



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES

**“COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA
SOSTENIBILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN
PEQUEÑA ESCALA EN MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A

ESTEFANY TORRES LEMUS

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México; Diciembre de 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES

**“COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA
SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN
PEQUEÑA ESCALA EN MÉXICO”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A

ESTEFANY TORRES LEMUS

COMITÉ DE TUTORES:

Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán

Dr. Carlos Galdino Martínez García

Dr. Fernando Prospero Bernal

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México; Diciembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto de investigación “Evaluación de la sustentabilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala” financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) con clave 129449 CB-2009, por la beca otorgada durante para la realización de mis estudios de posgrado.

Al Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), por haberme permitido formar parte de su matrícula y de haberme cruzado con personas que me han ayudado a ser mejor en lo académico y personal.

Al Dr. Carlos Manuel Arriaga Jordán por darme la oportunidad de formar parte de su equipo desde la realización de mis prácticas profesionales hasta ahora y por brindarme apoyo para la realización de este trabajo. Gracias Carlos

Al Dr. Carlos Galdino Martínez García por su asesoría, revisiones y consejos durante este trabajo de investigación.

Al Dr. Fernando Prospero Bernal por el apoyo para la realización de este trabajo.

A los elaboradores de RISE por proporcionarme el software de manera gratuita para realizar la evaluación y por lo que fue posible este trabajo.

Al Dr. Gonzalo Flores Calvete, el Dr. Cesar Resch Zafra y Juan Castro Insunsa por sus enseñanzas y por recibirme en el Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM).

A los productores participantes por su disposición, amabilidad y tiempo, por compartir la información con la cual se realizó este trabajo, sin ellos no habría sido posible la realización de este trabajo.

A la T.L. Laura Edith Contreras Martínez y a la T.L. María de Lourdes Maya Salazar del Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), por su apoyo durante la realización de los análisis de laboratorio.

A mis compañeros integrantes del Equipo de Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala por su apoyo durante la realización de este trabajo de investigación y por compartir conmigo agradables momentos.

RESUMEN

En las últimas décadas la agricultura y la ganadería han presentado grandes retos, el incremento de la población lleva consigo una mayor demanda de alimentos pero también se está haciendo una fuerte presión para que la producción de alimentos se haga de forma sostenible, es decir sin agotar los recursos naturales y mitigando los efectos de contaminación en suelo, tierra y agua. Esto se traduce en la necesidad de creación de medios para evaluar el progreso hacia una agricultura sostenible. Hay una gran brecha en las herramientas que se utilizan para evaluar la sostenibilidad, pues no todas pueden adaptarse al contexto de lo que se va a evaluar o son desarrolladas con otro fin. Con el objetivo de llenar este vacío, saber que herramienta es la que mejor se adapta al contexto, región y a las necesidades de las unidades de producción en las que se realizó el presente estudio, Se evaluó la sostenibilidad en diez unidades de producción de leche en pequeña escala, poniendo en prácticas las metodologías IDEA (*Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles*), RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation) y SAFA (Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems), se recolecto información (social, ambiental y económica) mensualmente mediante encuestas semiestructuradas durante los meses de junio a noviembre del 2018, se analizaron y adaptaron los indicadores al contexto de los SPLPE en el altiplano central mexicano donde se llevó a cabo este trabajo. Los datos fueron analizados mediante una prueba de Kruskal-Wallis, se encontraron diferencias significativas entre los resultados de las escalas y el nivel de sostenibilidad en las diferentes metodologías, se aplicó una prueba de Mann-Whitney U, realizando una comparación entre las metodologías para identificar diferencias entre ellas. Se identificó una estrecha relación en los indicadores que emplean las metodologías, IDEA fue la metodología que mayor adaptabilidad mostro en los SPLPE, RISE fue la metodología que mayor complejidad técnica presenta, SAFA conjunta las mayor cantidad de los indicadores que evalúan IDEA y RISE, sin embargo es una metodología que muestra un mejor desempeño en la evaluación de organizaciones y comunidades, dado que muchos de sus indicadores no son aplicados a nivel de UP. Se concluye que estas metodologías son

aplicables en la evaluación de la sostenibilidad de los SPLPE, sin embargo, su uso dependerá del nivel de recursos técnicos y de infraestructura.

Palabras clave: *Evaluación de sostenibilidad, SAFA, RISE, IDEA, Sostenible, herramienta.*

SUMMARY

In recent decades agriculture and livestock have presented great challenges, the increase of the population carries with it a greater demand for food but also strong pressure is being put to make food production sustainable, it is without depleting natural resources and mitigating the effects of pollution on soil, land and water. This translates into the need for the creation of means to assess progress towards sustainable agriculture. There is a large gap in the tools used to assess sustainability, as not all can be adapted to the context of what is to be evaluated or developed for another purpose. In order to fill this gap, knowing which tool is best suited to the context, region and the needs of the production units in which this study was conducted, Sustainability was assessed in ten small milk production units and by implementing the IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles), RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation) and SAFA (Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems) methodologies, information was collected (socially , environmental and economic) monthly through semi-structured surveys during the months of June to November 2018, the indicators were analyzed and adapted to the context of the SPLPE in the central Mexican highlands where this work was carried out. The data were analyzed using a Kruskal-Wallis test, significant differences were found between the scale results and the level of sustainability in the different methodologies, a Mann-Whitney U test was applied, performing a comparison between methodologies to identify differences between them. A close relationship was identified in the indicators using the methodologies, IDEA was the methodology that showed the most adaptability in the SPLPE, RISE was the methodology that presents the greatest technical complexity, SAFA combined the most indicators they evaluate IDEA and RISE, however it is a methodology that shows better performance in the evaluation of organizations and communities, since many of their indicators are not applied at the UP level. It is concluded that these methodologies are applicable in the sustainability assessment of SPLPEs, however, their use will depend on the level of technical and infrastructure resources.

Keywords: Sustainability Assessment, SAFA, RISE, IDEA, Sustainable, Tool

INDICE

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN	9
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	15
	2.1. Producción de leche en México	15
	2.1.2. Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala en México	16
	2.2. Sostenibilidad en SPLPE.....	17
	2.3. Evaluación de la sostenibilidad	18
	2.4. Metodologías para evaluar la sostenibilidad	20
	2.4.1. IDEA.....	22
	2.4.2. RISE.....	23
	2.4.3. SAFA	25
III.	JUSTIFICACIÓN.....	27
IV.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	28
V.	HIPÓTESIS.....	29
VI.	OBJETIVOS	30
	5.1. Objetivo general.....	30
	5.2. Objetivos específicos	30
VII.	MATERIAL y MÉTODO.....	31
	7.1. Zona de estudio.....	31
	7.2. Selección de las unidades de producción (UP) y colecta de datos	32
	7.3. Selección de las metodologías de evaluación de la sostenibilidad	33
	7.4. IDEA	35

7.5. RISE	38
7.6. SAFA	41
7.7. Interpretación del nivel de sostenibilidad de IDEA, RISE y SAFA.....	47
7.8. Análisis estadístico de los datos	48
VIII. RESULTADOS	49
8.1. Artículo enviado a Agroecology Sustainable food system	49
8.2. Reporte de actividades de la estancia académica	107
IX. CONCLUSIONES GENERALES	114
X. LITERATURA CITADA.....	116

ÍNDICE DE CUADROS, TABLAS Y FIGURAS

CUADROS REVISIÓN DE LITERATURA

Cuadro 1. Características generales de las metodologías.....	21
Cuadro 2. Objetivos del método IDEA.....	22
Cuadro 3. Escalas, componentes, indicadores y puntajes del método IDEA.....	36
Cuadro 4. Indicadores del método IDEA no incluidos en este trabajo.....	37
Cuadro 5. Temas e indicadores de RISE 3.0.....	40
Cuadro 6. Temas, subtemas e indicadores de SAFA.....	43
Cuadro 7. Indicadores de SAFA excluidos en este estudio.....	46

FIGURAS

Figura 1. Zona de estudio.....	32
--------------------------------	----

TABLAS

ARTÍCULO

Table 1. Comparison of sustainability assessment tools.....	85
Table 2. Farms Characteristics (n=10).....	87
Table 3. Indicators by colour code.....	88
Table 4. Sustainability scores by dimensión and method.....	95

I. INTRODUCCIÓN

La producción agropecuaria en la actualidad enfrenta nuevas exigencias a nivel mundial para que la producción agropecuaria en pequeña escala sea no solo competitiva, sino también sustentable. La sustentabilidad se basa en tres contextos principales; ecológicos, económicos y sociales (Pincay *et al.*, 2013).

La producción de leche de bovino en México es una de las actividades agropecuarias económicas de mayor relevancia a nivel nacional, ya que no sólo tiene valor nutritivo, sino que juega un papel fundamental en la economía del sector primario (SIAP, 2005; Cesin y Cervantes 2009), así mismo la producción de leche en pequeña escala es una actividad que genera ingresos para las familias productoras, así mismo reduciendo emigración y generando empleos. De esta forma puede ser una herramienta viable para impulsar el crecimiento económico y reducir la pobreza en el medio rural. (Prospero *et al.*, 2017; Bennet *et al.*, 2006)

En la actualidad los deseos de la sociedad y las demandas de mercado están cambiando y exigen cada vez más a los agricultores en temas como la seguridad alimentaria, bienestar animal y huella de carbono, aunado a esto surgen preocupaciones acerca de la viabilidad económica y su impacto en la salud pública (Marchand, 2014). Por lo tanto, se requiere un cambio en la forma de producir alimentos y poder llevar a las unidades de producción hacia una producción sostenible donde permanezca el equilibrio entre los tres pilares de la

sostenibilidad (económico, ecológico y social)(González y Brunett., 2009), y así poder mejorar las condiciones de la producción agraria. (De Olde et al., 2016) Una definición de desarrollo sostenible se utiliza generalmente en la agricultura es el que está en el informe 'Nuestro futuro común' de la Comisión Mundial de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (WCED), también conocido como el informe Brundtland: " el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (WCED, 1987).

Para mitigar las nuevas exigencias en relación con el impacto ambiental, social y económico hacia los sistemas de producción agrícola, estos necesitan ser sostenibles. Ya que la producción sostenible de alimentos ha ganado terreno y en México comienza a cobrar importancia cuando aparece la Ley de Desarrollo rural sustentable que entro en vigor el 8 de diciembre del 2001, en respuesta a esto se han desarrollado un gran número de herramientas para la evaluación de la sustentabilidad. (Olde et al, 2018)

Es importante Evaluar sustentabilidad en sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) ya que estos sistemas aportan el 37% del total de la leche producida en México (Martínez *et al.*, 2015; Brunett,2004), teniendo en cuenta que es un país deficitario en su producción (SIAP, 2015). Además, varios estudios mencionan a los SPLPE como medios importantes para aumentar la producción nacional de leche y al mismo tiempo ser competitivos con los estándares internacionales (Val *et al.*, 2006). También puede proporcionar apoyo en la toma de decisiones en la unidad de producción y así mismo tener un impacto significativo en la sostenibilidad de las explotaciones (Binder, 2010).

Son muy pocos los estudios que existen sobre la sustentabilidad en sistemas de leche en pequeña escala en Latinoamérica, ya que la mayoría de estos estudios se han llevado a cabo en sistemas agrícolas y sistemas lecheros de gran escala. Y también se han llevado a cabo varios estudios pero solo con relevancia en alguno de los tres pilares de la sostenibilidad.

Existen estudios donde comparan las metodologías principalmente sobre una base teórica, como son los trabajos de Binder, (2010) y Marchand (2014). Binder (2010) analiza los métodos IDEA, ISAP, RISE, FESLM, MMF, SAFA Y SSP, toma en cuenta criterios como (i) la multifuncionalidad; (ii) la multidimensionalidad; (iii) aplicabilidad (iv) interacción entre los indicadores. Como resultado se obtuvo que estas metodologías sólo cumplen parcialmente las necesidades actuales de evaluación de la sostenibilidad agrícola y el método que propone para hacer una evaluación interdisciplinaria integrada es SSP, este permite la obtención de resultados de sostenibilidad dentro del tiempo y espacio en el cual las partes interesadas y podrán tomar decisiones con base en los resultados obtenidos.

Marchand (2014) compara las herramientas IDEA, RISE, MOTIFS y OCIS, identifica cuáles pertenecen a evaluaciones rápidas de sostenibilidad (RSA) y evaluación completa de sostenibilidad (FSA) y concluye que las RSA están más dirigidas hacia el aprendizaje y pueden utilizarse para que los agricultores se interesen en la sostenibilidad agrícola. Por otra parte, este tipo de evaluación puede elevar la conciencia y revelar problemas en la UP que interfieran con el desarrollo hacia la sostenibilidad agrícola. Cuando los agricultores han tomado un interés en la sostenibilidad pueden recurrir a las FSA.

En cambio los trabajos donde comparan métodos de evaluación de sostenibilidad en la práctica son escasos, De Olde (2016b) compara las herramientas IDEA, RISE, SAFA Y PG en dos granjas lecheras y tres granjas de cerdos, con 230 hasta 550 hectáreas en Dinamarca, y considera a RISE como la herramienta más relevante, resaltando la facilidad de uso, entendimientos, ventaja sobre el software, y adaptabilidad a los sistemas evaluados en el contexto danés.

En trabajos como los de Prospero (2017) y Fadul (2013) se han realizado evaluaciones de la sostenibilidad en SPLPE mediante el uso del método IDEA, sin embargo se busca poner en práctica diferentes herramientas que puedan disminuir el tiempo de evaluación, los costos, que se adapten a la baja disponibilidad de datos, también se toma en cuenta la facilidad de uso y disponibilidad de la herramienta que tenemos en estos sistemas.

Evaluar la sostenibilidad puede ser de ayuda para el asesoramiento agrícola, asesoramiento sobre políticas agrícolas, educación, certificación o investigación (Schader *et al.*, 2014). como se lleva a cabo en este estudio. Diferentes términos se utilizan en la literatura para describir las evaluaciones de sostenibilidad como métodos, enfoques metodológicos, marcos y herramientas (Marchand *et al.*, 2014.; Schader *et al.*, 2014.; Schindler *et al.*, 2015).

Una gran variedad de herramientas ha sido desarrolladas en los últimos años para la evaluación de los aspectos de sustentabilidad en la agricultura y la ganadería (De Olde *et al.*, 2017). Pero pocas son las herramientas que pueden ser utilizadas en Sistemas de

Producción de leche en Pequeña escala (SPLPE), la mayoría se enfatizan en sistemas de gran escala o en sistemas agrícolas (González y Brunett., 2009). Estas metodologías pueden estar basadas en modelos matemáticos, series de tiempo, indicadores, entre otros. Las herramientas basadas en indicadores varían ampliamente en su alcance (sector geográfico e), el grupo objetivo (por ejemplo, los agricultores o los políticos), la selección de indicadores, la agregación, la puntuación que utiliza cada método, y el requisito de tiempo de ejecución (Schader, 2014)

La adopción de una herramienta para evaluar la sostenibilidad en la práctica es complicado, ya que tiene que ser una metodología que se adapte al contexto de donde se realizara la evaluación, se involucran los costos y el tiempo necesario para la evaluación, la disponibilidad de datos, precisión de los resultados, la complejidad, facilidad de uso y la accesibilidad de la herramienta (Marchand et al., 2014).

Un estudio sobre cómo las herramientas de evaluación de sostenibilidad funcionan y como son los resultados de cada evaluación (es decir, los procedimientos de evaluación y los requisitos prácticos, indicadores y temas, formas de ponderación, normas o reglas por las que se rigen) Nos ayudaría a conocer aspectos importantes para la adopción de una herramienta en los SPLPE. Además el análisis y la comparación de estas herramientas nos permiten resaltar las ventajas y desventajas de los métodos y señalar las compensaciones y oportunidades para mejorar la práctica de la evaluación de la sostenibilidad en la agricultura.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comparar las herramientas de evaluación de sostenibilidad IDEA, RISE y SAFA en la práctica, conocer las similitudes y diferencias de cada método y conocer las razones por las cuales los resultados de cada metodología son distintos así como reconocer cuál es la herramienta que más se puede adaptar a las situaciones que se tienen en estos sistemas y que método es el más apropiado para las condiciones de los SPLPE mexicanos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Producción de leche en México

En 2015, México ocupó la novena posición en la producción mundial de leche de vaca, dos de cada cien litros de leche de esta especie que se producen en el mundo son de origen mexicano. A nivel nacional en el primer trimestre de 2016, la producción de leche de bovino se incrementó 1.8%, mostrando un incremento superior al crecimiento de la población, destacando los estados de Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato, Veracruz, y en el séptimo puesto, el Estado de México con una producción de leche de vaca en 2015 de más de 455 mil toneladas (SIAP, 2016).

Las regiones más importantes en la actividad lechera en el Estado de México son Zumpango-Cuautitlán, Texcoco y en cuarto sitio se encuentra el Noroeste del Estado de México en las cuencas de Aculco-Polotitlán y Jilotepec; seguidos por el Valle de Toluca. El municipio de Zumpango ocupa el primer lugar con una producción de 195,293 miles de litros y el segundo lugar lo registra el municipio de Texcoco con 121,648 miles de litros para el 2008 (SIAP, 2010).

La producción de leche en México se lleva a cabo en tres sistemas. Los de gran escala localizados principalmente en el centro-norte del País, la lechería tropical ubicada en las costas y la lechería en pequeña escala en el altiplano (García, 1996), sistema en la cual se enfoca este trabajo.

La importancia radica en que los sistemas de producción de leche en pequeña escala con hatos menores a 30 vacas más sus reemplazos representan al mayor número de unidades de producción especializadas en México y aportan por arriba del 30% de la producción nacional (Martínez et al., 2015)

2.1.2. Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala en México

En México la producción de leche de vaca se realiza, prácticamente, en todo el territorio nacional en 789.000 unidades de producción y genera más de 200.000 empleos permanentes remunerados, de los cuales un 28% proviene de sistemas de producción poco competitivos, con escasa o nula tecnificación y falta de organización o integración económica (Cesín Vargas et al., 2009).

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala se caracterizan por unidades de producción que cuentan con pequeñas superficies de tierra, y con hatos entre 3 y 30 vacas más sus reemplazos (Martínez et al., 2015). Las razas que manejan son Holstein, Pardo Suizo, Criollo y sus cruza. Utilizan primordialmente la mano de obra familiar; la venta de leche proporciona ingresos fundamentales para la vida de la familia productora, y que algunas veces se complementa con ingresos generados por otras actividades dentro o fuera de la unidad de producción (Espinoza et al., 2005). Alrededor de 150 millones de hogares en todo el mundo se dedican a la producción de leche. En la mayoría de los países en desarrollo del 80 al 90 por ciento de la leche se produce en sistemas en pequeña escala y la producción lechera contribuye a las estrategias de vida, la seguridad alimentaria y la

nutrición de los hogares. La leche produce ganancias relativamente rápidas para los pequeños productores y es una fuente importante de ingresos en efectivo (FAO, 2016).

