Evaluación de la sostenibilidad entre 2010 y 2015 de sistemas de producción de leche en pequeña escala en el altiplano central de México

F. Prospero-Bernal[1,2], F. López-González[1], C.G. Martínez-García[1] y C.M. Arriaga-Jordán[1,*]

[1] Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México. Instituto Literario #100, Toluca, Estado de México, México, CP 50000

[2] Centro de Investigaciones Agrarias de Mabegondo (CIAM) Mabegondo. Galicia, España CP 15318

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar el nivel de sostenibilidad a través del tiempo en sistemas de producción de leche en pequeña escala con un manejo convencional de corte y acarreo de praderas irrigadas, más pajas de cereales y concentrados comerciales, en el altiplano central de México. Se evaluó la sostenibilidad de cinco explotaciones en dos ciclos productivos con una diferencia de cinco años 2010 y 2015, mediante el método IDEA (*Indicateurs de Durabilité des Explotations Agricoles* – Indicadores de Sostenibilidad en Explotaciones agropecuarias) bajo un esquema de investigación participativa rural. Se aplicaron encuestas semiestructuradas mensualmente en cada año de evaluación durante todo un ciclo productivo (doce meses). Los análisis económicos fueron deflactados a diciembre de 2015 para ambos ciclos de evaluación. En ambos años de evaluación la escala económica resultó ser el factor limitante en el nivel de sostenibilidad al obtener las menores puntuaciones respecto a las escalas agroecológica y socioterritorial. Se presentaron diferencias ($P < 0,05$) para manejo de nutrientes y espacios en la escala agroecológica, que fueron 21 % mayores en 2015. Asimismo, se identificaron diferencias ($P < 0,05$) en los componentes de viabilidad e independencia de la escala económica, siendo 53 y 60 % menores en el ciclo 2015 respecto a 2010, resaltando que no existen diferencias en el rendimiento de leche por vaca y las estrategias de alimentación entre los ciclos de evaluación, lo que indica que las explotaciones al mantenerse estáticas y no implementar innovaciones en las prácticas de manejo tienden a disminuir la rentabilidad y por ende disminuir su nivel de sostenibilidad.

Palabras clave: Desarrollo rural, método IDEA, sistema de corte y acarreo, praderas de riego, rentabilidad económica.

Assessment of the sustainability between 2010 and 2015 of small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico

Abstract

The objective was to assess the sustainability through time of small-scale dairy systems with a conventional management of cut-and-carry of irrigated pastures, plus cereal straws and commercial concentrates, in the highlands of central Mexico. Sustainability was assessed in two productive cycles five years

* Autor para correspondencia: cmarriagaj@uaemex.mx

Cita del artículo: Prospero-Bernal F, López-González F, Martínez-García CG y Arriaga-Jordán CM (2020). Evaluación de la sostenibilidad entre 2010 y 2015 de sistemas de producción de leche en pequeña escala en el altiplano central de México. ITEA-Información Técnica Económica Agraria 116(1): 41-56. https://doi.org/10.12706/itea.2019.017

apart, 2010 and 2015, following the IDEA Method (*Indicateurs de Durabilité des Explotations Agricoles* – Sustainability Indicators in Agricultural Farms) under a rural participatory research approach. Semi-structured interviews were applied monthly over the two years of assessment. Economic analyses were deflated to December 2015 for both cycles. In both assessment cycles, the economic scale was the factor limiting sustainability given the lower scores compared to the agroecological and socioterritorial scales. There were differences ($P < 0.05$) for management of nutrients and space in the agroecological scale, which were 21 % higher in 2015. Furthermore, there were differences ($P < 0.05$) in the economic scale for the components of economic viability and independence that were 53 and 60 % lower in 2015 than 2010, noting that there were no differences in yields per cow and in feeding strategies in both assessment cycles; which showed that farms that remained static and did not innovate in their production practices tend to reduce their profitability, and therefore their sustainability.

Keywords: Rural development, IDEA method, cut and carry system, irrigated pastures, economic profitability.

Introducción

Actualmente los sistemas de producción agropecuarios enfrentan el reto de aumentar la producción de alimentos, sin posibilidad de aumentar la superficie agrícola y con la disminución en el uso de recursos no-renovables, a fin de entrar en una dinámica de desarrollo sostenible (Flysjö, 2012). En ese contexto, las explotaciones de producción de leche tienen el reto de incrementar los rendimientos con la menor huella de carbono (Gerber *et al.,* 2011). Según FAOSTAT (2018) se ha incrementado al doble la producción de leche a nivel internacional en el último medio siglo, y México ocupa actualmente el lugar 14 (FAOSTAT, 2018).

