocados a objetivos específicos.

Derivado de la evaluación de las características mencionadas, se resume que SAFA es una herramienta pública que evalúa las cuatro dimensiones de la sostenibilidad en una plataforma de uso fácil, específica del sector productivo de alimentos y agrícola, expresando la sostenibilidad de forma gráfica y accesible. SAFA es muy útil en la comparación interna de una empresa a lo largo de evaluaciones consecutivas; además, posee la ventaja de obtener de manera rápida y fácil datos para la toma de decisiones en empresas que requieran de celeridad. Por otro lado, la principal fortaleza del ACV radica en que es una metodología estandarizada bajo las normas internacionales ISO 14040/44 (ISO, 2006ab), objetiva y sistemática, basada en un inventario de entradas y salidas relacionado a una unidad funcional definida, lo cual le da la ventaja de poder comparar los resultados con otros estudios y productos con la misma función.

**Tabla 2. Matriz comparativa de los temas de SAFA y las categorías de impacto del ACV seleccionados en la evaluación de tres sistemas ganaderos.**

ACV		Temas	Inversión	Vulnerabilidad	Inform. y calidad del producto	Economía local	Calidad de vida digna	Comercio justo	Derecho laboral	Equidad	Seguridad y salud humana	Diversidad cultural	Atmósfera	Agua	Tierra	Materiales y energía	Biodiversidad	Bienestar animal	Ética corporativa	Contabilidad	Participación	Estado de derecho	Manejo histórico		
	Gpo. de interés	Categorías de impacto																							
Social	Trabajadores	Libertad de asociación y negociación colectiva							✓																
		Trabajo infantil							✓																
		Salario digno					✓																		
		Horas laborales							✓																
		Trabajo forzoso							✓																
		Igualdad de oportunidades/discriminación								✓															
		Salud y seguridad										✓													
		Beneficios. Sociales/Seguridad Social										✓													
		Condiciones laborales								✓															
		Desarrollo profesional y capacitación						✓																	
	Satisfacción laboral y compromiso organizacional																								
	Comunidad local	Acceso a recursos materiales	✓																						
		Acceso a recursos no materiales	✓																						
		Condiciones de vida seguras y saludables										✓													
		Empleo local					✓																		
Compromiso con la comunidad																									
Aceptación social																									
Sociedad	Compromisos con temas relacionados con sostenibilidad																								
Actores de la cadena de valor	Competencia justa							✓																	
	Promoción de la responsabilidad social																								
Ambiental	Cambio climático												✓												
	Acidificación terrestre																								
	Eutrofización de agua																								
	Ecotoxicidad terrestre																								
	Agotamiento Combustibles fósiles																								





**Figura 3.** Ejemplo del “polígono de la sostenibilidad” obtenido mediante la plataforma SAFA, en donde se muestran los resultados de una unidad productiva de Mc (Figura tomada de Pérez-Lombardini, 2017, con permiso del autor). El desempeño de la unidad de producción se representa por colores: ideal (color verde oscuro), bueno (color verde claro), moderado (color amarillo), limitado (color naranja) e inaceptable (color rojo), de acuerdo con FAO (2013).

Por otra parte, las dimensiones de la sostenibilidad comparadas al aplicar las dos herramientas metodológicas en las UPPs seleccionadas permitieron hacer una matriz comparativa de indicadores (Tabla 2). En esta matriz, se contrastan 21 temas y 100 indicadores que pertenecen a las cuatro dimensiones de la sostenibilidad que evalúa SAFA (“resiliencia económica”, “bienestar social”, “integridad ambiental” y buena gobernanza”) y 25 indicadores del ACV (20 indicadores corresponden al ACV social y cinco al ACV ambiental). La matriz comparativa de indicadores permite identificar que 15 indicadores del ACV social coinciden con siete temas de las dimensiones “bienestar social” y “resiliencia económica” de SAFA, mientras que solo existe una coincidencia en los indicadores de ACV ambiental y la dimensión de “integridad ambiental” de SAFA. De esta forma se ejemplifica que aun cuando las dos metodologías evalúan la sostenibilidad basándose en indicadores, éstos no coinciden al 100%. En este caso existe una coincidencia de tan solo el 54% en los indicadores utilizados por las dos metodologías.