En casi todo el mundo el modelo predominante de organización lechera es una finca de tipo “familiar”, que se trata – en sentido amplio- de una explotación administrada por el productor y su familia, quiénes además aportan la mayor parte de la mano de obra (FAO, 2011).

2.2. Sostenibilidad en SPLPE

La sustentabilidad es un tema de gran relevancia actualmente en la industria lechera, dado que se requieren y necesitan hacer investigaciones en la adopción de tecnologías y nuevas técnicas de producción que resulten en un bajo consumo de energía y un uso eficiente de los recursos en la producción lechera (de Olde).

El panel intergubernamental para el cambio climático (IPCC, por sus siglas en inglés) y la FAO (2010) indican que el sector lechero emite el 4% de todos los gases de efecto invernadero y que de este total los SPLPE aportan el 50%, en la cadena productiva (hasta la puerta de la finca) se emiten del 70 al 90% de las emisiones totales en este sector (FAO, 2010; Gerber *et al.*, 2010; Flysjö, 2012).

Por lo anterior mencionado es de gran importancia dirigir la producción agropecuaria hacia un desarrollo sostenible, que empieza a tener impacto después de la primera reunión de la Comisión Mundial sobre el Medioambiente y Desarrollo (WCDE) de la cual se derivó la publicación del informe Brundtland en 1987.

En México existe la Ley de Desarrollo Rural Sustentable que entró en vigor en diciembre de 2001, y fue publicada en el Diario Oficial de la Federación en la cual se enmarca el uso razonable y eficiente de los recursos naturales, que permita a los sistemas diversos de producción lograr una buena eficiencia económica, para fortalecer la economía campesina y lograr acceder a una adecuada calidad de vida, surtiendo de productos de buena calidad a la sociedad, impulsando mercados regionales que permitan una soberanía alimentaria, con esto se erige como un instrumento para la transformación del campo mexicano en termino de desarrollo sostenible.

En los SPLPE se han realizado trabajos como los de Prospero (2017) y Fadul (2013), estos encaminados a la evaluación de la sostenibilidad en SPLPE mediante el uso del método IDEA, y los resultados obtenidos en ambas investigaciones son puntuaciones bajas en la escala económica, esto debido principalmente a la dependencia de insumos externos y siendo específicos el mayor gasto económico que representan los productores son en la alimentación animal, seguido de los gastos en combustibles, siembra y cosecha, también es de relevancia mencionar que estas UPLPE han implementado tecnologías como el pastoreo, corte y acarreo, elaboración y uso de ensilados, que les han sido beneficiosas en las tres escalas de la sostenibilidad.

2.3. Evaluación de la sostenibilidad

La evaluación de la sostenibilidad se basa en una definición clara del concepto de desarrollo sostenible, que es traducida en metas que se pueden interpretar de forma práctica. Para medir la sostenibilidad se colectan datos mediante encuestas semiestructuradas donde se obtiene información sobre las tres dimensiones de la

sostenibilidad en la finca, y los datos obtenidos se compara con datos referenciales definidos de acuerdo a los principios de la sostenibilidad.

La evaluación de la sostenibilidad se ha visto como " una herramienta que puede ayudar a los tomadores de decisiones para decidir qué acciones se deben tomar y no deben tomar en un intento de hacer la sociedad más sostenible " (Olde, 2018).

Un sistema de producción sostenible es extremadamente resistente, es decir que puede resistir perturbaciones tales como sequías, tormentas o accidentes súbitos de precios. La resistencia de un sistema se determina por su capacidad de amortiguación (contenido de materia orgánica del suelo, la equidad y el límite de crédito del propietario, la red social) y su diversidad (diversos cultivos, razas de ganado, productos, proveedores, clientes, las estructuras del paisaje).

Hay cuatro principales deficiencias en la evaluación de la sostenibilidad en la agricultura:

- i) la multifuncionalidad en la agricultura a menudo no es específicamente abordarse en las evaluaciones de sostenibilidad;
- ii) hay un desequilibrio en el modelado y evaluación de trabajos realizada con respecto a las tres dimensiones de la sostenibilidad, es decir, los aspectos ecológicos, económicos y sociales, en favor de la ecología uno;
- iii) la investigación se ha centrado hasta ahora en llenar los vacíos importantes en el conocimiento y la tecnología, pero ha omitido incluir el paso hacia la utilización y aplicación de este conocimiento; y

- iv) la evaluación de los resultados en sí son difíciles de implementar en la toma de decisiones, como objetivos en conflicto y la interacción entre los indicadores no se ha considerado suficientemente (Schader et al., 2014).

La falta de investigación sobre cómo elegir metodologías para evaluar la sustentabilidad, constituye una brecha importante en la literatura de evaluación de sustentabilidad.

El propósito de la evaluación de la sostenibilidad puede tener varias razones, por ejemplo, para el asesoramiento agrícola, asesoramiento sobre políticas agrícolas, educación, certificación o investigación. Diferentes términos se utilizan en la literatura para describir las evaluaciones de sostenibilidad como métodos, enfoques metodológicos, marcos y herramientas (Marchand et al., 201.; Schindler et al., 2015).

2.4. Metodologías para evaluar la sostenibilidad

Herramientas, marcos, enfoques metodológicos son algunos de los diferentes términos que se utilizan en la literatura para describir las evaluaciones de sostenibilidad (Schindler et al., 2015). Existe un gran número de herramientas para evaluar la sostenibilidad, sin embargo, todas son distintas en cuanto al enfoque al que van dirigidas, el contexto de donde fue diseñada, el tipo de medición, entre otras cosas, y por ello pocas son las herramientas que pueden ser utilizadas en Sistemas de Producción de leche en Pequeña escala (SPLPE). Estas metodologías pueden estar basadas en modelos matemáticos, series de tiempo, indicadores, entre otros. Las herramientas basadas en indicadores varían ampliamente en su alcance (sector geográfico e), el grupo objetivo (por ejemplo, los agricultores o los políticos), la selección de indicadores, la agregación, la puntuación que utiliza cada método, y el

requisito de tiempo de ejecución (Schader, 2014) En este estudio, se evaluó la sostenibilidad de los SPLPE utilizando las herramientas IDEA RISE y SAFA, basadas en indicadores., y que han sido desarrolladas para la evaluación de la sostenibilidad en fincas exclusivamente a excepción de SAFA que es de amplio alcance y no fue desarrollada específicamente para pequeñas UP. Estas metodologías tienen en común que pueden adaptarse al contexto donde se llevara a cabo la evaluación., la contextualización es una etapa importante en la evaluación de la sostenibilidad, porque es donde la herramienta se adapta al sistema que se desea evaluar, ajustando los indicadores de acuerdo al contexto de la UP., así como a la disponibilidad de datos, dificultad para medir el indicador y situaciones que pueden ser irrelevantes en la UP. En la tabla 1 se muestran las características generales de cada una de las metodologías utilizadas.

Tabla 1. Características generales de las metodologías

Metodología	Nombre completo	Grupo objetivo	Publicación	Origen	Comienzo	Versión utilizada
IDEA	Indicadores de sostenibilidad de las explotaciones agropecuarias	Agricultores, políticas, educación	Zahm et al.(2008)	Francia	1996	3.0
RISE	Evaluación de la sostenibilidad tras respuesta inducida	Agricultores	Hani et al. (2003)	Suiza	1999	2.0
SAFA	Evaluación de la sostenibilidad de sistemas de alimentación agricultura	Sistemas de empresas agrícolas, organizaciones y	FAO, (2013)	Varios países e institutos	2009	3.0

2.4.1. IDEA

El método IDEA versión 3 (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles) está basado en 17 objetivos (Tabla 2) agrupados para formar 3 escalas de sustentabilidad (Agroecológica, socio-territorial y económica), en donde cada objetivo puede contribuir a la mejora de varios componentes de sustentabilidad, cada escala se divide en tres (Agroecológica y Socio-territorial) o cuatro (Económica), para un total de 10 componentes y que están compuestos de un total de 42 indicadores. Cada escala puede tener un valor máximo de 100, el cual es representado en porcentaje, donde el máximo posible es de 100 puntos y los resultados de sustentabilidad están dados por la escala que menor puntaje obtenga. Este método utiliza la ponderación de los indicadores para facilitar su interpretación final. (Zahm et al., 2008).

Tabla 2. Objetivos del método IDEA

Coherencia	Manejo adecuado de los recursos naturales no renovables
Conservación y manejo de la biodiversidad	Desarrollo local
Conservación de suelos	Prácticas de manejo de relaciones sociales
Conservación y manejo del agua	Desarrollo humano
Conservación de la atmosfera	Calidad de vida
Calidad del producto	Adaptabilidad
Ética	Empleo
Conservación del paisaje	Bienestar animal

Fuente: Zahm *et al.*, 2006

La escala agro-ecológica, se basa en los principios agropecuarios de los sistemas integrados (Viuax, 1999), que debe de procurar la buena eficiencia económica al menor costo ecológico, y la mayor eficiencia en el uso de los recursos no renovables. Consta de 18 indicadores divididos en tres componentes (diversidad de la producción, organización del espacio y prácticas de manejo), con una puntuación máxima de 33 o 34 puntos dando un total de 100 puntos en esta escala.

La escala socio-territorial, se basa en las características que integran la granja con el entorno y la sociedad, tomando en cuenta la calidad de vida del productor y la generación de servicios a la comunidad. Consta de 18 indicadores divididos en tres componentes (calidad de los productos, ética y desarrollo humano y empleos y servicios a la comunidad), con una puntuación máxima de 33 o 34 puntos dando un total de 100 puntos en esta escala.

La escala económica se basa en la generación de recursos económicos y la eficiencia. Consta de seis indicadores divididos en cuatro componentes los cuales son: viabilidad, independencia, transmisibilidad y eficiencia, y en conjunto acumulan un máximo de cien puntos en ésta como en las demás escalas.

2.4.2. RISE

Evaluación de la sostenibilidad para inducir cambios a nivel de finca” conocida en inglés por RISE (Response-Inducing Sustainability Evaluation), fue desarrollada por la Universidad Suiza de Ciencias Agrícolas, Forestales y de Alimentos (HAFL) con el objetivo de realizar una evaluación de la sostenibilidad agropecuaria a nivel de finca y al

mismo tiempo, orientar en la identificación de problemas, causas y potenciales alternativas de respuesta para el acercamiento de los sistemas productivos a la sostenibilidad. Ha sido aplicado en más de 2.000 fincas de 22 países entre los años 2000 y 2012.

Para estar seguros de evaluar la sostenibilidad de forma objetiva el RISE interpreta al desarrollo sostenible de acuerdo con el reporte de la comisión Mundial sobre Medio Ambiente y desarrollo (WCED, 1987) y el capítulo 14 de la agenda 21 (ONU, 1992).

La evaluación de la sostenibilidad se basa en una definición clara del concepto de desarrollo sostenible, que es traducida en metas que se pueden interpretar de forma práctica. Se colectan datos sobre todas las áreas relevantes para medir la sostenibilidad de la finca y compara estos datos con datos referenciales definidos de acuerdo al principio de sostenibilidad.

Esta herramienta tiene dos ventajas, la facilidad de uso y la alta complejidad (De Olde et al., 2016b).

Para que la metodología sea aplicada en cualquier país del mundo se “calibra” a la realidad del lugar donde quiere ser aplicada a partir del uso de datos referenciales de acuerdo a las condiciones locales. En teoría en algunos casos los valores de referencia y estimaciones pueden ser influidos por el mismo agricultor.

RISE considera aspectos económicos, ecológicos y sociales usando cuarenta y seis indicadores y diez temas referentes al uso del suelo, la producción animal, el flujo de nutrientes, el uso del agua, energía y clima, la biodiversidad y protección de cultivos, las

condiciones de trabajo, la calidad de vida, viabilidad económica y administración de la finca. Para cada indicador se evalúa el estado en que se encuentra la finca, con respecto al indicador y se calcula el denominado grado de sostenibilidad (Grenz, 2016)

2.4.3. SAFA

Evaluación de sustentabilidad de los sistemas agrícolas y alimentarios (SAFA), es un marco global de referencia integral para la evaluación de la sostenibilidad desarrollado por la FAO, este fue desarrollado como un documento de referencia internacional, permite evaluar sustentabilidad de un sistema mediante dimensiones, la integridad ambiental, bienestar social, resiliencia económica y la gobernabilidad. Estos se traducen en una definición universalmente aceptada de sostenibilidad, a través de temas y subtemas para cada uno de los pilares de sostenibilidad.

Consta de 21 temas centrales de sostenibilidad, o "Temas" universales, con objetivos de sostenibilidad asociados, estos pueden implementarse a cualquier nivel, a nivel nacional, 58 subtemas relevante para los actores de la cadena de suministro que realizan un análisis que identifica el riesgo (o zonas de puntos calientes), así como las lagunas en los esfuerzos de sostenibilidad existentes. Y 116 indicadores que identifican los criterios mensurables para el desempeño sostenible del subtema. Estos indicadores predeterminados son ejemplos que se pueden utilizar si no hay otros indicadores más apropiados disponibles y son aplicables a nivel macro, es decir, para todos los tamaños y tipos de empresas, y en todos los contextos. Los indicadores predeterminados tienen el propósito de proporcionar métricas

estandarizadas para guiar futuras evaluaciones sobre la sostenibilidad. El conjunto de indicadores predeterminado se proporciona para un nivel general.

Cada dimensión es medida a través de criterios esenciales que la definen, valorizando cada tema como malo, regular, aceptable, bueno y muy bueno y asignando para ello puntaje de cero a cinco y color de rojo a verde. Los temas se visualizan en el polígono de la sustentabilidad que arroja los resultados de manera clara y así permite detectar fortalezas y debilidades. Estos se valoran mediante indicadores obtenidos de registros, estadísticos, encuestas o entrevistas de referentes.

III. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala aportan el 37% de la producción nacional de leche. Esto es de gran importancia ya que ayuda a reducir la pobreza en las zonas rurales por la generación del auto empleo y por lo obtenido de la venta de la leche. Estos sistemas de producción de leche en gran parte del año tienen gran dependencia de insumos externos lo cual les limita la escala económica de la sostenibilidad. La evaluación de la sostenibilidad de los SPLEPE con las tres herramientas metodológicas, permitirá conocer sus fortalezas y debilidades; así como un mayor entendimiento de la dinámica de la sustentabilidad de las UP, que favorezca la identificación de áreas de oportunidad y el apoyo a la toma de decisiones de los productores. Además de la aplicación de múltiples herramientas para medir la sostenibilidad de las granjas, se puede obtener información valiosa sobre los requisitos prácticos, operativos y sistémicos, así como la dificultad de la aplicación de estas herramientas en la práctica. Por lo antes mencionado es importante evaluar la sustentabilidad de las unidades de producción y saber que método es el que tiene mayor relevancia.

IV. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Los resultados de la evaluación de sostenibilidad varían dependiendo la herramienta de evaluación utilizada?

¿Cuál es el nivel de sostenibilidad de los SPLPE?

V. HIPÓTESIS

No existen diferencias en la evaluación de la sustentabilidad aplicando los métodos de evaluación de la sustentabilidad RISE y SAFA en comparación con el método IDEA.

VI. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Comparar los métodos IDEA, RISE Y SAFA de evaluación de la sustentabilidad en sistemas de producción de leche en pequeña escala en México.

5.2 Objetivos específicos

Evaluar la sostenibilidad en Sistemas de producción de leche en pequeña escala con los métodos IDEA, SAFA y RISE

Identificar las diferencias en los resultados de los niveles de sostenibilidad con cada una de las herramientas utilizadas.

Comparar el uso de los métodos IDEA, SAFA y RISE en el contexto de los SPLPE

VII. MATERIAL y MÉTODO

7.1. Zona de estudio

El trabajo se realizó en el altiplano central mexicano, en el noroeste del Estado de México a 20° 06' N y 99° 50' W, a una altura media de 2440 msnm, y un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y heladas en invierno (INEGI, 2009). La temperatura promedio fue de 16.4°C, con una precipitación media de 776.7 mm (SMN-CONAGUA, 2019). En el área de estudio, alrededor del 90% son sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) (INEGI, 2007), en los cuales la producción de leche es la principal fuente de ingresos (Martínez-García et al 2012). Las UP se caracterizan por contar con hatos entre 3 a 35 vacas en producción, con dos ordeñas al día, una superficie de 10 ha y uso de mano de obra familiar (Espinoza-Ortega et al., 2007; Posadas-Domínguez et al., 2014). La alimentación se basa en un sistema de corte y acarreo de praderas inducidas (raigrás anual con trébol blanco), forrajes (alfalfa y avena), complementadas con rastrojos (avena, maíz, trigo, cebada) y concentrados comerciales (Pincay-Figueroa et al., 2016). Pocas UP realizan pastoreo de pastizales y praderas (Prospero-Bernal et al., 2017).

Los análisis de laboratorio se realizarán en el Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR) de la Universidad Autónoma del Estado de México, ubicado en el Campus Universitario “El Cerrillo”, en el municipio de Toluca, Estado de México.



Figura 1. Area de estudio

7.2. Selección de las unidades de producción (UP) y colecta de datos

Se evaluaron 10 UP de leche en pequeña escala, la cuales fueron seleccionadas a través un muestreo no probabilístico de bola de nieve (Goodman, 2011; Sedgwick, 2013). Los dueños de las UP participantes, aceptaron colaborar en el estudio de forma voluntaria, bajo un esquema de investigación participativa rural (Conroy, 2005).

Para realizar la evaluación de la sostenibilidad de los SPLPE, se revisaron los indicadores de cada metodología, con el propósito de identificar la especificidad y aplicabilidad en el contexto a evaluar (FAO, 2014; Prospero-Bernal et al., 2017; Berbec et al., 2018; Soldi et al., 2019). Así, para colectar la información, se elaboraron encuestas estructuradas de cada metodología (IDEA, RISE y SAFA) (Vilain et al., 2008; FAO, 2013; de Olde et al., 2016). Las encuestas consideraron indicadores para la dimensión ambiental, social y económica (Appendix A1, A2 y A3), los cuales fueron adaptados a la zona de estudio (Zahm et al.,

2015), con el propósito de garantizar un enfoque comparable en el contexto mexicano (Prospero-Bernal et al., 2017).

Dado que las UP no cuentan con soporte técnico, se diseñaron encuestas semiestructuradas para coleccionar información de manera mensual sobre calidad de forrajes, calidad de leche, registros productivos, reproductivos y económicos. Así mismo, se coleccionaron muestras de leche y forrajes para su análisis en laboratorio como es sugerido por Fadul-Pacheco et al. (2013) y Prospero-Bernal et al. (2017). La colecta de datos se realizó a través de visitas mensuales a las UP, durante los meses de junio a noviembre de 2018.

De acuerdo con Boockstaller et al. (2011), los indicadores deben responder a una cuestión con base en variables simples o integradas, tener un efecto de predicción, además, deben ser medibles. Así, la viabilidad de adaptar los indicadores de las metodologías a distintas regiones de estudio es importante (Zahm et al., 2008; Ngan et al., 2019). Para este estudio, los indicadores fueron adaptados a las normas vigentes de la región de estudio (eg., COFOCALEC, 2014-Calidad de leche; INECOL, 1999-Normas ambientales). El análisis económico se realizó a partir de la propuesta empleada por Prospero-Bernal et al. (2017).