La producción de leche en México se realiza bajo condiciones heterogéneas, dada por las condiciones agroclimáticas, sociales de cada región y el nivel de tecnificación, distinguiéndose los siguientes sistemas de producción: i) sistemas intensificados con ganadería de gran escala, rendimientos superiores a 30 kg/vaca al día y ganado especializado, ubicada en el norte de México (Odermatt y Santiago, 1997); ii) sistemas de pequeña escala, caracterizados por emplear pequeñas superficies de tierra, hatos entre 3 y 35 vacas más sus reemplazos, y depender de la fuerza de trabajo familiar (Fadul-Pacheco *et al*., 2013); y iii) los sistema extensivos de las zonas tropicales con ganadería de doble propósito y rendimientos promedio de 6 kg por vaca al día (Odermatt y Santiago, 1997). Los sistemas en pequeña escala toman relevancia al representar el 78 % de las explotaciones especializadas en producción de leche, aportar el 37 % de la producción nacional (Hemme *et al*., 2007), generar empleos a nivel de explotación y en la localidad (Espinoza-Ortega *et al*., 2007), además son una opción para superar los índices de pobreza en el medio rural (Espinoza-Ortega *et al*., 2007; FAO, 2010). El Estado de México representa el 1,14 % de la superficie nacional con una extensión de 22.499,5 km^2, ubicado en el altiplano central mexicano, es el séptimo productor de leche del país, donde el 90 % de las explotaciones son en pequeña escala (INEGI, 2007).

Las unidades de producción de leche en pequeña escala del altiplano central de México con acceso a riego basan la alimentación del ganado en una estrategia convencional basada en el corte y acarreo de praderas irrigadas de clima templado, suplementación con concentrado comercial, grano y mazorcas de maíz, y pajas de cereales (principalmente maíz, pero también de avena, cebada y trigo, ya que tienen acceso a riego en la época seca (Alfonso-Ávila *et al*., 2012; Martínez-García *et al.,* 2015; Pincay-Figueroa *et al*., 2016).

Trabajos realizados han demostrado que la implementación del pastoreo de praderas y la utilización de ensilados (principalmente ensilado de maíz) durante la época seca de invierno-primavera, reducen los costos de alimentación, la dependencia de alimentos externos a la unidad de producción, e incrementan el nivel de sostenibilidad (Prospero-Bernal *et al*., 2017). Sin embargo, los procesos de adopción de nuevas tecnologías y cambio en las prácticas de manejo son lentos y requieren de la concurrencia de diversos factores que afectan la decisión de los productores para adoptar una innovación (Juárez-Morales *et al*., 2017).

En la mayor parte de México, los productores conservan sus prácticas de manejo de manera invariable sin incorporar cambios o innovaciones, por lo que es necesario evaluar la sostenibilidad de estas explotaciones a través del tiempo, para identificar sus perspectivas a futuro, así como áreas de oportunidad.

La evaluación de la sostenibilidad es un elemento clave para hacer eficiente la toma de decisiones en los sistemas de producción por la identificación de puntos críticos (Zahm *et al*., 2008 y 2015), además de tener la capacidad de detectar a través del tiempo los impactos que se originan en los sistemas por efectos de los sucesos económicos, climatológicos, políticos y sociales (Vilain *et al.,* 2008). Además, la evaluación de la sostenibilidad de estos sistemas es importante y necesaria, al ser la producción de leche un sector de relevancia e identidad en varias regiones, que se liga a los modos de vida de las comunidades rurales y que representa una interesante herramienta de desarrollo rural (Makkar Harinder, 2016).

Lo anterior es particularmente importante dado que la evaluación inicial de la sostenibilidad de estos sistemas identificó la escala económica como el eslabón más débil. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el nivel de sostenibilidad de explotaciones de leche en pequeña escala que tienen un manejo convencional en la alimentación de los hatos, en 2010 y en 2015, con la finalidad de identificar el efecto de los cambios sociales, ambientales y económicos a través del tiempo e identificar la resiliencia de estas explotaciones.

Material y métodos

Área de estudio

Este trabajo se realizó en el municipio de Aculco del altiplano central mexicano ubicado en las coordenadas 20° 05′ 58″ N y 99° 49′ 37″ W, a una altitud media de 2440 msnm, con clima templado sub-húmedo, precipitación media anual de 800 mm, temperatura media anual de 13,2 °C, con una época de lluvias bien definida de mayo a octubre y época seca en invierno y primavera con heladas en invierno (INEGI, 2007).