Con base en la coincidencia de indicadores identificada mediante la Tabla 2, se hizo la comparación de los resultados de SAFA (Figura 3; Tabla 3) y el ACV (Figura 4). Los resultados de la evaluación de las UPPs

con SAFA se ilustran en Figura 3. Esta figura es el “polígono de la sostenibilidad” de una de las UPP de Mc evaluada en el estudio, en la cual se observa la calificación de cada tema de acuerdo con la escala de colores. Los resultados de todas las UPPs considerando únicamente los indicadores que coinciden en ACV y SAFA, se presentan en la Tabla 3. La comparación de resultados de la aplicación del ACV y SAFA se describe a continuación.

### Dimensión social

En la evaluación de la **dimensión social**, mediante SAFA, se obtuvo que en el tema “vida digna” (dimensión “bienestar social”) integrado por los indicadores “salario justo” y “desarrollo de capacidades”, todas las UPPs fueron valoradas con desempeños “moderados” o “limitados” (Tabla 3) lo que implica que las condiciones en que viven los trabajadores no son las deseables.

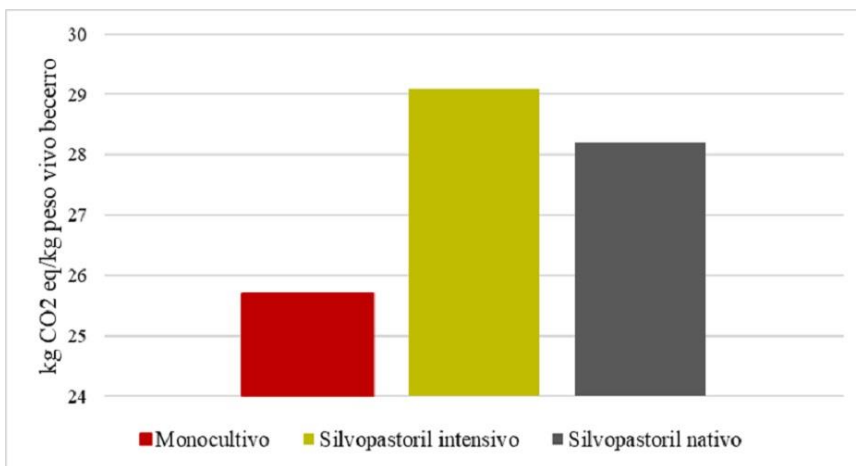
Respecto al ACV social, es relevante aclarar que, en el presente estudio, la evaluación de los indicadores se basó en un enfoque de desempeño (Padilla-Rivera *et al.*, 2016), que compara los datos del inventario social con valores de referencia, denominados valores meta

(Ciroth y Franze, 2011). Por ejemplo, para evaluar la categoría “salario digno” se utilizó como valor meta el salario mínimo establecido por la ley mexicana. Los datos recolectados fueron evaluados con una escala de 0 a 1. Esta escala se asocia a una escala de color, en donde el verde (1 en la escala) indica un rendimiento social sobresaliente y se asigna a un comportamiento proactivo en relación con el valor de referencia; el amarillo (0.75 en la escala) corresponde a un rendimiento social aceptable que se asigna a una organización que cumple con el estándar mínimo definido en los puntos de referencia; el azul (0.50 en la escala) aplica a un rendimiento social pobre y es asignado a una organización que no cumple con el valor de referencia; el rojo (0.25 en la escala) denota un rendimiento social muy pobre y corresponde a la organización que opera en un contexto desfavorable (bajo riesgos físicos, psicológicos o de seguridad, o en violación de derechos humanos. Por último, el gris (0 en la escala) aplica cuando no hay datos reportados para evaluar el indicador.