7.3. Selección de las metodologías de evaluación de la sostenibilidad

Las metodologías que se emplearon para evaluar la sostenibilidad de los SPLPE fueron: i) IDEA - *Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles* (Vilain et al., 2008), ii) RISE V 3.0 - Response-Inducing Sustainability Evaluation (Grenz et al., 2016) y iii) SAFA V-3 (Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems) (FAO, 2014). Las metodologías seleccionadas permiten una evaluación a nivel de UP, mediante indicadores

con rigor científico, y están integradas por las dimensiones de sostenibilidad (ecológica, económica y social) (de Olde et al., 2016; 2017). Así mismo, han sido empleadas a nivel internacional, lo que permite la adaptación de los indicadores a distintas regiones. También permiten la autoevaluación y comparación, y no requieren UP óptimas o de referencia (Häni et al., 2003; FAO, 2013; Zahm et al., 2008).

Las tres metodologías cuentan con objetivos implícitos y una base metodológica aprobada; sin embargo, cada metodología cuenta con diferentes especificaciones. La metodología IDEA es la más accesible y de mejor comprensión. Las metodologías RISE y SAFA requieren datos técnicos con mayor complejidad; sin embargo, los objetivos de las metodologías inciden en diferente dimensión y temas, los cuales son compuestos por indicadores que dan el sentido holístico de la sostenibilidad (de Olde et al., 2016), lo que permite guiar a las UP por el camino del desarrollo sostenible, integrando la temporalidad, que permite el seguimiento de las UP a través del tiempo (Zahm et al., 2015). De acuerdo con Binder et al. (2010), la simplicidad y eficiencia en la representación de los objetivos, acompañados de la interacción de indicadores, son aspectos sistémicos de las metodologías que respaldan su calidad. Por ejemplo, de Olde et al. (2016), identificaron que de 48 metodologías para evaluar sostenibilidad, solo IDEA, RISE y SAFA cumplieron con los criterios para realizar evaluaciones en granja; mientras que Binder et al. (2010) de 35 metodologías, solo seleccionó a IDEA y RISE.

7.4 IDEA

Se utilizó el método IDEA versión 3, (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles –Indicadores de Sustentabilidad en Fincas) este método fue desarrollado en el año 1998 en Francia, (Zahm et al., 2008), está estructurado con base en 16 objetivos, (Tabla 2) agrupados para formar las tres escalas de la sustentabilidad (la escala Agro-ecológica, la escala Socio-territorial y la escala Económica). Cada una de las escalas está dividida entre tres o cuatro componentes, para un total de 10 componentes (Tabla 3), a su vez compuestos por 42 indicadores (Zahm et al., 2008).

La escala agroecológica y socioterritorial cada una con tres componentes y la escala económica que incluye cuatro componentes, resultando en un total de 10 componentes. A su vez, cada componente comprende 1-7 indicadores, resultando en un total de 42 indicadores (Zahm *et al.*, 2008). Cada indicador recibe una puntuación numérica que va desde (el valor piso) cero a un valor máximo único (que van desde 3 a 20 puntos). Las puntuaciones del indicador son aditivas y contribuyen a puntuaciones de los componentes, que tienen sus propios valores máximos (de entre 20 y 34 puntos). En turno, la puntuación de cada escala se obtiene mediante la suma de puntuaciones de los componentes que conducen a posibles valores que van de 0 a 100, donde los valores más altos reflejan una mayor sostenibilidad. En contraste con las puntuaciones de los indicadores y componentes, las puntuaciones de cada escala no son aditivas como una sola puntuación y la puntuación final sostenibilidad agrícola se define con la puntuación más baja de las tres escalas. El valor de sustentabilidad de una explotación agropecuaria va a estar dado por el puntaje mínimo (factor limitante) de las tres escalas (Vilain, 2008).

Tabla 3. Escalas, componentes, indicadores y puntajes del método IDEA.

ESCALA AGRO-ECOLOGICA			
COMPONENTE	INDICADORES	VALORES MAXIMOS	
Diversidad local	Diversidad de cultivos anuales y temporales	1 4	33 Unidades
	Diversidad de cultivos perennes	1 4	
	Diversidad animal	1 4	
	Valorización y conservación del patrimonio genético	6	
Manejo de nutrientes y espacio	Rotaciones	8	33 Unidades
	Tamaño de las parcelas	6	
	Manejo de la materia orgánica	5	
	Zonas de regulación ecológica	1 2	
	Contribución a los desafíos ambientales del territorio	4	
	Valorización del espacio	5	
	Manejo de las superficies forrajeras	3	
Prácticas agrícolas	Fertilización	8	34 Unidades
	Manejo de estiércol (efluentes)	3	
	Pesticidas	1 3	
	Tratamientos veterinarios	3	
	Protección del suelo	5	
	Manejo del agua	4	
	Dependencia energética	1 0	
ESCALA SOCIO-TERITORIAL			
Calidad de producto y tierra	Calidad de la leche producida	1 0	33 Unidades
	Mejora de construcciones y paisaje	8	
	Manejo de residuos inorgánicos	5	
	Acceso al predio	5	
	Vinculación comunitaria	6	
Empleo y	Autonomía y valorización de los recursos locales	7	33 Unidades
	Autonomía y valorización de los recursos locales	1	

servicios		0	
	Servicios y otras actividades	5	
	Contribución al empleo	6	
	Trabajo colectivo	5	
	Probable sustentabilidad para la granja	3	
Ética y desarrollo humano	Contribución al equilibrio mundial de los alimentos	10	34 Unidades
	Bienestar animal	3	
	Formación	6	
	Intensidad de trabajo	7	
	Calidad de vida	6	
	Aislamiento	3	
	Calidad de las instalaciones	4	
ESCALA ECONÓMICA			
Viabilidad Económica	Viabilidad económica	20	30 Unidades
	Tasa de especialización económica	10	
Independencia	Autonomía financiera	15	25 Unidades
	Ayudas de gobierno	10	
Transmisibilidad	Transmisión del capital	20	20 Unidades
Eficiencia	Eficiencia de los procesos productivos	25	25 Unidades

Fuente: Zahm *et al.*, 2006

En la Tabla 4 se muestran 6 de los 42 indicadores que no fueron incluidos en la evaluación, ya sea debido a la falta de datos fiables, debido a que el indicador se consideró fuera de contexto para México (Tabla 3).

Tabla 4. Indicadores de método de IDEA no incluidos en este trabajo

Indicador	Razón
Mejora y conservación del patrimonio genético	Indicador es valorizar las especies que están en peligro de extinción, lo que era difícil de evaluar debido a la falta de información de fondo.
Zonas de amortiguación ecológicas	La información no estaba disponible.
Medidas para proteger el patrimonio natural	Indicador es evaluar la conservación de especies o razas autóctonas, que era difícil de evaluar debido a la falta de información.
Mejora del paisaje	Evalúa el patrimonio del paisaje sobre todo en referencia a la Política Agrícola Común Europeo, que no es aplicable al contexto en el que el trabajo se llevó a cabo.
Servicios y múltiples actividades	Granjas no ofrecen servicios de agroecoturístico o granjas educativas, por lo que este indicador no fue relevante en el momento de la evaluación.
Comercio a corto	A medida que los agricultores no tienen ningún contacto directo con el consumidor final, este indicador no era aplicable.

7.5. RISE

La Evaluación de la Sostenibilidad para inducir cambios a nivel de finca (RISE) es una metodología basada en indicadores para la evaluación holística de la producción agrícola a nivel de finca (Grenz.,2016).

El objetivo de los desarrolladores de la herramienta es proporcionar una evaluación integral de la sostenibilidad, así como la difusión de prácticas sostenibles. Desde su comienzo en 1999, RISE se ha aplicado en más de 2500 granjas en 56 países (Grenz, 2016). RISE 2,0 evalúa el rendimiento de la sostenibilidad de una granja para 10 temas y 51 subtemas (Tabla 5) (Häni *et al.*, 2003). Define los subtemas como indicadores, para la comparación

preferimos llamarlos subtemas ya que incluyen la evaluación de diversos indicadores como se mencionó anteriormente. La puntuación en el nivel tema se basa en la media de las puntuaciones de los 4-7 subtemas incluidos en cada tema. Las puntuaciones en el tema y subtema nivel de rango de 0-100 y se visualizan en un polígono. Según RISE, un rendimiento entre 0 y 33 se considera problemático, entre 34 y 66 crítico y entre 67 y 100 positivo. Para calcular el rendimiento de la sostenibilidad de una granja, se utilizan cuatro tipos de datos: puntos asignados a las prácticas agrícolas, datos cuantitativos de la comunidad, los datos regionales y datos maestros (datos de referencia global). Una cierta cantidad de puntos (positivos o negativos) se dan en base a las respuestas de los agricultores, trabajadores agrícolas y / o auditor a las preguntas sobre la gestión agrícola, las actividades y la situación en la granja (por ejemplo, condiciones de bienestar animal). De esta manera, la información cualitativa se traduce en una puntuación cuantitativa. La mayoría de los subtemas (40) integran este tipo de datos para calcular el rendimiento de la granja en el subtemas. De estos subtemas, 19 se basan exclusivamente en los puntos asignados a ciertas medidas, actividades o situaciones en las explotaciones agrícolas. Estos subtemas están relacionados con la calidad de vida (6), la gestión de granja (5), la cría de animales (3), el uso del suelo (2), el uso del agua (1), los flujos de nutrientes (1) y las condiciones de trabajo (1). Para los 21 subtemas restantes, este tipo de datos se combina con uno o más de los otros tipos de datos.

Esta metodología tiene como gran ventaja la sencillez de su análisis (facilidad de uso), un software que facilita la aplicación de la herramienta y es de fácil entendimiento, el manual es claro y conciso.

Tabla 5. Temas e indicadores de RISE 3.0

Temas	Indicadores
Uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manejo del suelo ▪ Productividad de los cultivos ▪ Materia orgánica del suelo ▪ Reacción del suelo ▪ Erosión del suelo ▪ Compactación del suelo
Producción animal	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestión del rebaño ▪ La productividad del ganado ▪ oportunidad para que el comportamiento de las especies sea apropiado ▪ condiciones de vida ▪ salud animal
Uso de materiales y protección al medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Flujo de materiales ▪ Fertilización ▪ Plan de protección ▪ Contaminación del aire ▪ Contaminación del suelo y agua
Uso del agua	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Administración del agua ▪ Suministro de agua ▪ Intensidad del uso del agua ▪ Riego
Energía y ambiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestión de la energía ▪ Intensidad de la energía ▪ Balance de gases efecto invernadero
Biodiversidad y protección de cultivos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestión de la biodiversidad ▪ Infraestructuras ecológicas ▪ Intensidad de la producción agrícola ▪ Distribución de infraestructura ecológica ▪ Diversidad de la producción agrícola
Condiciones de trabajo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gestión del personal ▪ Horas laborables ▪ Seguridad en el trabajo ▪ Nivel de los salarios e ingresos
Calidad de vida	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ocupación y formación ▪ Situación financiera ▪ Relaciones sociales ▪ Libertad y valores personales

	<ul style="list-style-type: none">▪ Salud
Viabilidad económica	<ul style="list-style-type: none">▪ Liquidez▪ Estabilidad▪ Rentabilidad▪ Endeudamiento▪ Seguridad e subsistencia
Administración de la granja	<ul style="list-style-type: none">▪ Objetivos del negocio, estrategia y ejecución▪ Disponibilidad de información▪ Gestión de riesgos▪ Relaciones sostenibles

Fuente: Grenz et al. (2016)

Con esta metodología solo se excluyó el indicador de: Balance de gases efecto invernadero debido a que su medición requiere un alto presupuesto de tiempo y recursos económicos.

7.6. SAFA

La "Evaluación de la sostenibilidad de los sistemas de alimentación y agricultura" (SAFA) (FAO, 2013a) se seleccionó para este estudio debido a su amplio alcance dimensiones de la sostenibilidad, su aplicabilidad a las granjas de pequeños productores de leche (FAO, 2013a). La evaluación se realizó de acuerdo con las directrices del SAFA versión 2 (FAO, 2013a). Esta metodología estructura de acuerdo a varios niveles jerárquicos o de agregación (es decir, dimensiones, temas, subtemas e indicadores). El nivel más general comprende dimensiones de la sostenibilidad. En el nivel intermedio, cada dimensión comprende un número de temas y subtemas que son los elementos asociados con metas y objetivos específicos de sostenibilidad. En el nivel más específico, cada subtema comprende indicadores que son factores medibles y verificables sobre la base de una clasificación de rendimiento de cinco escala (es decir, mejor rendimiento, representaciones intermedias con

margen de mejora, y el rendimiento inaceptable.. SAFA comprende cuatro dimensiones, veintiún temas de sostenibilidad, que se definen por cincuenta y ocho subtemas con 116 indicadores (Tabla 6). Los indicadores de SAFA se centran en el rendimiento más que de sistemas de gestión, sin embargo indicadores alternativos, es decir, indicadores basados en la práctica, son propuestos por SAFA para diferentes contextos.

Tabla 6. Temas, subtemas e indicadores de SAFA

GOBERNANZA		
TEMAS	SUBTEMAS	INDICADORES
Ética corporativa	Declaración de la misión	Explicitud de la misión
		Misión impulsada
	Diligencia	Diligencia
Responsabilidad	Auditorías integrales	Auditorías integrales
	Responsabilidad	Responsabilidad
	Transparencia	Transparencia
Participación	Diálogo con las partes interesadas	Identificación de los interesados
		Compromiso de las partes interesadas
		Barreras de compromiso
		Participación efectiva
	Procedimientos de reclamo	Procedimientos de reclamo
	Resolución de conflictos	Resolución de conflictos
Estado de derecho	Legitimidad	Legitimidad
	Remedio, restauración y prevención	Remedio, restauración y prevención
	Responsabilidad cívica	Responsabilidad cívica
	Apropiación de recursos	Consentimiento previo, libre e informado
Derechos de tenencia		
Administración Holística	Plan de gestión de la sostenibilidad	Plan de gestión de la sostenibilidad
	Contabilidad de costo total	Contabilidad de costo total
INTEGRIDAD AMBIENTAL		
TEMAS	SUBTEMAS	INDICADORES

Atmósfera	Gases de efecto invernadero	objetivo de reducción de GEI
		prácticas de mitigación de GEI
		balance de GEI
	Calidad del aire	objetivo de reducción de la contaminación atmosférica
		prácticas de prevención de la contaminación atmosférica
		concentración atmosférica del aire Contaminantes
Agua	extracción de agua	objetivo de conservación del agua
		Prácticas de conservación del agua
		extracciones de agua subterránea y superficial
	Calidad del agua	objetivo de agua clara
		prácticas de prevención de la contaminación del agua
		concentración de agua Contaminantes
		calidad del agua residual
	Tierra	Calidad del suelo
Estructura física del suelo		
Calidad del suelo químico		
Calidad biológica del suelo		
Materia orgánica del suelo		
Degradación de la tierra		plan de conservación y rehabilitación de la tierra
		Prácticas de conservación y rehabilitación de la tierra
		pérdida / ganancia neta de tierras productivas
Biodiversidad	Diversidad de ecosistemas	plan de conservación del hábitat marino / paisaje
		prácticas de mejora del ecosistema
		Diversidad estructural de los ecosistemas
		conectividad del ecosistema
		uso de la tierra y cambio de la cubierta del suelo

	Diversidad de especies	Objetivo de conservación de especies
		Prácticas de conservación de especies
		Diversidad y abundancia de especies clave
		Diversidad de producción
	Diversidad genética	Prácticas de mejora de la diversidad genética silvestre
		Conservación in situ de la agrobiodiversidad
		Variedades y razas adaptadas localmente
		Diversidad genética en especies silvestres
		Ahorro de semillas y razas
	Materiales y energía	Uso del material
Balance de nutrientes		
Materiales renovables y reciclados		
Intensidad del uso de material		
Uso de energía		Objetivo de uso de energía renovable
		Prácticas de ahorro de energía
		Consumo de energía
		Energía renovable
Reducción y eliminación de desechos		Objetivo de reducción de desechos
		Prácticas de reducción de desechos
		Eliminación de desechos
		Reducción de pérdida y desperdicio de alimentos
Bienestar animal	Salud animal	Prácticas de salud animal
		Salud animal
	Libertad del estrés	Prácticas humanas de manejo de animales
		Producción animal adecuada
		Libertad del estrés
	BIENESTAR SOCIAL	
TEMA	SUBTEMA	INDICADORES
Sustento decente	Calidad de vida	Derecho a la calidad de vida
		Nivel de salario

	Desarrollo de capacidades	Desarrollo de capacidades
	Acceso equitativo a los medios de producción	Acceso justo a los medios de Producción
Prácticas comerciales justas	Compradores responsables	Precios justos y transparentes Contratos
	Derechos de los proveedores	Derechos de los proveedores
Derechos laborales	Relaciones laborales	Relaciones laborales
	Trabajo forzoso	Trabajo forzado
	Trabajo infantil	Trabajo infantil
	Libertad de asociación y derecho a la negociación	Libertad de asociación y Derecho a negociar
Equidad	No discriminación	No discriminación
	Igualdad de género	Igualdad de género
	Apoyo a personas vulnerables	Apoyo a personas vulnerables
Seguridad y salud humana	Seguridad en el lugar de trabajo y	Entrenamientos de seguridad y salud
	Disposiciones de salud	Seguridad del lugar de trabajo, Operaciones e instalaciones
		Cobertura de salud y acceso a la asistencia médica
	Salud pública	Salud pública
Diversidad cultural	Conocimiento indígena	Conocimiento indígena
	Soberanía alimentaria	Soberanía alimentaria
RESILIENCIA ECONÓMICA		
TEMA	SUBTEMA	INDICADORES
Inversión	Inversión interna	Inversión interna
	Inversión comunitaria	Inversión comunitaria
		Rentabilidad a largo plazo
	Rentabilidad	Plan de negocios
		Ingresos netos
		Costo de producción
Vulnerabilidad	Estabilidad de producción	Determinación del precio
		Niveles de garantía de producción
		Diversificación de productos
		Canales de adquisición

	Estabilidad de suministro	Estabilidad Relaciones del proveedor
		Dependencia del líder
	Estabilidad del mercado	Proveedor
		Estabilidad del mercado
	Liquidez	Flujo de efectivo neto
Redes de seguridad		
Gestión del riesgo	Gestión del riesgo	
Información y calidad del producto	Seguridad alimentaria	Medidas de control
		Pesticidas peligrosos
		Contaminación de los alimentos
	Calidad de los alimentos	Calidad de los alimentos
	Información del producto	Etiquetado del producto
		Sistema de rastreabilidad
Economía local	Creación de valor	Producción certificada
		Fuerza laboral regional
	Aprovisionamiento local	Compromiso fiscal
		Adquisición local

Fuente: FAO, 2013a

Los pasos de la contextualización y la selección de indicadores de SAFA permiten modificaciones al marco de evaluación específico para los productores de pequeña escala, debido a que estos agricultores se enfrentan a ciertos desafíos de evaluación, incluyendo los datos existentes limitados y pertinencia de los indicadores globales (FAO, 2013a). El evaluador puede (i) omitir algunos temas específicos de sostenibilidad que son irrelevantes para su contexto y (ii) evitar el uso de indicadores basados en el desempeño de las mediciones que no son accesibles, y en su lugar utilizar indicadores basados en la práctica (FAO, 2013a). Un grupo de temas de sostenibilidad se identificaron como irrelevante para el funcionamiento de los SPLPE en México y por lo tanto se excluyeron (Tabla 7). Por otra parte, un grupo de indicadores basados en el rendimiento donde las mediciones no eran accesible ha sido sustituido por los indicadores basados en la práctica propuestas por

SAFA. Las directrices SAFA proporcionan la orientación para la aplicación (cálculo) de los indicadores.