Selección de las unidades de producción y periodos de evaluación

Se invitó a participar a los propietarios de cinco unidades de producción de leche en pequeña escala con características similares bajo un muestreo de bola de nieve (Fadul-Pacheco *et al.,* 2013). Los periodos se conformaron de dos ciclos de producción de un año cada uno, el primero fue de mayo de 2010 a abril de 2011, el segundo año fue de enero a diciembre de 2015. Se recolectó información de forma mensual durante cada periodo de evaluación con visitas a las explotaciones de leche a través de una encuesta semiestructurada. Las encuestas recogieron información referente al desarrollo y manejo de la unidad de producción, necesaria para la evaluación de los indicadores sociales, ecológicos y económicos (Tabla 1). Dado que los ganaderos de leche en pequeña escala no llevan registros, fue necesario recolectar y generar la información para el estudio (ver Tablas 2 y 3).

Tabla 1. Escalas, componentes e indicadores del método IDEA V3.
Table 1. Scales, components and indicators of the IDEA V.3 method.

Escala	Componente	Indicadores
Agro-ecológica	Diversidad local	Diversidad de cultivos anuales, diversidad de cultivos perenes, diversidad animal y valoración y conservación del patrimonio genético*
	Manejo de nutrientes y espacio	Rotación de cultivos, dimensión de las parcelas, manejo de desechos orgánicos, zonas de regulación ecológica, contribución al mejoramiento ambiental de territorio*, valoración del espacio y gestión de las superficies forrajeras
	Prácticas de manejo	Fertilización, manejo del estiércol, pesticidas, productos veterinarios, protección del suelo, gestión del agua y dependencia energética
Socioterritorial	Calidad del producto	Calidad del producto, valoración del patrimonio y paisaje*, manejo de residuos inorgánicos, acceso al predio y vinculación comunitaria
	Empleos y servicios	Comercio local, autonomía y valoración de los recursos locales, servicios y actividades múltiples*, generación de empleo, trabajo colectivo y sustentabilidad probable de la explotación
	Ética y desarrollo humano	Dependencia de insumos comerciales, bienestar animal, formación y grado escolar, intensidad de trabajo, calidad de vida, aislamiento y calidad de las instalaciones.
Económica	Viabilidad	Viabilidad económica y tasa de especialización económica
	Independencia	Autonomía financiera y sensibilidad a los apoyos de gobierno
	Transmisibilidad	Transmisibilidad
	Eficiencia	Eficiencia de los procesos productivos

* Indicadores no incluidos en este estudio, por falta de información para su evaluación.
Fuente: Vilain *et al*., 2008.

El trabajo se realizó bajo un esquema de investigación participativa rural para el desarrollo y evaluación de tecnología agropecuaria, en el cual los investigadores y ganaderos tienen un consenso sobre la importancia del desarrollo de la evaluación, con la finalidad de compartir objetivos del trabajo de campo y su relevancia en los resultados finales del trabajo. Esto confiere mayor participación de los ganaderos y que la información que brindan de las explotaciones sea certera y real, dado que al tener un papel relevante en la investigación brindan información precisa al estar integrados en el desarrollo de la investigación (Conroy, 2005).

Evaluación de la sostenibilidad

La evaluación de la sostenibilidad se realizó bajo la metodología IDEA (Indicadores de Sostenibilidad de Explotaciones Agropecuarias – *Indicateurs de Durabilité des Explotations Agricoles*) en su tercera versión (Vilain *et al.*, 2008), la cual se maneja bajo la premisa de que todo desarrollo sostenible debe ser ecológicamente sano, socialmente justo y económicamente viable. El método consta de 17 objetivos que se conjugan en las tres escalas de sostenibilidad: agroecológica, socioterritorial y económica. En la Tabla 1 se muestran las escalas, componentes e indicadores que cons-

tituyen al método IDEA. Los indicadores son ponderados y cada escala puede alcanzar un puntaje máximo de 100. El Método IDEA establece que el valor de la sostenibilidad de una explotación agropecuaria corresponde al menor de los valores de cada una de las tres dimensiones, por ser esa escala con el menor puntaje la que limita la sostenibilidad (Vilain *et al*., 2008).