Se observó que los resultados del ACV social coinciden con los resultados que evaluó SAFA en la dimensión social. Mediante el ACV social se identificó que los tres sistemas ganaderos tuvieron un desempeño sobresaliente (verde) en “salario digno” y “desarrollo profesional y capacitación” debido a que el pago de las UPPs a los trabajadores supera el valor meta establecido (salario mínimo establecido por la ley). No obstante que el desempeño fue calificado como sobresaliente, la situación salarial de los trabajadores se considera desfavorable, pues su ingreso escasamente es 1.7 veces el valor de referencia o meta, cantidad que no es suficiente para proporcionar bienestar a los trabajadores y a sus familias. Es importante destacar que SAFA emite los resultados por temas y no por indicadores, por lo cual no es factible identificar la calificación por indicadores específico, a diferencia del ACV social, que permite evaluar individualmente las categorías evaluadas. Con relación a “desarrollo profesional y capacitación”, categoría del ACV social, solo en una UPPs se identificó el otorgamiento parcial de este derecho, por lo que de manera global todos los sistemas tuvieron un desempeño pobre.

**Tabla 3. Resumen del desempeño de las unidades de producción pecuaria analizadas con SAFA. La tabla incluye únicamente los temas que coinciden con los indicadores que evalúa el ACV (social y ambiental). Los números en las celdas corresponden a la cantidad de UPPs que fueron calificadas con el desempeño indicado en la parte superior de la tabla. Con datos de Pérez-Lombardini (2017).**

Dimensión	Tema	Calificación de desempeño														
		Monocultivo					Silvopastoril					Monte				
		Ideal	Bueno	Moderado	Limitado	Inaceptable	Ideal	Bueno	Moderado	Limitado	Inaceptable	Ideal	Bueno	Moderado	Limitado	Inaceptable
Resiliencia económica	Inversión		2	1				3					3			
Resiliencia económica	Economía local	3					3					3				
Bienestar social	Vida digna			2	1					3					3	
Bienestar social	Comercio justo		3					3				3				
Bienestar social	Derecho laboral		2	1				1	2			2	1			
Bienestar social	Equidad		1	2			1	1	1			1	1	1		
Bienestar social	Seguridad y salud humana			3					3			2	1			
Integridad ambiental	Atmósfera					3				2	1				3	



**Figura 4.** Comparación del impacto en cambio climático de los sistemas de producción de ganado mediante Análisis de Ciclo de Vida.

Los indicadores “trabajo forzoso”, “trabajo infantil” y “libre asociación colectiva” integrados en el tema “derecho laboral” de SAFA, mostraron desempeños mayoritariamente “buenos” en los sistemas Mc y SN (en dos de las tres UPPs de cada sistema), mientras que el sistema SI mostró un desempeño bueno en sólo una de las tres UPPs evaluadas. En estos indicadores, la calificación de SAFA asignada al sistema de Mc difiere de los resultados con ACV social, la cual calificó a estos indicadores con un desempeño predominantemente pobre. Este resultado puede atribuirse a que la desagregación de indicadores mediante el ACV social favoreció la identificación de puntos críticos inmersos dentro de todo el tema de “derecho laboral”.

En lo concerniente, al tema “seguridad y salud humana”, mediante SAFA, se identificaron dos UPPs (del sistema SN) con desempeño “bueno” dado que se consideró que estas UPPs son las que proveen mejores condiciones laborales, y un ambiente limpio y saludable. Lo anterior difiere con los hallazgos identificados en la categoría de “salud y seguridad” a través del ACV social, en donde todas las UPPs analizadas presentaron un desempeño muy pobre (0.25, color rojo) al no cumplir con el valor meta establecido, atribuible a que en ninguna UPP existe una política o estrategia formal concerniente a salud y seguridad, ni tampoco cuentan con medidas preventivas y protocolos de emergencia con relación a accidentes, únicamente la UPPs gestionada por una institución educativa (sistema de Mc) cuenta con un botiquín de primeros auxilios y seguridad social para sus trabajadores.

En resumen, en la dimensión social de la sostenibilidad, los resultados de ambas metodologías van en la misma dirección, solo que SAFA es una herramienta que permite una evaluación más ágil, aunque por no presentar el resultado de los indicadores desagregados

la interpretación no es precisa. Mientras que el ACV social, al presentar el resultado de los indicadores de manera individual, es más precisa, pero necesita más tiempo para poder ser ejecutada.