Tabla 7. Indicadores de SAFA excluidos en este trabajo

SAFA	Social	Right of supplies, Employment relations, Forced labour, Child labour, Freedom of association and right to bargaining, Indigenous knowledge
	Económica	Información del producto
	Gobernanza	Mission statement, Due diligence, Auditorias holísticas, Transparencia, Grievance procedures, Responsabilidad cívica, Sustainability management plan, Full-cost accounting

7.7. Interpretación del nivel de sostenibilidad de IDEA, RISE y SAFA

Los resultados de cada dimensión (ambiental, social y económica), fueron obtenidos por ponderación, donde cada dimensión tiene la posibilidad de obtener un puntaje de cero a cien. Para SAFA se realizó la equivalencia de la escala de 0-5 a 0-100 para poder comparar la metodología. El nivel de sostenibilidad en IDEA, fue obtenido mediante la dimensión limitante; es decir, la dimensión con el menor puntaje es la que determina el nivel de sostenibilidad (Zamh et al., 2019). Para RISE y SAFA, el nivel de sostenibilidad fue dado por el promedio de tres y cuatro dimensiones respectivamente (FAO, 2014; Grenz et al., 2016). Los puntajes obtenidos por cada indicador son presentados en una escala de 0 a 100 (Grenz et al., 2014), con la siguiente clasificación: i) 0 a 33 problemáticos, ii) 34 a 66 estado crítico y iii) 67 a 100 positivo. Los resultados medios de cada metodología fueron presentados en graficas radiales por temas.

7.8. Análisis estadístico de los datos

Para describir las características de las 10 UP participantes, se utilizó estadística descriptiva (media y desviación estándar). Para el análisis de la información de cada metodología, los datos fueron organizados siguiendo la base metodológica de IDEA (Vilain et al., 2008), RISE (Grenz et al., 2014) y SAFA (FAO, 2014).

Se realizó un análisis de los resultados obtenidos para las dimensiones ambiental, social y económica; sin embargo, el nivel de sostenibilidad al no tener homogeneidad en la cantidad de indicadores y temas, únicamente se describieron, como es sugerido por Binder et al. (2010) y de Olde et al. (2017). Los datos no mostraron distribución normal con la prueba de Shapiro-Wilk, la cual es recomendada para muestras menores a 50 observaciones (Field, 2013); por lo tanto, para la comparar las dimensiones y el nivel de sustentabilidad de cada metodología, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis, y para identificar diferencias entre las metodologías, se aplicó la prueba de Mann-Whitney U (Field, 2013).

VIII. RESULTADOS

8.1. Artículo enviado a Agroecology Sustainable food system

De: Agroecology and Sustainable Food Systems

[mailto:onbehalf@manuscriptcentral.com]

Enviado el: viernes, 15 de noviembre de 2019 09:17 a. m.

Para: Carlos Manuel Arriaga Jordan <cmarriagaj@uaemex.mx>;

cmarriagajordan@gmail.com

Asunto: Agroecology and Sustainable Food Systems - Manuscript ID WJSA-2019-0503

15-Nov-2019

Dear Dr Arriaga-Jordán:

Your manuscript entitled "On-farm assessment of the sustainability of small-scale dairy systems with three methods based on indicators" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in Agroecology and Sustainable Food Systems.

Your manuscript ID is WJSA-2019-0503.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to Manuscript Central at <https://mc.manuscriptcentral.com/wjsa> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Centre after logging in to <https://mc.manuscriptcentral.com/wjsa>.

Thank you for submitting your manuscript to Agroecology and Sustainable Food Systems.

Sincerely,

Agroecology and Sustainable Food Systems Editorial Office

On-farm assessment of the sustainability of small-scale dairy systems with three methods based on indicators

Estefany Torres-Lemus^a, Carlos Galdino Martínez-García^a, Fernando Prospero-Bernal^b, and Carlos Manuel Arriaga-Jordán^a

^a Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Campus UAEM El Cerrillo, Toluca, C.P. 50090, Estado de México, México.

^b Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM) de la Axencia Galega da Calidade Alimentaria, Betanzos a Mesón do Vento, 15318 Mabegondo-Abegondo, A Coruña, Galicia, Spain.

ORCID:

Carlos Galdino Martínez-García: <https://orcid.org/0000-0001-9924-3376>

Fernando Prospero Bernal: <https://orcid.org/0000-0001-9109-1806>

Carlos Manuel Arriaga-Jordán: <https://orcid.org/0000-0002-6140-0847>

Funding: This work was undertaken thanks to funding by the Mexican National Council for Science and Technology (*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología–CONACYT*) through grant 129449 CB-2009 and the postgraduate grant for Estefany Torres Lemus.

Disclosure statements: Authors declare no conflict of interests.

Author for correspondence:

Carlos Manuel Arriaga-Jordán,

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR),

Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Campus UAEM El Cerrillo,

Toluca, C.P. 50090, Estado de México, México.

Telephone: (52) 722 296 55 52 / 180 61 24 / 481 16 07

E-mail: cmarriagaj@uaemex.mx

On-farm assessment of the sustainability of small-scale dairy systems with three methods based on indicators

Abstract

The objective was to assess the sustainability of small-scale dairy systems (SSDS) during the rainy season by comparing the IDEA, RISE, and SAFA methods to identify differences and their applicability in the Mexican context. Ten small-scale dairy farms were assessed between June and November 2018. Monthly semi-structured interviews were applied to collect economic, social and environmental information. There was close relationship between the three methods. IDEA showed the greatest adaptability for SSDS. RISE presented a greater technical complexity, SAFA covered the largest number of indicators

but is better suited for a larger scale. It is concluded that the three methods may be useful in assessing the sustainability of SSDS.

Key words: Rural development, IDEA method, RISE method, SAFA Framework, Comparison of methods.

Introduction

There is a need not only to increase food production in the coming years to cope with demand from a growing population (FAO, 2013); but agricultural production must be sustainable in its economic, environmental and social dimensions.

Sustainable agricultural production is based not only in increased production of goods and services, but on its robustness, rooted in the local communities, being autonomous, and with a global responsibility (Zahm et al., 2015); within a holistic approach (Van Passel et al., 2007; Zahm et al., 2008).

Sustainable agricultural systems involve production following a sound management of the environment and looking after the social context and wellbeing of farming families and their communities (Van Passel et al., 2007); agriculture should provide fulfilling livelihoods.

However, assessing the sustainability of agricultural systems and farms is complex as it deals with dynamic and holistic issues that develop and evolve in a specific site and relies on the perspective of who undertake the assessment (Webster, 1997).

Different methods for the assessment of sustainability have been developed, based on simple indicators (from information taken from records or simple questions) or complex indicators (that require a higher degree of knowledge or specialised equipment) (Bockstaller et al., 2015); which identify differences and variations in sustainability (Hayati et al., 2010).

The assessment of sustainability in dairy systems is relevant since these have been pointed out as having a large environmental footprint (Flysjö, 2012), even though the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2014) states that greenhouse gas emissions by dairy production account only to 4% of world total, and 22% of all agricultural emissions.

Nevertheless, all agricultural systems must engage in a sustainable production to better contribute food, other goods and services for society ensuring care for the environment and equitable social development.

Small-scale dairy systems comprise the majority of dairy farms worldwide, so that small-scale cattle systems represent a large potential to reduce their environmental impacts and develop sustainable production (FAO, 2014a).

In Mexico, 78% of specialised dairy farms are small-scale (with herds between 3 and 35 cows plus replacements) (Prospero-Bernal et al., 2017); and 90% of these farms have the sales of milk as their main source of income and their livelihoods (Martínez-García et al., 2012). However, their permanence in the future depends on their ability to overcome

variations in the price paid for milk, and the costs of production, with increases in the cost of inputs that are higher than the increase in the price of milk (Prospero-Bernal et al., 2017) such that the economic scale is the weakest in their sustainability (Fadul-Pacheco et al., 2013; Prospero-Bernal et al., 2017).

To persist, small-scale dairy systems must also evolve towards more agroecological practices to reduce their environmental impact, and ensure a harmonic social development of their families and their communities.

There are not many reports in the literature on the assessment of the sustainability of dairy systems in Mexico. The first report (Brunett-Pérez et al., 2007) compared small-scale dairy farms with conventional and modified management strategies utilising the MESMIS method (Spanish acronym for Indicator-based Sustainability Assessment Framework). MESMIS was also utilised by Améndola-Massiotti et al. (2011) who assessed the sustainability of dairy systems in the western state of Michoacán.

The limitation observed in both reports was that the MESMIS method compares a prevalent system against another system, being it a modified or improved system as Brunett-Pérez et al. (2007) or against a theoretically improved system (Améndola-Massiotti et al. (2011). MESMIS does not allow to assess the sustainability of farms within themselves, among the context of the system to which they belong, or to compare among different production systems.

The IDEA method (*Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles*) (Vilain et al., 2008) was evaluated as a method that enables the for the assessment of the sustainability of individual farms with a score that may be compared against other farms within the same production system, or even compare among different systems (Zahm et al., 2008)

Fadul-Pacheco (2013) and Prospero-Bernal (2017) assessed the sustainability of small-scale dairy systems in the central highlands of Mexico applying the IDEA method for the first time in Mexico; and Salas-Reyes et al. (2015) applied the IDEA method for the assessment of the sustainability of dual-purpose small-scale cattle farms in a subtropical area in Mexico.

IDEA proved useful and enabled the identification of areas for improvement in the economic scale which limits the sustainability of these systems, basically in the need to reduce feeding costs to enhance the profitability and economic viability of farms. The effect of improved feeding strategies on the profitability and economic viability of small-scale dairy farms was reported by Prospero-Bernal et al. (2017).

However, there were questions on the suitability of the IDEA method, developed in France, when applied in the context of smallholder agriculture in Mexico. Therefore, the need arose to evaluate different methods for the assessment of sustainability within and between farms and systems that that may be better adapted to the context of Mexican small-scale dairy systems with a low availability of data as farmers do not keep records, and that are easy to apply considering limited time and financial resources for the assessment.

Selected methods should consider differences in perspectives and approaches for the assessment (Reed et al., 2006), and variations in the reference frameworks that address the assessment of different realities and at different depths of enquiry (de Olde et al., 2016).

Also, there is a need to compare methods that provide information to integrate criteria for the assessment and understanding of the sustainability in a given context (Boockstaller et al., 2009); developing a range of indicators with different specificity to be applied in different situations, regions and circumstances (Schader et al., 2014).

There are studies that have compared methodologies on their theoretical bases (Binder, 2010; Marchand et al., 2014). Binder (2010) analysed the IDEA, ISAP, RISE, FESLM, MMF, SAFA, and SSP methods considering criteria as (i) multifunctionality, (ii) multidimensionality, (iii) applicability, and (iv) the interaction among indicators. The results showed that all methods partially meet current needs for the assessment of agricultural sustainability, indicating that the SSP method enables an integrated interdisciplinary assessment that allows decision making from the obtained results.

On the other hand, Marchand et al. (2014) compared the IDEA, RISE, MOTIFS, and OCIS methods concluding that methods that enable a rapid assessment of sustainability are aimed at learning and may be applied so that farmers get interested in agricultural sustainability; while those tools that enable a more complete assessment of sustainability may enhance awareness and reveal problems at the farm level that interfere with increasing its sustainability.

However, there are few reports that compare methods on-farm in the assessment of sustainability. De Olde (2016b) compared the IDEA, RISE, SAFA and PG methods in dairy and pig farms in Denmark, stating that RISE was the method better adapted to the Danish context; noting its relevance, ease of use, understandable, and advantages in the software.

From these, the IDEA, RISE and SAFA methods were applied in the work herein reported, selected for the quality of indicators, their scientific framework, and the fact that these tools have been applied in different agricultural systems in diverse countries. The IDEA method was included as a reference for comparison, given the experience of the research team with this method.

The assessment of the sustainability of small-scale dairy systems with the three methodological tools aimed at discerning their strengths and weaknesses in the Mexican context; as well as providing a better understanding of the sustainability dynamics in these farms to identify areas of improvement and support for decision making.

Marchand *et al.* (2014) stated that by applying several methods to assess the sustainability of farms, valuable information is collected on the practical, operational and systemic requirements, as well as an insight into the difficulties in the use of each tool in practice.

The objective was to assess the sustainability of small-scale dairy systems with three methods based in indicators to identify differences in levels of sustainability obtained and the most appropriate method for the context of these systems in Mexico.

Materials and methods

Selection of methods for the assessment of sustainability

The three methodologies applied were: 1). IDEA - *Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles* (Vilain et al., 2008), ii) RISE V 3.0 - Response-Inducing Sustainability Evaluation (Grenz et al., 2016) y iii) SAFA V-3 (Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems) (FAO, 2014b).

The three methods allow the on-farm assessment of sustainability, through scientifically rigorous indicators, integrated by the ecological, economic and social dimensions of sustainability (de Olde et al., 2016; 2017). These methodologies have also been applied in different countries, which enables the adaptation of indicators to different situations. They also enable the self-evaluation of each farm and the comparison among farms, and do not require an optimal or reference farm for comparison (Häni et al., 2003; Zahm et al., 2008; FAO, 2013). Table 1 shows the characteristics of each of the methods.

The three methods have implicit objectives and a proven methodological base. However, each method has different specifications. The IDEA method is the most accessible and easiest to understand. RISE and SAFA require more complex technical data. The objectives of each method address different dimensions and topics, through indicators that give that comprise the holistic sense of sustainability (de Olde et al., 2016); with the end goal of guiding farms towards sustainable development in a time frame that allows the monitoring of progress in time (Zahm et al., 2015).

Binder et al. (2010) stated that simplicity and efficiency in the objectives, together with the interaction of indicators, are systemic issues of the methods that assure their soundness. De Olde et al. (2016) identified out of 48 methods for the assessment of sustainability, that only IDEA, RISE and SAFA met criteria for on-farm assessments; while Binder et al. (2010) out of 35 methodologies selected IDEA and RISE.

Study area

The work took place in the central highlands of Mexico (Figure 1), between coordinates 20° 06' and 20° 17' N and at 99° 40' and 100° 00' W and mean altitude of 2440; a sub-humid temperate climate with rains in summer, and a dry season with frosts in winter (INEGI, 2009). Mean temperature was 16.4°C and mean rainfall 776.7 mm (SMN-CONAGUA, 2019).

Almost 90% of dairy farms in the study area are small-scale dairy producers (INEGI, 2007), who rely on milk sales for their livelihoods (Martínez-García et al 2012). Farms are characterized by herds between 3 and 35 cows plus replacements, two milkings per day, and small land areas, that rely on family labour (Fadul-Pacheco et al., 2013; Posadas-Domínguez et al., 2014).

Feeding is based on cut-and-carry of temperate cultivated pastures (ryegrasses with white clover), forages as oats or bought-in alfalfa, complemented with cereal straws (maize, oats, barley, and wheat) and commercial concentrates (Martínez-García et al., 2015). Some

farms graze native grasslands, and some have incorporated grazing their cultivated pastures and maize silage (Prospero-Bernal et al., 2017).

Selection of farms and data collection

Ten farms participated in the assessment of their sustainability that have participated in the project to which this work belongs (Prospero-Bernal et al., 2017), initially selected by snow-ball non-probabilistic sampling (Goodman, 2011; Sedgwick, 2013). Farmers accepted to participate in the study voluntarily and were informed at all times of the objectives and scope of the work under a participatory rural research approach (Conroy, 2005).

At the start of the assessment, the indicators of each methodology were revised to identify their specificity and applicability (FAO, 2014b; Prospero-Bernal et al., 2017; Berbecé et al., 2018; Soldi et al., 2019). Data were collected with a structured questionnaire for each method (IDEA, RISE y SAFA) (Vilain et al., 2008; FAO, 2013; de Olde et al., 2016).

Questionnaires included the indicators for the environmental, social and economic dimensions (Appendixes A1, A2 and A3), adapted to the study area (Zahm et al., 2015) to ensure an approach compatible with the Mexican context (Prospero-Bernal et al., 2017). Appendix B shows the indicators that were not included for each method.

Since farmers do not keep records, semi-structured questionnaires were also applied to collect every month information on quantity of feeds, milk sales, and productive, reproductive and economic information. Samples were collected during those visits and analysed in the laboratory for milk composition and chemical composition of feeds

following Fadul-Pacheco et al. (2013) and Prospero-Bernal et al. (2017). Data collection was from June to November 2018.

Boockstaller et al. (2011) established that indicators should answer a question based on simple or integrated variables, have a predictive effect, and be measurable. Therefore, it is important to adapt each methodology indicators to the different regions where the assessment takes place (Zahm et al., 2008; Ngan et al., 2019).

Indicators were adapted to current Mexican standards for milk composition and environmental issues. The economic analyses followed Prospero-Bernal et al. (2017).

Interpretation of sustainability level by IDEA, RISE and SAFA

Results for each dimension (environmental, social and economic) were from weighing scores where each dimension may get a score from 0 to 100. SAFA scores (0-5) were transformed to a 0-100 scale to compare methods.

Sustainability score in IDEA is from the dimension with the lowest score (limiting scale) (Zamh et al., 2019). Sustainability from RISE and SAFA was from the average of the three and four dimensions respectively (FAO, 2014b; Grenz et al., 2016).

Scores for each indicators (on a 0 to 100 scale) are classified as (Grenz et al., 2014): 0-33: problematic, 34-66: critical, and 67-100: positive (Appendix A). Mean results for each method are presented in radar graphs (Figures 2, 3 y 4).

Statistical analyses

Descriptive statistics were applied to the 10 participating farms. Data from each method was organized following the guidelines from IDEA (Vilain et al., 2008), RISE (Grenz et al., 2014) and SAFA (FAO, 2014b).

Indicators were analysed for each dimension. However, the level of sustainability was described as suggested by por Binder et al. (2010) and de Olde et al. (2017) since there was no homogeneity in the number of indicators and topics for each method.

Data did not show a normal distribution after the Shapiro-Wilk test for normality was applied, recommended for samples under 50 observations (Field, 2013); so that the comparison within dimensions and the level of sustainability for each method was analysed with the Kruskal-Wallis test and the Mann-Whitney U test to detect differences (Field, 2013).