Se realizaron modificaciones a la metodología (Vilain *et al*., 2008) excluyendo cuatro indicadores (Tabla 1) por la falta de información para ser evaluados. Para el indicador "calidad del producto" se tomó como referencia la norma mexicana para leche cruda únicamente en cuanto a composición físico-química de la leche, que se determinó con un analizador automático de ultrasonido (Ekomilk-M EON Trading. LLC, Bulgaria). Las muestras se obtuvieron mensualmente de cada vaca después de cada ordeño. Para el indicador "uso de pesticidas" se hizo referencia en los límites permisibles por el Instituto Nacional de Ecología (1991) de México. Para el indicador "viabilidad económica" se tomó el salario mínimo vigente en la zona de estudio (Comisión Nacional de Salarios Mínimos – CONASAMI, 2018).

Análisis económico

Se realizó mediante la metodología de presupuestos parciales como ha sido utilizada en otros trabajos (Alfonso-Ávila *et al*., 2012; Prospero-Bernal *et al*., 2017), que permite examinar el impacto de los cambios en una empresa, observando solo aquellos costes y retornos que varían en el transcurso de un ciclo productivo (Tabla 3). Tomando en cuenta que la inflación en México entre enero de 2010 y diciembre de 2015 fue de 22,74 % a una tasa promedio mensual de inflación de 0,29 % (INEGI, 2018), todos los precios y costes fueron de-

Tabla 2. Características productivas medias de las explotaciones por ciclo de evaluación.
Table 2. Mean productive characteristics of farms per assessment cycle.

	2010	2015	EEDM	Valor de P
Tamaño de la explotación	4,25	4,20	0,128	1,000
Ha de praderas	1,40	1,40	0,158	1,000
Vacas en ordeño	13,55	15,23	1,251	0,250
Vacas secas	2,10	2,81	0,445	0,184
Producción/vaca/día (l)	13,77	14,33	1,301	0,690
Producción/explotación/día (l)	168,01	211,38	9,702	0,011*
Grasa en leche (g/kg de leche)	35,0	34,7	0,135	0,868
Proteína en leche (g/kg de leche)	31,9	32,7	0,230	0,759
% forraje comprado	65	54	4,833	0,074
Conversión alimenticia	1,09	1,10	0,087	0,948
MOF	2,30	2,00	0,122	0,070

MOF: Mano de obra familiar; EEDM: Error Estándar de las diferencias de las Medias;
*Prueba de t de Student P < 0,05.

flactados al 31 de diciembre de 2015 y son expresados en euros (€) tomando el cambio del 31 de diciembre de 2015, ambos publicados por el Banco de México (2016a; 2016b).

Análisis estadístico

El análisis comparativo de los datos de las evaluaciones de 2010 y 2015, se realizó mediante una prueba de "*t*" de Student (Schefler, 1978) para muestras pareadas para cada uno de los componentes del método IDEA, además de las características de las explotaciones evaluadas.

Resultados y discusión

Características productivas y parámetros económicos de las explotaciones

A continuación, se presentan los resultados de la evaluación de las explotaciones, respecto a las características productivas (Tabla 2) y económicas (Tabla 3).

No se identificaron diferencias estadísticamente significativas (P > 0,05) para la mayoría de las características de las explotaciones entre los ciclos de evaluación (Tabla 2). Sin embargo, se identificaron diferencias numé-

Tabla 3. Parámetros económicos medios por ciclo de evaluación (€).
Table 3. Mean economic parameters per assessment cycle (€).

	2010	2015	EEDM	Valor de P
Ingresos totales	20.693,29	26.687,10	1.619,79	0,021*
Ventas de leche	18.374,32	23.328,01	1.038,13	0,009*
Venta de animales	1.245,50	2.426,85	805,63	0,216
Extras	1.073,47	932,24	102,81	0,242
Costes totales	13.821,02	18.832,98	1.379,23	0,022*
Alimento	7.212,48	11.168,81	1.270,69	0,036*
Servicios	1.805,06	1.830,22	247,25	0,924
Mano de obra	4.803,48	5.833,95	530,59	0,124
MOF	4.410,62	4.792,97	433,55	0,428
MOC	392,86	1.040,98	229,65	0,048*
Margen de ganancia total	6.872,27	7.854,12	1.786,62	0,612
Precio por litro	0,30	0,31	0,00	0,675
Costo dieta/día	21,77	34,78	3,51	0,021*
Costo dieta/vaca/día	1,47	2,18	0,18	0,016*
ISCA/vaca	2,72	2,19	0,41	0,270
ISCA/litro	0,19	0,15	0,02	0,079
MG/ litro	0,12	0,11	0,02	0,514
MG/ vaca/día	1,76	1,55	0,43	0,647