### Dimensión ambiental

En la dimensión ambiental, solo existe un indicador en común en ambas herramientas (Tabla 2). Por consiguiente, únicamente se comparó la categoría de impacto “cambio climático” del ACV ambiental, con el tema equivalente en SAFA, denominado “atmósfera”, en el cual se evaluó la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y las prácticas implementadas para mitigar su liberación en cada una de las UPPs.

Mediante SAFA, se identificó que todas las UPPs presentaron evaluaciones de desempeño con un nivel “limitado” o “inaceptable”, debido a que no tienen metas claras respecto a la reducción de contaminantes ni al establecimiento de medidas de mitigación de emisión de GEI. Específicamente el sistema de Mc en las tres UPPs analizadas, tuvo un desempeño “inaceptable”, esta calificación está asociada con la utilización de mayor cantidad de maquinaria comparada con los sistemas SI y SN. Los hallazgos anteriores difieren con lo plasmado en la Figura 4 que representa los resultados del ACV ambiental. En esta figura se observa que en la categoría cambio climático, el sistema de Mc tiene el mejor desempeño seguido por el sistema SN y el sistema SI es el que mayor impacto muestra por kilogramos de peso vivo de becerro (25.7, 28.2 y 29.1 kg CO<sub>2</sub>eq/kg PV becerro). Se identificó que el mayor contribuyente al cambio climático en el SPI es la fermentación entérica del ganado (60.6%), el manejo del estiércol (30.0%) y el uso de electricidad utilizado para el sistema de riego (4%). En la misma Figura 4 se

puede observar que no existe una diferencia significativa entre los impactos al cambio climático de los sistemas SN y el SI identificado como el sistema con mayor impacto al cambio climático, la diferencia fue de solo el 1%.

## CONCLUSIONES

El análisis teórico comparativo de las herramientas SAFA y ACV, combinado con un análisis práctico a nivel de las unidades de producción pecuaria, permitió identificar de forma integral las fortalezas y debilidades de ambas metodologías. SAFA, ofrece una evaluación de la sostenibilidad en un formato más amigable y ágil que el ACV ya que no necesita ser manejada por evaluadores expertos, sin embargo, no permite identificar los resultados de forma desagregada para cada indicador dentro de los temas. Mientras que el ACV, es una herramienta que permite llevar a cabo evaluaciones objetivas, detalladas, científicamente robustas y estandarizadas, pero requiere de expertos, implica más tiempo para su ejecución y puede llegar a ser más costosa. Derivado de este estudio, se concluye que tanto SAFA como ACV permiten evaluar la sostenibilidad de los sistemas pecuarios a nivel de unidades de producción, pudiendo utilizarse sus resultados en la toma de decisiones. Sin embargo, a validez de los resultados en ambas metodologías depende de la calidad, veracidad y transparencia de los datos utilizados.

### Agradecimientos

Se agradece la valiosa colaboración de María E. Villalba Pastrana en la captura y evaluación de datos. El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su beca de doctorado, así como al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

**Financiamiento.** El financiamiento para la presente investigación fue proporcionado por el “Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica” a través del proyecto PAPIIT IV200715. El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por su beca de doctorado, así como al Posgrado en Ciencias de la Sostenibilidad, Universidad Nacional Autónoma de México.

**Conflicto de interés.** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

**Cumplimiento de estándares de ética.** No es aplicable a esta investigación.

**Disponibilidad de datos.** Los datos están disponibles con Adriana Rivera Huerta, rive-rah.adriana@gmail.com previa solicitud razonable.