Results

Characteristics of participating farms

Table 2 shows the characteristics of the participating farms, with the largest variation in farmland size (ha) and the number of cows; with similar composition for milk fat and protein among farms. Farms rely on family labour, with temporal hiring of labour during harvesting of forages and crops like maize and oat.

Indicators classification by colour code (green, amber and red)

Table 3 shows the classification of indicators by score, identified as positive (green), critical (amber), and problematic (red) for each method.

In the environmental scale, indicators for fertilisation have negative scores in the three methods, with positive scores for the majority of indicators relating to animal production, diversity and water management. Indicators for energy and materials use were problematic in IDEA and RISE, although positive in SAFA. The largest number of indicators in the three methods is in the environmental scale, and therefore there is the largest variability among scores. However, scores were high in the majority of indicators in this scale, being classified as positive.

Also in the social scale, the majority of indicators in IDEA showed a positive score, while in RISE and SAFA most indicators are at a critical score. Indicators relating to health and safety at work have similar scores in the three methods; and it is in the social scale where less indicators are problematic. Most indicators are qualitative and with similar content in the three methods, which weigh scores similarly.

In the economic scale, most indicators in IDEA and SAFA showed positive scores, in contrast with RISE where most indicators were classified as problematic.

Assessment of the sustainability by the three methods

Figure 2 shows results for IDEA. Two of the three themes (components) that had the lowest scores were for the economic scale, and the highest scores were for the environmental scale. The focus of IDEA in the environmental scale is in indicators for diversity, the

productive space, and agricultural practices, not considering indicators concerning the air. RISE does have an indicator for the balance of greenhouse gases, and SAFA has a whole theme on the atmosphere.

Figure 3 shows results for the RISE method. Scores for economic viability were the lowest, similar to IDEA. The highest scores were those related with animal welfare (environmental scale) and the farm management.

It is the RISE method that resulted in the lowest score for the environmental scale, related to more rigorous scoring, and indicators on soil management, as well as indicators on environmental protection and energy use. In contrast, IDEA takes into consideration indicators on crops, land areas and the territory.

RISE results showed that farms are at a critical (amber) level of sustainability, while IDEA results indicated that the economic scale limits the sustainability of these systems. RISE and SAFA have the environmental and social scales with lower scores than for the economic scale.

SAFA results (Figure 4) showed that the indicator for local economy had the highest score; with overall high scores for the economic scale. One aspect valued by SAFA is local trade, which in the farms studied refers to the sale of milk destined to local small artisan cheesemakers obtaining a 100 score for this indicator which influence the overall high score for the economic scale. However, SAFA indicators for profitability and liquidity that reflect the economy of each farm did not reflect high scores.

Themes on product information and quality, responsibility and land use showed the lowest scores in SAFA, which differ from IDEA and RISE in those scales.

Comparison of dimensions and sustainability level

Table 4 shows results for the scores for each environmental, social and economic dimensions and the overall level of sustainability for each of the studied methods. There were highly significant differences among methods ($P < 0.001$) for the environmental dimension with RISE showing the lowest score. There were no statistical differences among methods for the social dimension ($P > 0.05$); and there were highly significant differences ($P < 0.001$) among methods for the economic scale. SAFA had the highest mean score for the economic dimension, with similar scores between IDEA and RISE.

In terms of overall sustainability scores, there were highly significant differences ($P < 0.001$). The SAFA score was the highest, while IDEA and RISE showed a similar sustainability score.

Discussion

Farm characteristics

Participating farms were similar as those reported by Romo-Bacco et al. (2014) and Prospero-Bernal et al. (2017) in small-scale dairy systems in two different areas of the Mexican highlands. Both works reported the reliance of family labour (by two family

members), and about 10% of hired labour. Farms have between 6 and 7 ha of farmland, with 9 to 15 milking cows that yield between 14 and 16 litres of milk per day.

FAO (2010) identified small-scale dairying as a viable option for territorial development, as they are a source of full time employment, enabling rural populations to remain in their communities; and milk sales generate daily incomes supporting their livelihoods (Espinoza-Ortega et al., 2007).

There is a close linkage in the study area between milk production and artisan cheese making that gives renown and identity to the region and strength to the agri-food chain from milk to cheese production (Espinoza-Ortega et al., 2007). The study area produces over 21 million litres of milk per year, with an annual growth rate of 4.24% over the last 10 years (SIAP-SAGARPA, 2019), and as mentioned, based on small-scale dairy farms.

Colour coded classification of indicators

The three methods applied enables the assessment of the sustainability of participating farms, and were sensitive to detect problematic, critical and positive points (Grenz et al., 2014).

In the environmental scale, the three methods identified problematic indicators in crop management due to high fertilizer use and soil degradation. Some farmers are aware of the high amounts of fertilisers they apply but few have reduced their use.

As positive indicators, the 10 farms use manure as organic fertiliser for their pastures; and having mixed grass – clover pastures is also a positive indicator. Other positive indicators were diversity, animal welfare, and water use.

The IDEA method showed the highest scores for the environmental scale, attributed to the indicators the method evaluates, centred in diversity, management and the territory, which may be too general but are useful for small farms.

RISE and SAFA on the other hand, evaluate very specific indicators on issues of air, water and soil, with sub-topics and indicators for a detailed assessment that requires specific information that farmers do not have and are not easy to obtain

De Olde et al. (2016) and Berbecé et al. (2018) mentioned that RISE and SAFA have the largest number of specialised indicators. Under these methods, positive indicators were those related to animal and plant diversity. Jouzi et al. (2017) pointed to one of the advantages of small farms is the rational use of local resources.

The three methods utilized have strengths but also weak points. In the IDEA method, water is a weak issue, since IDEA only has an indicator for water management related in the studied farms to the availability of irrigation for pastures. RISE and SAFA, with similar scores, have water as a specific topic with indicators on measures for the saving and control of water, water quality and availability, and amounts of water used in the farm and for irrigation.

The IDEA method is general and does not consider important issues for the assessment of sustainability; while RISE and SAFA include more indicators that yield more reliable results. However, the inclusion of more themes to the assessment implies more specialized indicators that require more information and data that is not generally available, as well as resources and time for the assessments that many times are limited.

Indicators for the social dimension of sustainability are complex given the constant evolution of society; which makes it difficult to develop simple and precise indicators, and the fact that assessments take place at a specific moment in time (Vilain et al., 2008; Hale et al., 2019).

Social indicators in the three methodologies are similar. IDEA, RISE and SAFA established as positive indicators animal welfare, labour security, economic incomes above the community means, low generation of residues and liberty to make decisions.

Hayati (2011) stated that these indicators lead farms towards sustainable development. However, indicators as intensity of work in IDEA are problematic due to the high work load, as has been identified in previous works (M'Hamdi et al., 2009; Fadul-Pacheco et al., 2013; Prospero-Bernal et al., 2017). Nonetheless, Moretti et al. (2016) mentioned that family labour strengthens farms making the more resilient to changes.

RISE identified a low quality of social relations, in contrast to IDEA and SAFA that identified a strength in the relations among farmers. Even though social indicators have been developed since the inception of the sustainability concept (WCED, 1987),

methodologies have been negligent by diminishing their importance. Therefore, there is a need for the development of indicators to measure the creation of social capital (Vallance et al., 2011). In this work, social indicators (Table 3) and their objectives are similar in the three methods (Binder et al., 2010).

Positive indicators in the economic scale were the generation of economic incomes, adequate financial autonomy, low dependency of external subsidies, and the production of food for the community, key elements for farm resilience (Jongeneel and Slangen, 2013).

Problematic indicators were: low specialization of production, lack of available information and in the generation of information on the management of the farm. This affects decision making and results in a lack of knowledge of the actual processes, reducing economic efficiency as detected by IDEA and RISE.

SAFA results for the economic dimension agree with Olde et al. (2016) who indicated that this method tends to over-evaluate economic indicators, yielding results that do not coincide with the reality of farms that are not economically efficient.

IDEA and RISE, in contrast with SAFA, are based in indicators as cash flow, incomes, and investments, which are easy to measure. Small-scale dairy systems do not keep economic records, so that there is not enough data to measure specialised indicators.

RISE allows for the lack of data in farms, while SAFA allows some specific themes to be omitted that may be irrelevant in a given contest, avoiding the need for indicators that require unavailable data, using in place indicators based on practice (FAO, 2013).

The economic scale is relevant in farm resilience, on which the continuity of farms relies (Hayati et al., 2011). Economic viability was an indicator with low scores in the three methods, which can be attributed to the expenditure in cattle feeding (purchase of external inputs), purchase of fertilisers, and dependence on fossil energy (gasoline and diesel). Therefore, the economic scale limits the sustainability of small-scale dairy systems (Prospero et al., 2017). It is important to note that IDEA does not determine sustainability as a mean of the three scales, but as the dimension with lowest score. In this study, the economic scale.

Assessment of the sustainability by three methods

The three methods (IDEA, RISE and SAFA) showed variation in the content of indicators, reference values, and methods for scoring and aggregation. This variation is due to the differences in judgment values, the context, and priorities of those involved in the development of each method (de Olde et al., 2017).

Variability in the methods gave rise to differences in the assessment of the sustainability of the studied farms, although results presented are transparent both in the use of the methods and in the results generated (de Olde et al., 2017), so that adaptation and integration of the various indicators is feasible due to their inter-relationships given their similarities as the three are multi-criteria methodologies (Binder et al., 2010).

The clarity in the assessments enables the possibility of integrating a new tool that may be more efficient, taking into consideration the availability, capacity to collect and generate information, as well as the technical level required by the indicators.

Score values are different as each method values differently the indicators, assigning different scores based on their specific norms or assessment protocols for the scoring of indicators (Marchand et al., 2014). There are times when there are many possible variables to integrate an indicator and it may be difficult to decide which is best. At other times, variables are not easy to measure or there are no data, and must be changed for other less reliable variables (Sarandón, 2002).

These aspects must be taken in consideration for a good assessment of sustainability in order to have objective and reliable result for the farms that enable decision making in relation to weak points that need improvement.

The limitation of the three methods was the lack of information that could not be collected as farms have little data available, and there were not sufficient financial resources to undertake all laboratory analyses needed for a complete assessment.

RISE and SAFA offer possibilities to overcome the lack of information. RISE gives the option of qualitative measurements of indicators in specific data is missing as for economic or life quality indicators. SAFA allows for indicators of practice to be changed for indicators of yield which are easier to obtain. IDEA has indicators closer to on-farm situations that make it easier to adapt to specific contexts.

An aspect to take into consideration is that when adopting an existing method, like IDEA, RISE or SAFA, the number of themes, indicators, and assessment procedures are defined and most of the method to apply is fixed.

IDEA and RISE were specifically developed for the assessment of farm sustainability, while SAFA has a broader application that encompasses agriculture, forestry and fisheries, as well as the assessment of companies at a world scale (FAO, 2013).

SAFA also proved to be the more disadvantaged method for its application in small-scale farming. Firstly, some indicators require economic data more than five previous years, it was not developed for small-scale farms, and thirdly, there is a large number of specialized indicators that cannot be measured for lack of instruments, or financial and time resources.

The proportion of sub-themes from a method that are dealt by the other two is called sub-theme coverage. SAFA has an intermediate to high indicator coverage at 89% for IDEA and 92% for RISE. RISE has a coverage of 67% for SAFA and 81% for IDEA, and IDEA covers 59% for SAFA and 76% for RISE (de Olde et al., 2017).

SAFA is the method with the largest number of indicators also employed by IDEA and RISE. Soldi et al. (2019) mentioned that SAFA requires specialised work in the collection of information and is aimed at regional assessments, which are less sensitive at farm level. On the contrary, IDEA and RISE were developed to assess the sustainability of farms (de Olde et al., 2016).

IDEA has well defined indicators, easy to collect that can be used at farms with limited information. On the contrary, RISE, as SAFA, has very specialized indicators at the environmental scale, and requires more technical and intellectual infrastructure for the assessment compared to IDEA. RISE and SAFA may be considered for sustainability assessments with ample financial and time resources.

There will always be variability in the assessment tools as well as in the results, since each method is based on the context, availability of scientific data, and knowledge of values and norms of those who develop the methods (De Olde et al, 2016).

The IDEA method was better adapted to the sustainability assessment of small-scale dairy systems in Mexico as most of its indicators may be collected on-farm and at easy to measure, compared to RISE and SAFA. Therefore it is suggested to continue using the IDEA method in future assessments of sustainability in small-scale farming systems.

Conclusions

The IDEA, RISE and SAFA methods share in essence the concept of sustainable development from the holistic integration of the environmental, social and economic dimensions of sustainability, and are sensitive so that it is possible to identify problematic indicators, to make decisions that may guide farms towards an enhance sustainability.

IDEA and RISE were identified as the stronger methods for on-farm assessments, and did not show differences in the social or economic scales, nor in the overall sustainability score.

IDEA was the less demanding method for environmental indicators in contrast to RISE and SAFA that concentrate efforts in this dimension. In SAFA the economic scale is ambiguous since indicators are aimed at communities or larger regions. When applied at farm level, SAFA does not detect small variations particularly in the economic scale.

These methods enable an understanding of sustainable development by generating an interaction between research institutions and farmers. Even though there is not a strong culture of sustainability in the study area, these methods enable to raise awareness of farmers, their families and communities.

The mean overall sustainability score for the 10 assessed farms was 55.3 ± 5.7 over 100. There were no large differences between the three methods even though indicators vary in the way of their measurement, they share more than 70% of objectives. This level of sustainability places farms at a critical level (AMBER) following the colour code, although towards the higher end, opening opportunities to enhance their sustainability.

Acknowledgments

Authors express gratitude to the 10 farmers and their families who participated in this study, whose privacy is respected by not disclosing their names. This work was undertaken thanks to funding by the Mexican National Council for Science and Technology (*Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología–CONACYT*) through grant 129449 CB-2009 and the postgraduate grant for Estefany Torres Lemus. Our thanks also to Ms. Maria de Lourdes

Maya-Salazar and Ms. Laura Edith Contreras-Martínez for their assistance in laboratory analyses.

References

- Améndola-Massiotti, R.D, J. Cortez-Arriola, M.E. Álvarez-Sánchez and O. Rojas-López. 2011. Análisis preliminar de la sustentabilidad de sistemas de producción lechera de Marcos Castellanos, Michoacán. In: *La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes. Volume 2*. B. Cavallotti Vázquez, B. Ramírez Valverde, F.E. Martínez Castañeda, C.F. Marcof Álvarez and A. Cesín Vargas, 15 – 32. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Berbecé, A.K., B. Feledyn-Szewczyk, C. Thalmann, R. Wyss, J. Grenz, J. Kopiński, J. Stalenga and P. Radzikowski. 2018. Assessing the Sustainability Performance of Organic and Low-Inputs Conventional Farms from Eastern Poland with RISE Indicator System. *Sustainability* 10: 1792. <https://doi.org/10.3390/su10061792>.
- Binder, C., G. Feola and J.K. Steinberger. 2010. Considering the normative, systemic and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessments in agriculture. *Environmental Impact Assessment Review* 30: 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.eair.2009.06.002>.

Bockstaller, C., P. Feschet and F. Angevin. 2015. Issues in evaluating sustainability of farming systems with indicators. *OCL* 22(1): D102. <http://doi.org/10.1051/ocl/2014052>.

Brunett-Pérez, L., C. González-Esquivel, and L. A. García-Hernández. 2005. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development* 17 (7): 78. [online] URL: <http://www.lrrd.org/lrrd17/7/pere17078.htm>

Conroy, C. 2005. *Participatory livestock research: a guide*. Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire, U. K.: ITDG Publishing.

de Olde, E.M., F.W. Oudshoorn, C.A.G. Sørensen, E.A.M. Bokkers and I.J.M. de Boer. 2016. Assessing sustainability at farm level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators*. 66: 391-404. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.047>.

de Olde, E.M., E.A.M. Bokkers and I.J.M. de Boer. 2017. The Choice of the Sustainability Assessment Tool Matters: Differences in Thematic Scope and Assessment Results. *Ecological Economics* 136: 77-85. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.015>.

Espinoza-Ortega, A., E. Espinosa-Ayala, J. Bastida-López, T. Castañeda-Martínez, C.M. Arriaga-Jordán. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico:

Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture* 43: 241–256. <https://doi.org/10.1017/S0014479706004613>.

Fadul-Pacheco, L., M.A. Wattiaux, A. Espinoza-Ortega, E. Sánchez-Vera and C.M. Arriaga-Jordán. 2013. Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37: 882–901. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775990>.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2010. *Status and prospects for smallholder milk production a global perspective*. FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. *Organic supply chains for small farmer income generation in developing countries – Case studies in India*. Rome, Italy: FAO.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014a. *Greenhouse gas emissions from agriculture, forestry and other land use*. Rome, Italy: FAO.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014b. *SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems. Guidelines Version 3.0*. Rome. Italy: FAO.

- Field, A. 2013. *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics*. Fourth Ed. London, U.K.: SAGE Publications.
- Flysjö A. 2012. *Greenhouse gas emissions in milk and dairy product chains: Improving the carbon footprint of dairy products*. Doctoral Thesis. Science and Technology. Aarhus University, Denmark.
- Goodman, L.A. 2011. Comment: On respondent-driven sampling and snowball sampling in hard-to-reach populations and snowball sampling not in hard-to-reach populations. *Sociological Methodology*. 41(1): 347-353. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9531.2011.01242.x>.
- Grenz, J., R. Mainiero, M. Schoch, F. Sereke, S. Stalder, C. Thalmann and R. Wyss. 2016. *RISE 3.0 Manual. Sustainability themes and indicators*. School of Agricultural, Forest and Food Sciences, Bern University of Applied Sciences. Zollikofen, Switzerland.
- Häni, F., F. Braga, A. Stämpfli, T. Keller, M. Fischer and H. Porsche. 2003. RISE, a tool for holistic sustainability assessment at the farm level. *International Food and Agribusiness Management Review* 6(4): 78-90.
- Hayati, D., Z. Ranjbar and E. Karami. 2010. Measuring Agricultural Sustainability. In Lichtfouse E. (eds) *Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture*. *Sustainable Agriculture Reviews* 5: 73-100. http://doi.org/10.1007/978-90-481-9513-8_2.

INEGI. 2007. Censo Agrícola, ganadero y forestal 2007. INEGI- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/219>. Accessed 15 September 2018.

INEGI. 2009. Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Aculco. México. INEGI- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15003.pdf. Accessed 24 September 2019.

IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and USA.

Jongeneel R. and L. Slangen 2013. Sustainability and resilience of the dairy sector in a changing world: A farm economic and EU perspective. In: *Sustainable Dairy Production*, ed. P. de Jong 55 - 86.. London, U.K. Wiley-Blackwell.

Jouzi, Z., H. Azadi, F. Taheri, K. Zarafshani, K. Gebrehiwot, S. Van Passel and P. Lebailly. 2017. Organic farming and small-scale farmers: Main opportunities and challenges. *Ecological Economics* 132: 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.10.016>.

M'Hamdi, N., R. Aloulou, M. Hedhly and M. Ben Hamouda. 2009. Évaluation de la durabilité des exploitations laitières tunisiennes par la méthode IDEA.

Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement 13(2): 221–228.

<https://popups.uliege.be:443/1780-4507/index.php?id=3865>.

Martínez-García, C.G., P. Dorward and T. Rehman. 2012. Farm and socioeconomic characteristics of small-holder milk producers and their influence on the technology adoption in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 44:1199-1211. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0>

Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., Gerrard, C., Padel, S., Lauwers, L., 2014. Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecology and Society* 19: No. 3, Art. 46.

Moretti, M., A. de Boni, R. Roma, M. Fracchiolla and S. van Passel. 2016. Integrated assessment of agro-ecological systems: The case study of the “Alta Murgia” National Park in Italy. *Agricultural Systems* 144: 144-155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.007>.

Ngan, S.L., B.S. How, S.Y. Teng, M.A.B. Promentilla, P. Yatim., A.C. Er and H.L. Lam. 2019. Prioritization of sustainability indicators for promoting the circular economy: The case of developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 111: 314-331. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.001>.

Posadas-Domínguez, R.R., C.M. Arriaga-Jordán and F.E. Martínez-Castañeda. 2014. Contribution of labour to the profitability and competitiveness on small-scale dairy

- production systems in central México. *Tropical Animal Health and Production* 46: 235–240. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0482-4>.
- Prospero-Bernal, F., C.G. Martínez-García, R. Olea-Pérez, F. López-González and C.M. Arriaga-Jordán. 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 49: 1537–1544. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>.
- Reed, M.S., E.D.G.Fraser and A.J. Douggill. 2006. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. *Ecological Economics* 59: 406-418.
- Romo-Bacco, C.E., A.G. Valdivia-Flores, R.G. Carranza-Trinidad, J. Cámara-Córdova, M.P. Zavala-Arias, E. Flores-Ancira and J.A. Espinosa-García. 2014. Gaps in economic profitability among small-scale dairy farms in the Mexican Highland Plateau. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 5(3): 273-290.
- Sarandón, J. S. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. In: *Agroecología, el camino hacia una agricultura sustentable*. 394-414. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Científicas Americanas.
- Schader, C., J. Grenz, M.S. Meier, and M. Stolze. 2014. Scope and precision of sustainability assessment approaches to food systems. *Ecology and Society* 19: No. 3, Art. 42. <https://dx.doi.org/10.5751/ES-06866-190342>.

Sedgwick, P. 2013. Statistical question: Snowball sampling. *British Medical Journal* 347: f7511. <https://doi.org/10.1136/bmj.f7511>.

SMN-CONAGUA. 2019. Resúmenes mensuales de temperatura y lluvia. Servicio Meteorológico Nacional- Comisión Nacional del Agua. <http://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia>. Accessed 20 Aug 2019.

Soldi, A., M.J. Aparicio Meza, M. Guareschi, M. Donati and A.I. Ortiz. 2019. Sustainability Assessment of Agricultural Systems in Paraguay: A Comparative Study Using FAO's SAFA Framework. *Sustainability* 11: 3745. <https://doi.org/10.3390/su11133745>.

Vallance, S., H.C. Perkins and J.E. Dixon. 2011. What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum* 40: 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2011.01.002>.

Van Passel, S., F. Nevens, E. Mathijb and G. Van Huylenbroeck. 2007. Measuring farm sustainability and explaining differences in sustainable efficiency. *Ecological Economics* 62: 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.06.008>.

Vilain, L., K. Boisset, P. Girardin, A. Guillaumin, C. Mouchet, P. Viaux and F. Zahm. 2008. *La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation*. 3a. Ed. Dijon, France: Educagri éditions.

- Webster, J.P.G. 1997. Assessing the economic consequences of sustainability in agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 64: 95-102. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00027-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00027-3).
- WCED - World Commission on Environment and Development. 1987. Our common future. Oxford, U.K.: Oxford University Press.
- Zahm F., P. Viaux, L. Vilain, F. Girardin and C. Mouchet. 2008. Assessing Farm Sustainability with the IDEA Method—from the Concept of Agriculture Sustainability to Case Studies on Farms. *Sustainable Development* 16: 271–281. <https://doi.org/10.1002/sd.380>.
- Zahm, F., A. Ugaglia, H. Boureau, B. Del’homme, J.M Barbier, P. Gasselin, M. Gafsi, L. Guichard, C. Loyce, V. Manneville, A. Menet and B. Redlingshofer. 2015. Agriculture et exploitation agricole durables: état de l’art et proposition de définitions revisitées à l’aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture. *Innovations Agronomiques* 46: 105–125.
- Zahm, F., A.A. Ugaglia, J.M. Barbier, H. Bourean, B. Del’homme, M. Gafsi, P. Gasselin, S. Girard, L. Guichard, C. Loyce, V. Manneville, A. Menet and B. Redlingshöfer. 2019. Évaluer la durabilité des exploitations agricoles, La méthode IDEA v4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité. *Cahiers Agricultures* 28: 5. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019004>.



Figure 1. Geographical location of the study area

Table 1. Comparison of sustainability assessment tools.

Methodology and version	<i>Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles - IDEA V 3</i>	Response-Inducing Sustainability Evaluation- <i>RISE V 3.0</i>	Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems <i>SAFA V 3.0</i>
Origen	France	Switzerland	Multiple countries
Institution	Multiple institutes	Bern University of Applied Sciences	Multiple institutes
<i>Normative aspects</i>			
Sustainability development concept	Economic viability, social liveability and environmental reproducibility (Francis et al., 1990).	Environmental non-degrading, technically appropriate, economically viable and socially acceptable (WCED, 1987).	
Goal setting	Provide an operational tool, top-down approach	Holistic assessment, top-down approach	Holistic on four domains, top-down approach
Application level	Multiple systems Farm level	Multiple systems Farm level	Multiple systems Regional level, Farm level
Aggregation method	Scale (3) Component (10) Indicator (42) Criteria (126)	Dimension (3) Topic (10) Indicator (50) Criteria (156)	Dimension (4) Theme (21) Subtheme (58) Indicator (116)
Scoring systems	Attributes scores to measured indicators and	The farm data is normalized to a scale	The score of each indicator is evaluated on

	sums them up into ten components and three scales. For each indicator a certain amount points can be obtained. Sustainability score of the farm is the lowest of the three scales.	from 0-100. A topic is calculated using arithmetic mean of several indicator scores, with all indicators being given equal weighting.	a scale from 1 to 5, SAFA indicates ways to measure the indicator. The score indicator is aggregated to the subtheme and theme level.
Dimensions and scoring range	Agroecological (0-100) Socioterritorial (0-100) Economic (0-100)	Environmental (0-100) Social (0-100) Economic (0-100)	Environmental (0-100) Social (0-100) Economic (0-100) Governance (0-100)
No. assess.	> 1500	> 2300	> 8600
Reference	Vilain et al. (2008)	Grenz et al. (2016)	FAO (2014)

Table 2. Farms Characteristics (n=10)

	Mean	SD¹	Maximum	Minimum
Total farm size (ha)	8.2	6.7	21	2
Total pastures (ha)	1.9	1	4	0.5
Another crop (ha)	3.7	3.3	12	1
Milking cows (n°)	8.2	4.2	17	2
Dry cows (n°)	3.6	3.6	13	1
Milk yield (kg/v/d)	15.2	3.1	21	10
Milk Protein (%)	2.8	0.1	2.92	2.58
Milk fat (%)	3.7	0.3	3.97	3.2
Family labour (persons)	1.5	0.53	2	1
Payed labour (persons)	0.25	0.42	1	0

¹SD= Standar Deviation

Table 3. Indicators by colour code.

	Green Positive (67-100)	Amber Critical (34-66)	Red Problematic (0-33)
Environmental			
IDEA	Diversity of annual or temporary crops. Animal diversity. Dimension of fields. Organic matter management. Effluent processing. Animal well-being. Water resource protection	Diversity of perennial crops. Fodder area management. Pesticides and veterinary products. Soil resource protection.	Cropping pattern. Ecological buffer zones. Stocking rate. Fertilization. Energy dependence.
	Soil reaction. Soil erosion. Opportunity for species-appropriate behaviour. Living conditions. Animal health. Water supply. Energy intensity. Ecological infrastructures.	Soil management. Crop productivity. Soil organic matter. Soil compaction. Livestock productivity. .materials flows. Plant protection. Air pollution. Soil and water pollution. Water management. Water use intensity. Irrigation. Energy management. Biodiversity management. Distribution of ecological infrastructures.	Herd management. Fertilization. Intensity of agricultural production. Diversity of agricultural production.
RISE			

SAFA	Air quality. Ecosystem diversity. Genetic diversity. .materials use. Energy use. Waste reduction and disposal. Freedom from stress.	Greenhouse gases. Water withdrawal. Water quality. Soil quality. Species diversity. Animal health.	Land degradation.
------	---	--	-------------------

Table 3. Indicators by color code (Continued....)

Social			
IDEA	Accessibility of space, Social involvement, Autonomy and valuation of local resources, Contribution to employment, Collective work, Probable farm sustainability, Isolation, Reception, hygiene and safety	Quality of foodstuffs produced, Processing of non-organic waste, Short trade, Contribution to world food balance, Animal welfare, Training, Quality of life	Labour intensity
RISE	Personnel management, Working hours, Health,	Safety to work, Wage and income level, Occupation and training, Financial situation, Personal freedom and values.	Social relations.
SAFA	Quality of life, Support to vulnerable people, Food sovereignty	Capacity development, Fair access to means of production, Responsible buyers, Non-discrimination, Gender equality, Workplace safety and health provisions, Public health	

Table 3. Indicators by color code (Continued....)

Economic			
	Green Positive (67-100)	Amber Critical (34-66)	Red Problematic (0-33)
IDEA	Available income per worker in relation to national legal minimum wage. Reliance on direct subsidies from governmental agencies and indirect economic impact of milk quotas. Total assets minus land value by non-salaried worker unit	Financial autonomy.	Economic specialization rate. Operating expenses as a proportion of production value.
	Business goals, strategy and implementation. Risk management.	Indebtedness. Livelihood security. Sustainable relationships.	Liquidity. Stability. Profitability. Availability of information.
RISE			

SAFA	Internal investment.	Long-ranging investment.	Food safety.
	Community investment.	Profitability. Liquidity. Food	
	Stability and production.	quality.	
	Stability and supply. Stability		
	of market. Risk management.		
	Value creation. Local		
procurement.			

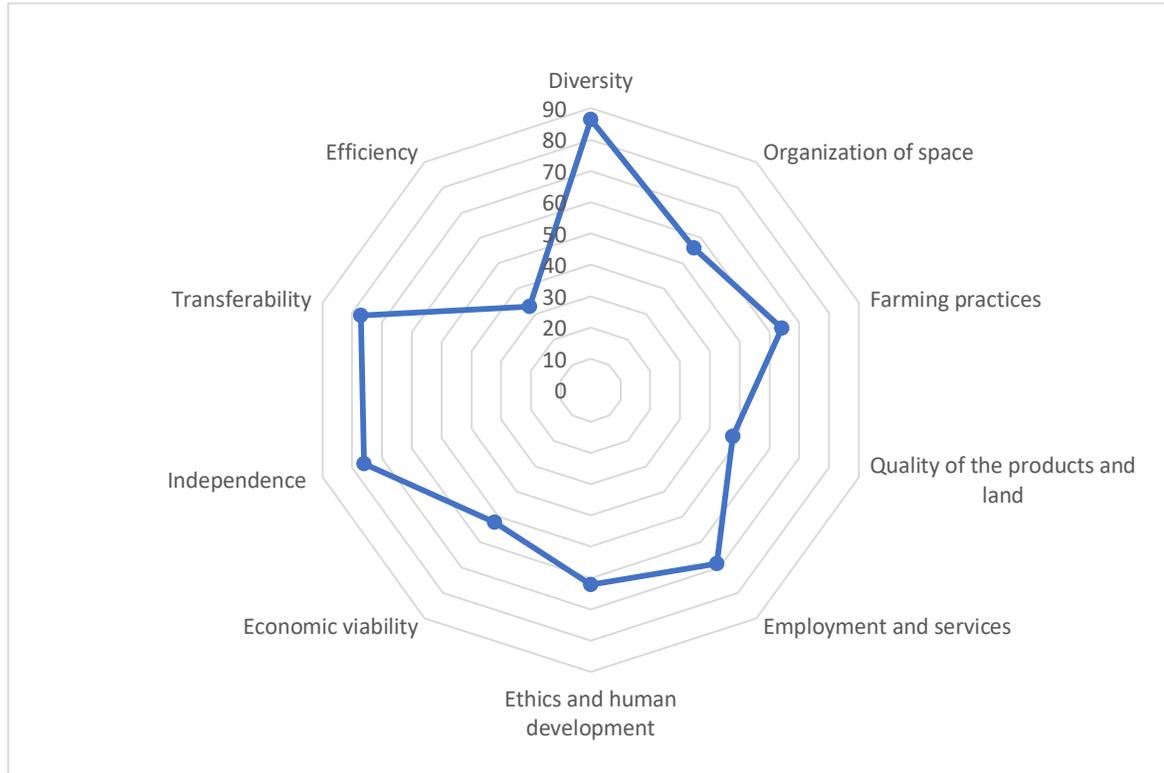


Figure 2. Average score by themes of the IDEA method

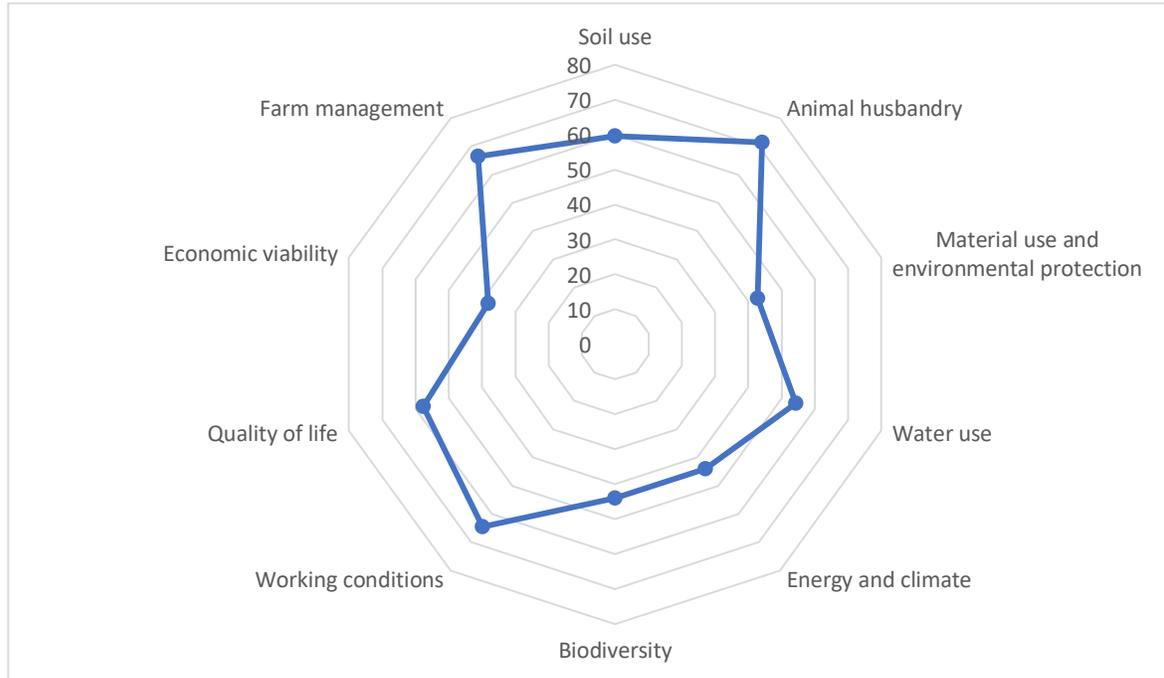


Figure 3. Average score by themes of the RISE method

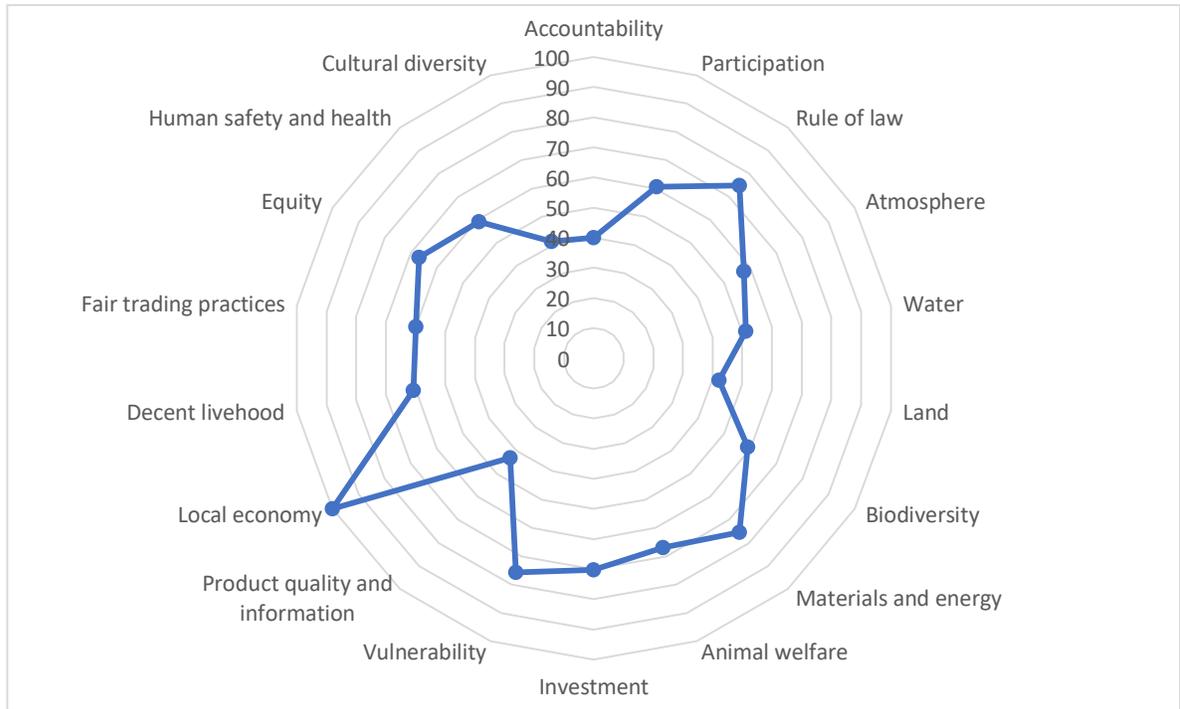


Figure 4. Average score by themes of the SAFA method

Table 4. Sustainability scores by dimension and method.

	IDEA		RISE		SAFA		P Value
	Median	IQR	Median	IQR	Median	IQR	
Environmental	70 ^a	7.5	52 ^c	6.8	58 ^b	2.8	0.001***
Social	60	8.0	61	10.0	58	4.3	0.193
Economic	58 ^b	15.7	52 ^b	13.0	72 ^a	5.5	0.001***
Good governance	-		-		58	5.5	-
Sustainability level	58 ^b	10.4	56 ^b	10.5	63 ^a	2.0	0.001***

Results values are a scale 0 to 100, 0 is lower value, 100 is upper value; IQR Interquartile Range; *** $P \leq 0.001$ (Kruskal-Wallis test); ^{a, b, c} ($P < 0.05$ by Mann-Whitney U test).