2010, 2015: Periodos de evaluación; EEDM: Error Estándar de las Diferencias de las Medias; ISCA: Ingreso sobre costos de alimentación; MOF: Mano de obra familiar; MOC: Mano de obra contratada; MG: Margen de ganancia; *Prueba de t de Student P < 0,05.

ricas con un ligero incremento de 12,4 % en el número de vacas en ordeño y de 4,1 % en el rendimiento de leche por vaca para el 2015 respecto a 2010 (Tabla 2), resultando con diferencias estadísticamente significativas ($P < 0,05$) para la variable de producción de leche por explotación, resultando 26 % mayor la producción durante el periodo 2015 respecto a 2010. La producción promedio de leche obtenida por grupo en cada periodo de evaluación (Tabla 2) es similar a la reportada por Espinoza-Ortega *et al.* (2007), Pincay-Figueroa *et al*. (2016) y Val-Arreola *et al.* (2006) en el altiplano central de México en sistemas de producción de leche en pequeña escala. Se identifica una tendencia ($P < 0,10$) en la disminución de compra de insumos externos en un 27 % para el 2015, dada por un mayor aprovechamiento de los recursos locales (Vilain *et al*., 2008). El aumento de la precipitación pluvial de 809,7 a 1.029,2 mm, acompañado de un incremento en la temperatura media anual de 14 a 14,8 °C, para los periodos 2010 y 2015 respectivamente (SMN-CNA, 2018), favorecieron la producción de forraje en las explotaciones durante el segundo ciclo.

La generación de empleo es crucial para la permanencia y continuidad de estas explotaciones lecheras al permitir arraigo y generar ingresos diarios a las familias productoras (Espinoza-Ortega *et al*., 2007; FAO, 2013). Además, esta mano de obra representa una oportunidad para dirigir estos sistemas hacia la sostenibilidad, contribuyendo a mejorar las condiciones de vida rural gracias a su efecto en el alivio a la pobreza (FAO, 2010). Se identificó una reducción en la erogación de los ingresos totales, pasando del 34 al 31 % (Tabla 3) de la mano de obra familiar y contratada en los ciclos productivos 2010 y 2015. Esta disminución en la erogación por mano de obra tanto familiar como contratada, aporta a mejorar la rentabilidad de la unidad de producción. Así mismo, se observó una tendencia ($P < 0,10$) a la disminución del 26 % en la mano de obra familiar para el periodo 2015 (Tabla 2), pero con un incremento del 9 % en los costes de la mano de obra familiar en el ciclo 2015, y 2,6 veces mayor para la mano de obra contratada respecto al 2010, lo que se traduce en un aumento de la intensidad de trabajo para los integrantes de la familia que trabajan en la explotación.

Las explotaciones lecheras, ante las condiciones actuales del mercado y dinámicas poblacionales, están enfrentando un abandono de la actividad y un éxodo de la mano de obra a otras actividades, principalmente en las grandes ciudades. El Estado de México tiene una tasa constante de migración del 8 % desde el año 2000 hasta la fecha, la cual se da principalmente de las zonas rurales, siendo las ciudades con más de 15.000 habitantes las principales receptoras, con el 74 % de la migración (Romo Viramontes *et al*., 2013).

Respecto al análisis económico, se observaron diferencias significativas ($P < 0,05$) en los ingresos totales, los cuales fueron un 29 % mayores en el periodo 2015 respecto a 2010, dado principalmente por la venta de leche, que fue un 26 % mayor (Tabla 3). La venta de leche representó la mayor fuente de ingresos en ambos ciclos de evaluación con el 89 y 87 % para los periodos 2010 y 2015 respectivamente; similar a lo reportado por Flysjö (2012) y la Federación International de Lechería – FIL (2015), quienes identificaron que los sistemas especializados en producción de leche tienen un promedio del 90 % de ingresos por venta de leche. No se presentaron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) en cuanto a venta de animales e ingresos extras.

Los costes totales mostraron diferencias significativas ($P < 0,05$) para el periodo 2015, que fueron 36 % mayores respecto al 2010; afectado tanto por un 22,74 % de inflación entre 2010 y 2015 (INEGI, 2018), como por un encarecimiento de los insumos, independiente a la deflactación de los costes.

Lo anterior se refleja en los costes por alimentación que en 2015 representaron un 59 % del coste total de producción comparado con un 52 % en 2010. En 2015 los costes de alimentación fueron 55 % superiores a los de 2010, principalmente por el incremento en el coste de los concentrados comerciales, un insumo que se utiliza en grandes cantidades (Alfonso-Ávila *et al*., 2012; Martínez-García *et al*., 2015), representando el principal componente en los costes de insumos (Pincay-Figueroa *et al*., 2016).