## REFERENCIAS

- Broom, D.M., Galindo, F.A., Murgueitio, E., 2013. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. *Proceedings of the Royal Society B*, 280(1771), pp. 20132015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2025>.
- Ciroth, A., Franze, J., 2011. *LCA of an Ecolabeled Notebook - Consideration of social and environmental impacts along the entire life cycle*. Berlin: GreenDeltaTC GmbH. Disponible en: Lulu.com. [Consulta: 17 de noviembre de 2018].
- de Olde, E.M., Bokkers, E.A.M., De Boer, I.J.M., 2017. The choice of the sustainability assessment tool matters: differences in thematic scope and assessment results. *Ecological Economics*. 136, pp. 77-85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.015>.
- de Olde, E.M., Oudshoorn, F.W., Sørensen, C.A.G., Bokkers, E.A.M., De Boer, I.J.M., 2016. Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators*. 66, pp. 391-404. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.047>.
- FAO, 2009. *The State of Food and Agriculture*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i0680e.pdf>. [Consulta: 23 de septiembre de 2018].
- FAO, 2013. *SAFA - Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems Guidelines Version 3.0*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3957e.pdf>. [Consulta: 20 de septiembre de 2018].
- Franze, J., Giroth, A. 2011. A comparison of cut roses from Ecuador and the Netherlands. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 16, pp. 366–379. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0266-x>.
- Güereca, L.P., Gassó S., Baldasano, J.M., Jiménez-Guerrero, P., 2006. Life cycle assessment of two biowaste management systems for Barcelona, Spain. *Resources, Conservation and Recycling*, 49(1), pp. 32-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.03.009>.
- Herrero, M., Thornton, P.K., Gerber, P., Reid, R.S., 2009. Livestock, livelihoods and the environment: understanding the trade-offs. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 1(2), pp. 111-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2009.10.003>.

- Herrero, M., Thornton, P.K., Notenbaert, A.M., Wood, S., Msangi, S., Freeman, H.A., Bossio D., Dixon, J., Peters M., 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. *Science*, 327(5967), pp. 822-825. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1183725>.
- INEGI, 2016. *Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2016*. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Disponible en: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/AE-GPEF\\_2016/702825087357.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/AE-GPEF_2016/702825087357.pdf). [Consulta: 18 de septiembre de 2018].
- ISO, 2006a. ISO 14040 – Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO, 2006b. ISO 14044 – Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines. Switzerland: International Organization for Standardization.
- Janzen, H.H., 2011. What place for livestock on a re-greening earth? *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, pp. 783-796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.055>.
- McDougall, F.R., White, P.R., Franke, M., Hindle, P., 2001. *Integrated solid waste management: a life cycle inventory*. 2nd edition. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Padilla-Rivera, A., Morgan-Sagastume, J.M., Noyola, A., Güereca, L.P., 2016. Addressing social aspects associated with wastewater treatment facilities. *Environmental Impact Assessment Review*, 57, pp. 101-113. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.007>.
- Pérez-Lombardini, F., 2017. *Valoración de Indicadores de Sustentabilidad en sistemas de pastoreo de monocultivo y silvopastoriles de bovinos de carne y leche en el trópico subhúmedo de Yucatán, México*. Tesis para obtener el título de Médica Veterinaria Zootecnista, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. México, Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 161.
- Disponible en: [132.248.9.195/ptd2017/mayo/0758707/Index.html](https://doi.org/10.1016/j.eiar.2015.11.007). [Consulta: 21 de enero de 2019].
- Rivera J.E., Chará J., Barahona R., 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. URN: <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v19i3.2178>.
- Rivera-Huerta, A, Güereca, L.P., Rubio, L.M.S., 2016. Environmental impact of beef production in Mexico through life cycle assessment. *Resources, Conservation and Recycling*, 109, pp. 44-53. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.020>.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., Hann, C., 2006. *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm>. [Consulta: 12 de enero de 2019].
- Tonolli, A.J., Ferrer, C.S., 2018. Comparación de marcos de evaluación de agroecosistemas. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 21, pp. 487-504. URN: <http://www.revista.ccba.uady.mx/urn:ISSN:1870-0462-tsaes.v21i3.2519>.
- UN, 2015. *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Nueva York. United Nations. A/RES/70/1.
- UNEP/SETAC, 2009. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. United Nations Environment Programme. Disponible en: [http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines\\_sLCA.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf). [Consulta: 15 de agosto de 2018].
- van der Meer Y., 2019. Life Cycle Sustainability Assessment. In: Leal Filho W., Azul A., Brandli L., Özuyar P., Wall T. (eds). *Decent Work and Economic Growth. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-71058-7\\_18-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-71058-7_18-1).