Appendix A. List of indicators, themes and dimensions and scores by methodologies.

Appendix A-1 Score by indicators from IDEA method

Dimension	Theme	Subtheme or Indicator	Maximum possible	Mean	SD	Max	Min	
Agroecological (100)	Diversity (33)	Diversity of annual or temporary crops	14	9	1.48	11	7	
		Diversity of perennial crops	14	6	0.00	6	6	
		Animal diversity	14	13	2.21	14	7	
		Enhancement and conservation of genetic heritage	6	0	0.00	0	0	
	Organization of space (33)	Cropping pattern	Cropping pattern	8	1	1.64	5	0
			Dimension of fields	6	6	0.00	6	6
			Organic matter management	5	5	0.00	5	5
			Ecological buffer zones	12	3	0.63	5	3
			Measures to protect the natural heritage	4	0	0.00	0	0
			Stocking rate	5	1	1.90	5	0
	Farming practices (34)	Fertilization	Fertilization	8	2	2.90	6	0
			Effluent processing	3	3	0.00	3	3
			Pesticides and veterinary products	13	8	1.03	9	7
Animal well-being			3	3	0.00	3	3	
Soil resource protection			5	3	0.57	4	2	
Water resource protection			4	3	0.95	4	1	
Socio- territorial	Quality of the products	Quality of foodstuffs produced	10	5	0.63	5	3	
		Enhancement of buildings and	8	0	0.00	0	0	

(100)	and land	landscape heritage					
	(33)	Processing of non-organic waste	5	2	1.41	3	0
		Accessibility of space	5	5	0.00	5	5
		Social involvement	6	4	0.00	4	4
	Employment	Short trade	7	4	1.26	4	0
	and services	Autonomy and valuation of local resources	10	7	0.63	7	5
(33)		Services, multi-activities	5	0	0.00	0	0
		Contribution to employment	6	6	0.00	6	6
		Collective work	5	4	0.42	5	4
		Probable farm sustainability	3	2	0.67	3	1
	Ethics and human development	Contribution to world food balance	10	6	2.57	8	2
		Animal welfare	3	1	0.70	2	0
	(34)	Training	6	4	1.16	6	2
		Labour intensity	7	0	0.42	1	0
		Quality of life	6	3	0.48	4	3
		Isolation	3	3	0.00	3	3
		Reception, hygiene and safety	4	4	0.00	4	4

Appendix A-1. (Continued).

Dimension	Theme	Subtheme or Indicator	Maximum possible	Mean	SD	Max	Min
Economic (100)	Economic viability (30)	Available income per worker in relation to national legal minimum wage	20	15	2.26	19	12
		Economic specialization rate	10	1	1.20	3	0
	Independence (25)	Financial autonomy	15	10	6.60	15	0
		Reliance on direct subsidies from governmental agency and indirect economic impact of milk and sugar quotas	10	9	1.70	10	6
	Transferability (20)	Total assets minus lands value by non-salaried worker unit	20	15	5.25	20	8
Efficiency (25)	Operating expenses as a proportion of production value	25	8	4.30	9	2	

Appendix A-2. Score by indicators from RISE method

Dimension	Theme	Subtheme or Indicator	Maximum possible	Mean	SD	Max	Min
Environmental (100)	Soil use (100)	Soil management	100	51	1.25	67	25
		Crop productivity	100	38	1.64	75	20
		Soil organic matter	100	62	2.08	98	23
		Soil reaction	100	67	0.00	67	67
		Soil erosion	100	95	0.77	100	84
		Soil compaction	100	45	1.35	65	15

Comparación de métodos para la evaluación de la sustentabilidad en sistemas de producción de leche en pequeña escala en México

Animal husbandry (100)	Herd management	100	28	1.92	67	0
	Livestock productivity	100	88	1.15	100	71
	Opportunity for species-appropriate behaviour	100	78	1.80	100	50
	Living conditions	100	94	0.72	100	79
	Animal health	100	70	1.67	83	25
Materials use and environmental protection (100)	Materials flows	100	47	0.86	58	30
	Fertilization	100	23	1.28	44	9
	Plant protection	100	36	1.19	50	25
	Air pollution	100	49	1.29	66	29
	Soil and water pollution	100	59	0.83	69	43
Water use (100)	Water management	100	46	0.69	54	35
	Water supply	100	70	0.67	83	63
	Water use intensity	100	41	0.64	52	34
	Irrigation	100	61	0.99	70	43

Appendix A-2. (Continued).

Dimension	Theme	Subtheme or Indicator	Maximum possible	Mean	SD	Max	Min
Environmental (100)	Energy and climate (100)	Energy management	100	55	1.57	70	25
		Energy intensity	100	76	3.38	100	3
		Greenhouse gas balance	100	0	0.00	0	0
	Biodiversity (100)	Biodiversity management	100	36	0.62	42	26
		Ecological infrastructures	100	88	3.11	100	2
		Intensity of agricultural production	100	28	2.25	80	0
		Distribution of ecological infrastructures	100	41	1.88	63	18
	Diversity of agricultural production	100	28	0.62	39	19	
Social (100)	Working conditions (100)	Personnel management	100	72	2.06	94	39
		Working hours	100	74	1.27	100	56
		Safety to work	100	62	0.92	85	55
		Wage and income level	100	50	1.12	67	31
	Quality of life (100)	Occupation and training	100	44	1.62	75	25
		Financial situation	100	44	2.08	88	25
		Social relations	100	79	0.99	88	63
	Personal freedom and values	100	49	1.08	67	33	
	Health	100	73	1.54	88	38	
Economic	Economic	Liquidity	100	23	2.49	75	0

Comparación de métodos para la evaluación de la sustentabilidad en sistemas de producción de leche en pequeña escala en México

(100)	viability (100)	Stability	100	33	2.64	75	0
		Profitability	100	35	0.80	50	25
		Indebtedness	100	54	4.72	100	0
		Livehood security	100	46	2.33	75	0
(100)	Farm management (100)	Business goals, strategy and implementation	100	80	0.91	88	63
		Availability of information	100	33	0.91	49	21
		Risk management	100	91	0.95	100	7
		Sustainable relationships	100	62	0.82	75	50

Appendix A-3. Score by indicators from SAFA method

Dimension	Theme	Subtheme or Indicator	Maximum possible	Mean	SD	Max	Min
Good governance	Corporative ethics	Mission statement	100	0	0	0	0
		Due diligence	100	0	0	0	0
	Accountability	Holistic audits	100	0	0	0	0
		Responsibility	100	40	0	40	40
		Transparency	100	0	0	0	0
	Participation	Stakeholder dialogue	100	63	14	87	40
		Grievance procedures	100	0	0	0	0
		Conflict resolution	100	60	23	100	20
	Rule of law	Legitimacy	100	60	0	60	60
		Remedy, restoration and prevention	100	0	0	0	0
		Civic responsibility	100	0	0	0	0
		Resource appropriation	100	90	0	90	90
	Holistic management	Sustainability management plan	100	0	0	0	0
		Full-cost accounting	100	0	0	0	0
Environmental integrity	Atmosphere	Greenhouse gases	100	37	4	40	33
		Air quality	100	78	8	83	67
	Water	Water withdrawal	100	55	0	55	55
		Water quality	100	48	14	54	21
	Land	Soil quality	100	62	11	75	39
		Land degradation	100	27	18	50	0
	Biodiversity	Ecosystem diversity	100	71	13	92	50

Comparación de métodos para la evaluación de la sustentabilidad en sistemas de producción de leche en pequeña escala en México

	Species diversity	100	36	11	51	22
	Genetic diversity	100	75	15	89	52
Materials and energy	.materials use	100	69	0	69	69
	Energy use	100	77	13	94	50
	Waste reduction and disposal	100	84	8	94	78
Animal welfare	Animal health	100	52	17	60	30
	Freedom from stress	100	80	15	100	63

Appendix A-3. (Continued).

Dimension	Theme	Subtheme or Indicator	Maximum possible	Mean	SD	Max	Min	
Economic resilience	Investment	Internal investment	100	90	11	100	80	
		Community investment	100	92	25	100	20	
		Long-ranging investment	100	42	14	70	30	
		Profitability	100	57	31	67	0	
	Vulnerability	Stability and production	Stability and production	100	80	9	88	63
			Stability and supply	100	77	0	77	77
			Stability of market	100	83	0	83	83
			Liquidity	100	50	0	50	50
			Risk management	100	90	32	100	0
	Product quality and information	Food safety	Food safety	100	23	5	33	20
			Food quality	100	65	14	100	50
			Product information	100	0	0	0	0
	Local economy	Value creation	Value creation	100	100	0	100	100
			Local procurement	100	100	0	100	100
	Social well-being	Decent	Quality of life	100	69	2	100	30
Livelihood		Capacity development	100	60	0	60	60	
		Fair access to means of production	100	56	2	80	20	
Fair trading practices		Responsible buyers	Responsible buyers	100	54	2	60	0
			Right of supplies	100	0	0	0	0
Labour right		Employment relations	Employment relations	100	0	0	0	0
			Forced labour	100	0	0	0	0

Comparación de métodos para la evaluación de la sustentabilidad en sistemas de producción de leche en pequeña escala en México

	Child labour	100	0	0	0	0
	Freedom of association and right to bargaining	100	0	0	0	0
Equity	Non discrimination	100	60	0	60	60
	Gender equality	100	50	0	50	50
	Support to vulnerable people	100	91	0	100	10
Human safety and health	Workplace safety and health provisions	100	48	5	50	33
	Public health	100	65	21	75	25
Cultural diversity	Indigenous knowledge	100	0	0	0	0
	Food sovereignty	100	82	5	84	67

Appendix B. Discarded indicators in each method.

	Dimension	Indicator
IDEA	Environmental	Enhancement and conservation of genetic heritage, Measures to protect the natural heritage
	Social	Enhancement of buildings and landscape heritage, Services, multi-activities
RISE	Environmental	Greenhouse gas balance
SAFA	Social	Right of supplies, Employment relations, Forced labour, Child labour, Freedom of association and right to bargaining, Indigenous knowledge
	Economic	Product information
	Governance	Mission statement, Due diligence, Holistic audits, Transparency, Grievance procedures, Civic responsibility, Sustainability management plan, Full-cost accounting

8.2. Reporte de actividades de la estancia académica

Las actividades que se realizaron se enmarcan principalmente dentro de los trabajos de ejecución del proyecto FEADER 2017/22B titulado "**VALORIZACIÓN DE LA LECHE DE VACA EN GALICIA CON SISTEMAS DE BAJO CARBONO**" que se desarrolla bajo la modalidad de Grupo Operativo por el CIAM, el Laboratorio Interprofesional Gallego de Análisis de Leche (LIGAL) y la cooperativa UGASMA..

Este Proyecto entra en un proyecto llamado Dairy-4-Future conformado por cinco países europeos (Irlanda, Reino unido, Francia, España y Portugal) que tiene como objetivo aumentar la competitividad, la sostenibilidad y la resiliencia de las granjas lecheras en el área del Atlántico. Su objetivo es identificar, evaluar y luego diseminar las prácticas innovadoras a las granjas lecheras europeas, a través de seminarios transnacionales o jornadas de puertas abiertas y herramientas técnicas: publicaciones, videos y herramientas de capacitación.

Dairy-4-Future se centra en cuatro temas clave: analizar las fortalezas y debilidades del sector lácteo en el área atlántica, fomentar la resiliencia económica del sector lácteo, mejorar la eficiencia en el uso de los recursos y determinar sistemas lácteos sostenibles para el futuro.

En el ensayo que estuvimos llevando a cabo se evalúa la respuesta productiva de vacas de raza Holstein en cinco sistemas de alimentación, a lo largo de una lactación completa.

En tres sistemas los animales permanecen estabulados y son alimentados con una ración completa elaborada a base de ensilados (S1: raigrás italiano anual y maíz forrajero; S2: mezcla de tréboles anuales con raigrás híbrido y maíz forrajero; S3: mezcla de tréboles anuales con raigrás híbrido y sorgo forrajero) y concentrados. En los otros dos sistemas los animales consumen pasto en primavera y otoño-invierno (S4: pradera de trébol violeta y raigrás inglés; S5: pradera monofita de raigrás inglés) y ensilados de las praderas respectivas complementados con concentrado durante las épocas de carencia de pasto en verano e invierno. Además se les suministraba diariamente 1 g/vaca al día de aceites esenciales; S1 que era control, S2 hoja de castaño, S3 flor de castaño, y S4 eucalipto. Durante cuatro periodos de tres semanas cada uno, y mediciones semanales de alimentos y leche.

En colaboración con este ensayo se realizaron las siguientes actividades:

1.- Alimentación con raciones completas mezcladas en carro *unifeed* a los grupos de vacas lactantes S1, S2 y S3. Medida de la ingesta individual en comederos automáticos. Toma de muestras de ingredientes de las raciones.

La alimentación se llevó a cabo diariamente, por la mañana. El proceso consistió en proporcionar el alimento de acuerdo al tratamiento, donde se dividía el total de la ración en tres comederos.

En el sistema 1, el total de la ración consistía en 356 kgMF, componiéndose por 148 kg de ensilado de maíz, 178 kg de ensilado de rye grass italiano, 12 kg de concentrado y 18 kg de soja. En promedio cada uno de los tres comederos iniciaba con 119 kgMF.

En el sistema 2, el total de la ración consistía en 378 kgMF, componiéndose dicha ración por 141 kg de ensilado de maíz, 207 kg de ensilado de una mezcla de raigrás y tréboles anuales, 12 kg de concentrado y 18 kg de soja. En promedio cada uno de los comederos iniciaba con 126 kgMF de alimento.

En el sistema 3, el total de la ración era para 12 vacas y consistía en 478 kgMF de alimento; componiéndose por 224 kg de ensilado de una mezcla de raigrás y tréboles anuales, 221 kg de ensilado de sorgo, 3 kg de heno, 12 kg de concentrado y 18 kg de soja. Cada uno de los seis comederos iniciaba con 80 kgMF de alimento.

Estos grupos de vacas permanecían en estabulación todo el día. El alimento que se les proporcionaba al día era pesado en los comederos, estos comederos están sentados en basculas digitales, la cuales mediante un programa registran la cantidad de alimento que consume cada vaca al día ya que cada vaca cuenta con un sensor individual que registra cada vez que la vaca consume una cantidad de alimento determinada; y el programa registra la diferencia de peso. Esto pasa con cada una de las vacas en estos tratamientos y así es estimado el consumo diario por vaca. De cada tratamiento se recolectaba una muestra de 300-350 g para después obtener materia seca (MS) y análisis bromatológicos.

2.- En los grupos S4 y S5, manejo del pastoreo rotacional. Medidas sobre el pasto: determinación del pasto en oferta (pre-post pastoreo), cambio de las vacas a diferentes praderas, basado en la altura y densidad de la pradera (regla graduada y pastómetro de plato), medidas de densidad de pasto.

Las vacas en las estrategias 4 y 5 pastaban 24 horas sus respectivas praderas.

El manejo de pastoreo rotacional, consistía en rotar los dos grupos de vacas (Pradera 1; raigrás inglés asociado con trébol violeta y Pradera 2; raigrás inglés) en pastoreo a una parcela diferente diariamente. Las medidas de las parcelas podían variar dependiendo de la densidad y altura del forraje.

Estas parcelas eran delimitadas mediante cercos eléctricos, se medía la altura de la pradera y se recolectaban muestras de forraje antes y después del pastoreo. El procedimiento consistía en hacer tres tomas de muestra por parcela a través de un cuadrante (0.40 m²). El cuadrante era ubicado al azar tres veces en la parcela, dentro del cuadrante se tomaba la altura del forraje mediante cinco mediciones por medio de una regla y una medición mediante un pastómetro, posteriormente el área de este cuadrante se cortaba. Además de las tomas de altura de los cuadrantes, se hacían 20 mediciones en diagonal a lo largo de la parcela y se tomaba una muestra general del forraje (300 g en promedio) simulando el pastoreo de las vacas, esta muestra se utilizaba para el respectivo análisis bromatológico.

3.- Procesado de muestras previas al análisis. Secado en estufas de gran capacidad, determinación del contenido en materia seca, molienda de muestras secas.

Todas las muestras de forraje tomadas, incluyendo las muestras de las raciones *unifeed*, las muestras de los cuadrantes pre y post pastoreo, y las muestras del pastoreo simulado eran pesadas y colocadas en bandejas para posteriormente secarlas en una estufa de gran capacidad a una temperatura de 60 °C por 24 horas. La diferencia entre el peso en materia fresca y el peso posterior al secado nos brinda el contenido de materia seca.

4.- Registro de espectros NIRS, obtención de predicciones de valor nutricional de forrajes frescos y ensilados.

Se colaboró en el análisis de alimentos mediante la técnica de Espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS) por sus siglas en inglés utilizando el equipo al analizar muestras de forrajes y de leche.

5.- Seguimiento de las labores de ensilado de cultivos de invierno (raigrás italiano y mezclas de tréboles anuales con raigrás híbrido).

Se realizaron dos estudios para evaluar el efecto de la técnica de ensilado sobre cultivos de invierno sobre la calidad del ensilado.

Los micro ensilados fueron realizados mediante la técnica realizada en el CIAM implementada por Flores et al (1997)

El primer ensayo tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación de un inoculante (SIL-ALL®) sobre la calidad de conservación y valor nutricional de los ensilados de dos cultivos de invierno: Raigras italiano anual (*Lolium multiflorum*), y una mezcla de Raigrás híbrido (*Lolium x Boucheanum*) y una mezcla de raigrás híbrido con tres tréboles anuales

(R3L), Trébol encarnado (*Trifolium incarnatum*), Trébol resupinatum (*T. resupinatum* ssp. *Resupinatum*) y trébol michelianum (*T. michelianum*)

Posteriormente se realizó otro estudio cuyo objetivo fue evaluar el efecto de la adición de aceites esenciales de *Eucapiltus globulus* sobre la fermentación y estabilidad aeróbica de ensilados de raigrás y leguminosas anuales (R3L) antes mencionadas. Las dosis de aceites esenciales fueron de: D1 (80 mg/kg Materia Fresca), D2 (160 mg/kg Materia Fresca), D3 (320 mg/kg Materia Fresca) y un control. Se midió la producción de efluente de cada ensilado, el nivel de pérdidas de materia seca durante el ensilado, la composición química, la calidad fermentativa del ensilado y la estabilidad aeróbica.

6. Visita a granjas de producción de leche convencional y ecológica y recolección de información, forraje, ensilados y concentrados.

Llevamos a cabo visitas a establos lecheros ecológicos y convencionales en comunidades de la región donde pude conocer como son los sistemas de producción en leche en pequeña escala en este país así como el manejo, la tecnificación, infraestructura y la forma de cómo estos sistemas llevan a cabo la producción de leche. En estas visitas pude darme cuenta de las diferencias que existen entre los sistemas de producción de leche en pequeña entre México y España.