Se encontraron diferencias estadísticas ($P < 0,05$) en los costes de alimentación por rebaño y por vaca al día, aumentando en 60 y 48 % respectivamente para el periodo 2015. Según Espinoza-Ortega *et al*. (2007), los costes de alimentación representaron la mayor erogación en efectivo en los sistemas de producción de leche en pequeña escala. No se identificaron diferencias estadísticas ($P > 0,05$) en costes por pago de servicios y en el precio de venta por litro de leche.

Respecto a los ingresos sobre los costes de alimentación por vaca y por litro de leche (Tabla 3), no se presentaron diferencias ($P > 0,05$), sin embargo, se identificó una reducción del 19 % y 21 % respectivamente en 2015 para estos parámetros, que se ve reflejado en el margen de ganancia sobre los costos totales donde por litro de leche disminuyeron 9 % y por vaca 12 %. Según Wolf (2010) cuando baja el ingreso sobre los costos de alimentación se debe por una tasa de inflación alta en el precio de los insumos, principalmente los cereales, que afectan directamente la relación ingresos *versus* costes, que se observó es esta evaluación.

Sostenibilidad de las explotaciones

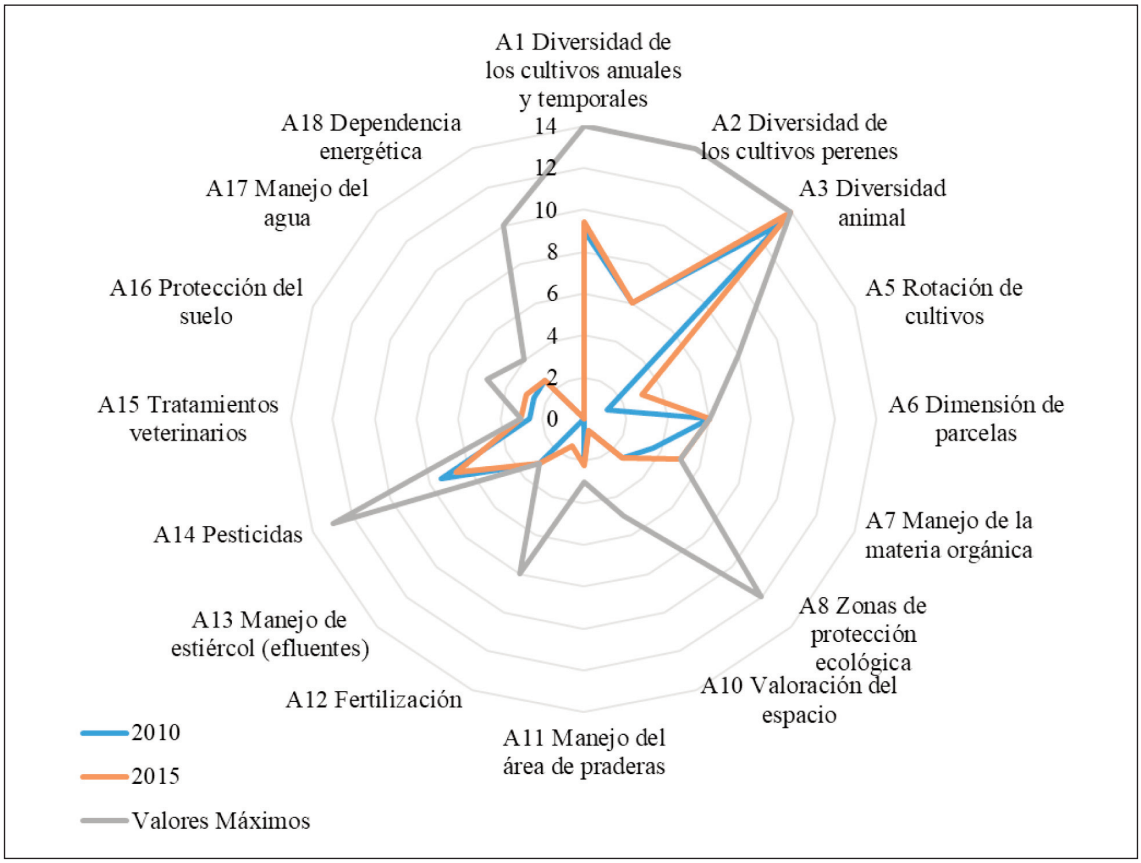
Los resultados de sostenibilidad se presentan a continuación, por escala, integrando los respectivos componentes e indicadores de cada una (Vilain *et al*., 2008), entendiendo que las escalas son los pilares del desarrollo sostenible y se basan en la capacidad productiva y habilidad de las explotaciones para producir bienes y servicios, vinculados en el territorio, de forma autónoma y resiliente (Zahm *et al*., 2015).

Escala agroecológica

No se presentaron diferencias ($P > 0,05$) a nivel de escala. A nivel de componentes, se presentan diferencias ($P < 0,05$) para el manejo de nutrientes y espacio, que fue 21 % mayor para el periodo 2015 (Tabla 4), por un aumento en la rotación de cultivos donde se intercaló menos del 50 % de la superficie anual utilizada, principalmente la rotación fue entre maíz y praderas para corte y acarreo, la puntuación de 2015 fue una tercera parte del máximo posible.

En 2015 se mejoró el proceso de compostaje y se obtuvo un 39 % más de puntuación en el indicador de manejo de la materia orgánica (Figura 1-A7). Respecto al componente de prácticas de manejo, no hubo diferencias estadísticas. Sin embargo, los indicadores para tratamientos veterinarios y protección de suelo fueron un 15 % más valorados para el 2015. Se incrementó el uso de pesticidas en los cultivos lo que representó una disminución del 10 % en la puntuación de este indicador para el 2015 (Figura 1). En ambos periodos se presentó un bajo nivel de especialización en prácticas de manejo y diversificación de cultivos, lo que se reflejó en un porcentaje mayor al 54 % en compra de insumos externos (Tabla 2), en comparación con estudios en la misma región de estudio que implementaron innovaciones y solo adquieren el 30 % de insumos externos fuera de la explotación (Prospero-Bernal *et al*., 2017).

La baja especialización en el uso de innovaciones va en detrimento a la sostenibilidad (Ceschin y Gaziulusoy, 2016), mientras que el uso de los recursos locales permite una mayor productividad y mejora en la rentabilidad de las unidades de producción, según Moretti *et*



2010, 2015: Periodos de evaluación; A1-A3 Diversidad local; A4-A11 Manejo de nutrientes y espacio; A12-A18 Prácticas de manejo.

Figura 1. Puntuaciones medias obtenidas por indicador en la escala agroecológica por ciclo de evaluación.
Figure 1. Mean scores per indicator for the agro-ecological scale per assessment cycle.

al. (2016); además, la mayor productividad de forrajes es un punto clave hacia la sostenibilidad (Vilain *et al.*, 2008), lo que hace necesario la innovación con estrategias que permitan aumentar la base forrajera de calidad en explotaciones con bajo nivel de especialización (Martínez-García *et al*., 2015).

Escala socioterritorial

No existieron diferencias (P > 0,05) a nivel escala y de sus componentes. El componente de calidad del producto obtuvo el 70 % de la puntuación referente al máximo posible (Tabla 4) en ambos ciclos de evaluación, ya que la leche producida cumple con la norma mexicana NMX-700-F-COFOCALEC-2004 en cuanto a composición fisicoquímica de la leche (contenido de grasa y proteína, Tabla 2). El indicador que disminuye la puntuación en este componente es manejo de los desechos inorgánicos (ej. incineración de plásticos, empaques de medicamentos y agroquímicos, etc.). La gestión de los desechos inorgánicos adecuada evita generar contaminación (Vilain *et al.,* 2008).