Estos experimentos mencionados anteriormente van encaminados a buscar estrategias de alimentación en el ganado para poder obtener alimentos de mejor calidad y de manera sostenible, así como el evaluar nuevas variedades de forraje que se adapten al clima

predominate de la zona además de buscar beneficios al suelo como es el caso de los tréboles que se estudian en estos proyectos.

Bibliografía

Flores G., Gonzales A., Castro J. (1997) Evaluación de la utilidad de dos tipos de silos a pequeña escala para experimentación en la calidad de ensilados. En: Junta de Andalucía Consejería de Agricultura y Pesca (eds) Los pastos extensivos: producir conservando, pp373-378. Sevilla-Huelva, España; SEEP.

IX. CONCLUSIONES GENERALES

Al adoptar una herramienta existente, como IDEA, RISE y SAFA, se debe saber que un número de temas, de indicadores y procedimientos de medición de sostenibilidad estarán definidos, y gran parte también del diseño de la herramienta es fijo. Las metodologías IDEA, RISE y SAFA comparten en esencia el concepto del desarrollo sostenible a partir de la integración holística de las dimensiones de sostenibilidad, además, de ser sensibles en la evaluación dado que a partir de estas es posible identificar indicadores problemáticos, con la finalidad de tomar decisiones que permitan dirigir a las UP en el camino del desarrollo sostenible, sin dejar a un lado las fortalezas con la finalidad de lograr un equilibrio. Se identificó a IDEA y RISE como las metodologías más fuertes para la evaluación a nivel de finca, estas no presentaron diferencias en las dimensiones social y económica y en el nivel de sostenibilidad. IDEA fue la metodología menos exigente en los indicadores medioambientales, a diferencia de RISE y SAFA quienes destinan la mayor cantidad de los esfuerzos en esta dimensión. En conjunto estas metodologías permiten comprender el desarrollo sostenible al generar una interacción entre instituciones de investigación y productores del medio rural, además de elevar el nivel de compromiso y conciencia en las UP y el entorno en el que se encuentran. El nivel de sostenibilidad promedio demuestra que no existen grandes diferencias, que a pesar de que los indicadores varían en su forma de medición, comparten más del 70% de los objetivos y sitúa a las UP en un nivel crítico de sostenibilidad según la escala de semáforo.

La variabilidad en las herramientas de evaluación de sostenibilidad y en sus resultados posiblemente siempre existirá, ya que las decisiones en el desarrollo de una herramienta serán distintas debido a diferencias en el contexto, los criterios de selección (por ejemplo, presupuesto, tiempo, disponibilidad de datos científicos, validez), los límites del sistema y el marco de referencia (es decir, conocimiento, valores, normas, convicciones y de interés) de los involucrados.

X. LITERATURA CITADA

Améndola-Massiotti, R.D, J. Cortez-Arriola, M.E. Álvarez-Sánchez and O. Rojas-López. 2011. Análisis preliminar de la sustentabilidad de sistemas de producción lechera de Marcos Castellanos, Michoacán. In: *La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes. Volume 2*. B. Cavallotti Vázquez, B. Ramírez Valverde, F.E. Martínez Castañeda, C.F. Marcof Álvarez and A. Cesín Vargas, 15 – 32. Chapingo, México: Universidad Autónoma Chapingo.

Benidir, Mohamed.,Ghozlane, Faissal.,Bousbia, Aissam.,Belkheir, Boussad.(2013). The Use Of A Critical Analysis Of A Multicriterion Method (Idea) For Assessing The Sustainability Of Sedentary Sheep Rearing Systems In The Algerian Steppe Areas. *African Journal Of Agricultural Research*, 8(9), Pp. 804-811

Bennett A, Lhoste F, Crook J, Phelan J. (2006). Futuro de la producción lechera en pequeña escala. Informe pecuario 2006. FAO, Roma. Pág. 1-8. (Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0255s/a0255s05.pdf>) Consultado el 30 de septiembre de 2016.

Berbec, A.K., B. Feledyn-Szewczyk, C. Thalmann, R. Wyss, J. Grenz, J. Kopiński, J. Stalenga and P. Radzikowski. 2018. Assessing the Sustainability Performance of Organic and Low-Inputs Conventional Farms from Eastern Poland with RISE Indicator System. *Sustainability* 10: 1792. <https://doi.org/10.3390/su10061792>.

- Binder, C., G. Feola and J.K. Steinberger. 2010. Considering the normative, systemic and procedural dimensions in indicator-based sustainability assessments in agriculture. *Environmental Impact Assessment Review* 30: 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.eair.2009.06.002>.
- Bockstaller, C., P. Feschet and F. Angevin. 2015. Issues in evaluating sustainability of farming systems with indicators. *OCL* 22(1): D102. <http://doi.org/10.1051/ocl/2014052>.
- Brunett-Pérez, L., C. González-Esquivel, and L. A. García-Hernández. 2005. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Research for Rural Development* 17 (7): 78. [online] URL: <http://www.lrrd.org/lrrd17/7/pere17078.htm>
- Bruntland (1987): Report Of The World Commission On Environment And Development. General Assembly. United Nations. 42a Session 4 August 1987.
- COFOCALEC-Consejo para el Fomento de la Calidad de Leche y Sus Derivados A.C., 2004. NMX-700-COFOCALEC-2004. Sistema producto leche alimento lácteo leche cruda de vaca especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba. México, D.F.
- Conroy, C. 2005. *Participatory livestock research: a guide*. Bourton-on-Dunsmore, Warwickshire, U. K.: ITDG Publishing.

- De Mey, K., D'Haene, K., Marchand, F., Meul, M., Lauwers, L., 2011. Learning through stakeholder involvement in the implementation of MOTIFS: an integrated assessment model for sustainable farming in Flanders. *Int. J. Agric. Sustain.* 9,350–363.
- De Olde, E.M., Derkzen, P., Oudshoorn, F., Sørensen, C.A.G., 2016b. Lessons learned from a qualitative sustainability assessment method “Farm Talks”, 12th European IFSA Symposium, 12 – 15 July 2016, Harper Adams University, UK.
- de Olde, E.M., E.A.M. Bokkers and I.J.M. de Boer. 2017. The Choice of the Sustainability Assessment Tool Matters: Differences in Thematic Scope and Assessment Results. *Ecological Economics* 136: 77-85. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.015>.
- de Olde, E.M., F.W. Oudshoorn, C.A.G. Sørensen, E.A.M. Bokkers and I.J.M. de Boer. 2016. Assessing sustainability at farm level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators*. 66: 391-404. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.047>.
- Espinoza-Ortega, A., E. Espinosa-Ayala, J. Bastida-López, T. Castañeda-Martínez, C.M. Arriaga-Jordán. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Experimental Agriculture* 43: 241–256. <https://doi.org/10.1017/S0014479706004613>.

Espinoza-Ortega, Angélica; Álvarez-Macías, Adolfo; del Valle, María del Carmen; Chauvete, Michelle. (2005): La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria en México*, 43: 39-56

Fadul-Pacheco, L., M.A. Wattiaux, A. Espinoza-Ortega, E. Sánchez-Vera and C.M. Arriaga-Jordán. 2013. Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highlands of Mexico during the rainy season. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37: 882–901. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.775990>.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014a. *Greenhouse gas emissions from agriculture, forestry and other land use*. Rome, Italy: FAO.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2010. *Status and prospects for smallholder milk production a global perspective*. FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2013. *Organic supply chains for small farmer income generation in developing countries – Case studies in India*. Rome, Italy: FAO.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2014b. *SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems. Guidelines Version 3.0*. Rome. Italy: FAO.

- FAO, 2013a. Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems (SAFA):Guidelines, Version 3.0. Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Field, A. 2013. *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics*. Fourth Ed. London, U.K.: SAGE Publications.
- Flysjö A. 2012. *Greenhouse gas emissions in milk and dairy product chains: Improving the carbon footprint of dairy products*. Doctoral Thesis. Science and Technology. Aarhus University, Denmark.
- García H. L. A. (1996). *Las Importaciones Mexicanas De Leche Descremada En Polvo En El Contexto Del Mercado Mundial Y Regional*. 2a Ed. U. S. Dairy Export Council/Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco.
- González F. (2016): *Comparación de la digestibilidad in vitro, mediante incubación con líquido ruminal o enzimas, en forrajes de cereales de grano pequeño en sistemas de producción de leche en pequeña escala*. Tesis de licenciatura. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Goodman, L.A. 2011. Comment: On respondent-driven sampling and snowball sampling in hard-to-reach populations and snowball sampling not in hard-to-reach populations. *Sociological Methodology*. 41(1): 347-353. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9531.2011.01242.x>.

Grenz J., Thalmann C., Stämpfli A., Studer C. and, Häni F. (2009): RISE – a method for assessing the sustainability of agricultural production at farm level. Rural Development News.

Grenz, J., 2016a. Paper on RISE. Personal Communication.

Grenz, J., R. Mainiero, M. Schoch, F. Sereke, S. Stalder, C. Thalmann and R. Wyss. 2016. *RISE 3.0 Manual. Sustainability themes and indicators*. School of Agricultural, Forest and Food Sciences, Bern University of Applied Sciences. Zollikofen, Switzerland.

Grenz, J., Schoch, M., Stämpfli, A., Thalmann, C., 2012. RISE 2.0 Field Manual. School of Agricultural, Forest and Food Sciences (Bern University of Applied Sciences), Zollikofen, Switzerland.

Häni, F., F. Braga, A. Stämpfli, T. Keller, M. Fischer and H. Porsche. 2003. RISE, a tool for holistic sustainability assessment at the farm level. *International Food and Agribusiness Management Review* 6(4): 78-90.

Häni, F., Gerber, T., Stämpfli, A., Porsche, H., Thalmann, C., Studer, C., 2006. An Evaluation Of Tea Farms In Southern India With The Sustainability Assessment Tool Rise. International Forum On Assessing Sustainability In Agriculture (Infasa), Bern, Switzerland.

- Hayati, D., Z. Ranjbar and E. Karami. 2010. Measuring Agricultural Sustainability. In Lichtfouse E. (eds) Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture. *Sustainable Agriculture Reviews* 5: 73-100. http://doi.org/10.1007/978-90-481-9513-8_2.
- INEGI. 2007. Censo Agrícola, ganadero y forestal 2007. INEGI- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/219>. Accessed 15 September 2018.
- INEGI. 2009. Prontuario de Información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Aculco. México. INEGI- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/15/15003.pdf. Accessed 24 September 2019.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and USA.
- Jongeneel R. and L. Slangen 2013. Sustainability and resilience of the dairy sector in a changing world: A farm economic and EU perspective. In: *Sustainable Dairy Production*, ed. P. de Jong 55 - 86.. London, U.K. Wiley-Blackwell.

Joseph-Castillo J. (2009): Convenience sampling applied to research. Experiment-Resources.com Scientific Method: A website about research and experiments <http://www.experiment-resources.com/conviencencesampling.html>.

Jouzi, Z., H. Azadi, F. Taheri, K. Zarafshani, K. Gebrehiwot, S. Van Passel and P. Lebailly. 2017. Organic farming and small-scale farmers: Main opportunities and challenges. *Ecological Economics* 132: 144–154. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.10.016>.

M’Hamdi, N., R. Aloulou, M. Hedhly and M. Ben Hamouda. 2009. Évaluation de la durabilité des exploitations laitières tunisiennes par la méthode IDEA. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 13(2): 221–228. <https://popups.uliege.be:443/1780-4507/index.php?id=3865>.

Marchand, F., Debruyne, L., Triste, L., Gerrard, C., Padel, S., Lauwers, L., 2014. Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. *Ecology and Society* 19: No. 3, Art. 46.

Martínez-García C.G. Rayas-Amor. A., Anaya J.P., Martínez F.E., Espinoza A., Prospero F. Arriaga C.M. (2015). Performance Of Small-Scale Dairy Farms In The Highlands Of Central Mexico During The Dry Season Under Traditional Feeding Strategies. *Tropical Animal Health And Production*, 47, 331-337.

Martínez-García, C.G., P. Dorward and T. Rehman. 2012. Farm and socioeconomic characteristics of small-holder milk producers and their influence on the technology

adoption in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 44:1199-1211.

<https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0>

Moretti, M., A. de Boni, R. Roma, M. Fracchiolla and S. van Passel. 2016. Integrated assessment of agro-ecological systems: The case study of the “Alta Murgia” National Park in Italy. *Agricultural Systems* 144: 144-155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.007>.

Ngan, S.L., B.S. How, S.Y. Teng, M.A.B. Promentilla, P. Yatim., A.C. Er and H.L. Lam. 2019. Prioritization of sustainability indicators for promoting the circular economy: The case of developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 111: 314-331. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.001>.

Pincay-Figueroa, P.F., López-González, F., Velarde-Guillén, J., Heredia-Nava, D., Martínez-Castañeda, F.E., Vicente, F., Martínez-Fernández, A. and ArriagaJordán, C.M., 2016. Cut and carry vs. grazing of cultivated pastures in smallscale dairy systems in the central highlands of Mexico, *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 110, 349 – 363

Posadas-Domínguez, R.R., C.M. Arriaga-Jordán and F.E. Martínez-Castañeda. 2014. Contribution of labour to the profitability and competitiveness on small-scale dairy production systems in central México. *Tropical Animal Health and Production* 46: 235–240. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0482-4>.

- Prospero-Bernal, F., C.G. Martínez-García, R. Olea-Pérez, F. López-González and C.M. Arriaga-Jordán. 2017. Intensive grazing and maize silage to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 49: 1537–1544. <https://doi.org/10.1007/s11250-017-1360-2>.
- Reed, M.S., E.D.G. Fraser and A.J. Dougill. 2006. An adaptive learning process for developing and applying sustainability indicators with local communities. *Ecological Economics* 59: 406-418.
- Romo-Bacco, C.E., A.G. Valdivia-Flores, R.G. Carranza-Trinidad, J. Cámara-Córdova, M.P. Zavala-Arias, E. Flores-Ancira and J.A. Espinosa-García. 2014. Gaps in economic profitability among small-scale dairy farms in the Mexican Highland Plateau. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 5(3): 273-290.
- Sarandón, J. S. 2002. El desarrollo y uso de indicadores para evaluar la sustentabilidad de los agroecosistemas. In: *Agroecología, el camino hacia una agricultura sustentable*. 394-414. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Científicas Americanas.
- Schader, C., J. Grenz, M.S. Meier, and M. Stolze. 2014. Scope and precision of sustainability assessment approaches to food systems. *Ecology and Society* 19: No. 3, Art. 42. <https://dx.doi.org/10.5751/ES-06866-190342>.
- Schindler, J., Graef, F., König, H., 2015. Methods to assess farming sustainability in developing countries. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1043–1057.

- Sedgwick, P. 2013. Statistical question: Snowball sampling. *British Medical Journal* 347: f7511. <https://doi.org/10.1136/bmj.f7511>.
- SIAP. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2015): Panorama de la lechería en México.
- SMN-CONAGUA. 2019. Resúmenes mensuales de temperatura y lluvia. Servicio Meteorológico Nacional- Comisión Nacional del Agua. <http://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia>. Accessed 20 Aug 2019.
- Soldi, A., M.J. Aparicio Meza, M. Guareschi, M. Donati and A.I. Ortiz. 2019. Sustainability Assessment of Agricultural Systems in Paraguay: A Comparative Study Using FAO's SAFA Framework. *Sustainability* 11: 3745. <https://doi.org/10.3390/su11133745>.
- Val- Arreola D, Kebreab E. y France J. (2006) Modeling Small-Scale Dairy Farms in Central Mexico. *Journal of Dairy Science*. 89:1662–1672.
- Vallance, S., H.C. Perkins and J.E. Dixon. 2011. What is social sustainability? A clarification of concepts. *Geoforum* 40: 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2011.01.002>.
- Van Passel, S., F. Nevens, E. Mathijb and G. Van Huylenbroeck. 2007. Measuring farm sustainability and explaining differences in sustainable efficiency. *Ecological Economics* 62: 149-161. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.06.008>.

- Vilain, L., K. Boisset, P. Girardin, A. Guillaumin, C. Mouchet, P. Viaux and F. Zahm. 2008. *La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation*. 3a. Ed. Dijon, France: Educagri éditions.
- Von Wirén-Lehr, S., 2001. Sustainability in agriculture—an evaluation of principal goaloriented concepts to close the gap between theory and practice. *Agric. Ecosyst.Environ.* 84, 115–129.
- WCED - World Commission on Environment and Development. 1987. *Our common future*. Oxford, U.K.: Oxford University Press.
- Webster, J.P.G. 1997. Assessing the economic consequences of sustainability in agriculture. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 64: 95-102. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(97\)00027-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(97)00027-3).
- Wiggins S., Tzintzun-Rascón R., Ramírez-González M., Ramírez-González R., Ramírez-Valencia F.J., Ortiz-Ortiz G., Piña-Cárdenas B., Aguilar-Barradas U., Espinoza Ortega A., Pedraza-Fuentes A.M., Rivera-Herrejón G. and Arriaga-Jordán C.M. 2001. *Costos y Retornos de la Producción de Leche en Pequeña Escala en la Zona Central de México. La lechería como empresa*, (Serie Cuadernos de Investigación, Cuarta Época 19. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México).
- Zahm F., P. Viaux, L. Vilain, F. Girardin and C. Mouchet. 2008. *Assessing Farm Sustainability with the IDEA Method—from the Concept of Agriculture*

Sustainability to Case Studies on Farms. *Sustainable Development* 16: 271–281.

<https://doi.org/10.1002/sd.380>.

Zahm F., P. Viaux, P. Girardin, L. Vilain, and C. Mouchet (2006), “Farm Sustainability Assessment using the IDEA Method: From the concept of farm sustainability to the case studies on French farms”, in Häni F.J., L. Pintér, H.R. Herren (eds.), From Common Principles to Common Practice, Proceedings and Outputs of the first Symposium of the International Forum on Assessing Sustainability in Agriculture (INFASA), International Institute of Sustainable Development and Swiss College of Agriculture, Bern, pp. 77-110.

Zahm, F., A. Ugaglia, H. Boureau, B. Del’homme, J.M Barbier, P. Gasselin, M. Gafsi, L. Guichard, C. Loyce, V. Manneville, A. Menet and B. Redlingshofer. 2015. Agriculture et exploitation agricole durables: état de l’art et proposition de définitions revisitées à l’aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture. *Innovations Agronomiques* 46: 105–125.

Zahm, F., A.A. Ugaglia, J.M. Barbier, H. Bourean, B. Del’homme, M. Gafsi, P. Gasselin, S. Girard, L. Guichard, C. Loyce, V. Manneville, A. Menet and B. Redlingshöfer. 2019. Évaluer la durabilité des exploitations agricoles, La méthode IDEA v4, un cadre conceptuel combinant dimensions et propriétés de la durabilité. *Cahiers Agricultures* 28: 5. <https://doi.org/10.1051/cagri/2019004>.