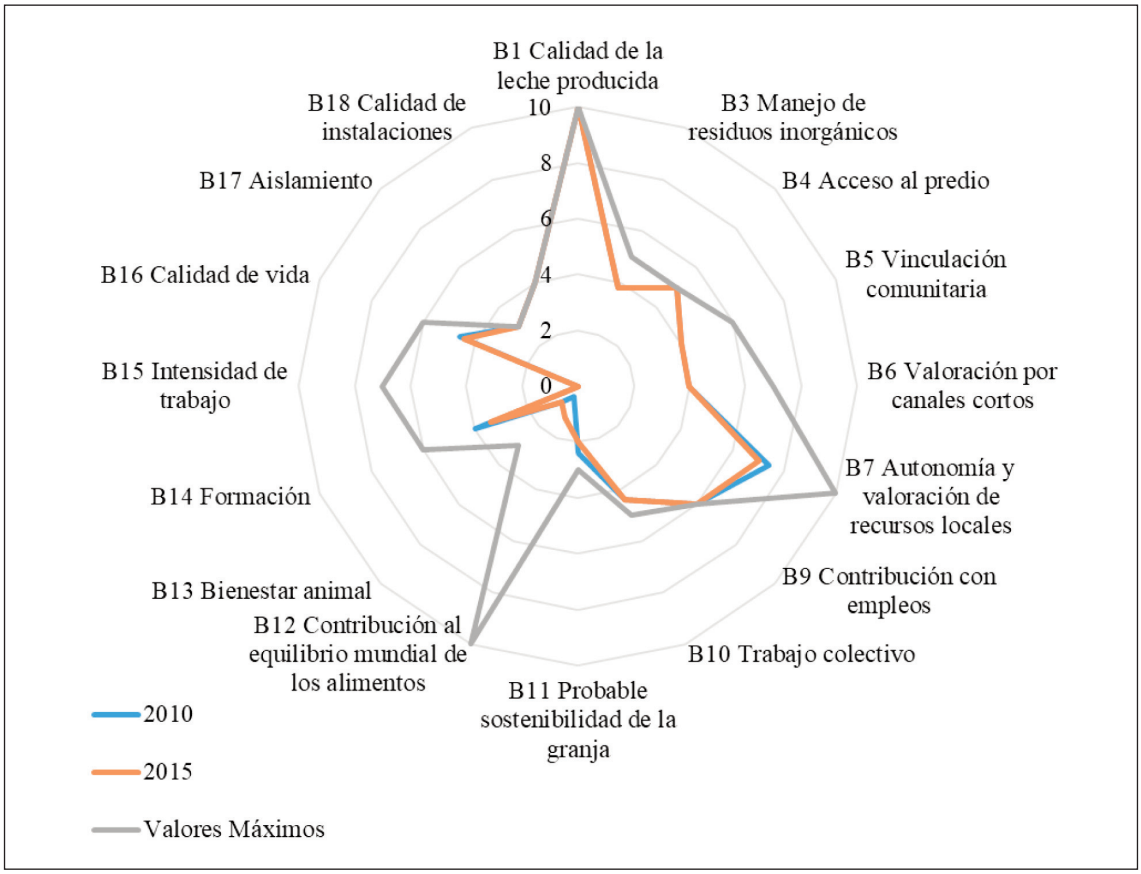
Tabla 4. Puntuación media obtenida por componente, escala y nivel de sostenibilidad por ciclo de evaluación.
Table 4. Mean scores by component, scale and level of sustainability per assessment cycle.

Componente	2010	2015	PMP	EEDM	Valor de P
Escala agroecológica					
Diversidad Local	28,2	29,4	33	0,80	0,208
Manejo de Nutrientes y Espacio	16	19,4	33	1,03	0,030*
Prácticas de Manejo	18,2	19,6	34	2,92	0,657
Escala socioterritorial					
Calidad del Producto	22,8	22,8	33	0,00	1,000
Empleos y Servicios	24,2	23,4	33	0,58	0,242
Ética y Desarrollo Humano	16,8	16,8	34	0,94	1,000
Escala económica					
Viabilidad	19,6	9,2	30	3,35	0,036*
Independencia	24,4	9,8	25	0,67	0,000*
Transmisibilidad	11,6	15,6	20	1,67	0,075
Eficiencia	15	11,4	25	1,74	0,109
Puntaje por escala y nivel de sostenibilidad§					
Agroecológica	62	68	100	3,11	0,126
Socioterritorial	64	63	100	1,02	0,477
Económica	71	46	100	4,26	0,004*
Nivel de sostenibilidad	60	46	100	3,97	0,027*

2010, 2015: Periodos de evaluación; PMP: Puntuación Máxima Posible; EEDM: Error Estándar de las Diferencias de las Medias; §Los puntajes de las escalas son ponderados, el nivel de sostenibilidad está dado por la escala que menor puntaje obtiene; *Prueba de t de Student $P < 0,05$.

En el componente de empleo y servicios se identificó una disminución en el indicador de valoración de los productos que se generan (Figura 2), a pesar de estar inserto en un territorio donde la producción de leche representa el 90 % de la producción agropecuaria del territorio y está ligada a la producción de quesos artesanales (INEGI, 2018). La generación de empleos reportó el 73 % respecto al máximo posible en ambos periodos dado que generaron dos empleos familiares y contratados equivalentes a 552 y 671 jornales por año para los periodos 2010 y 2015 respectivamente (el jornal equivale a un individuo trabajando ocho horas al día en el sector agropecuario).

Sin embargo, independiente a la generación de empleos, existió un 17 % de menor certeza sobre la continuidad de la explotación para el 2015 (Figura 2), lo que cae en la dinámica poblacional de despoblamiento del medio rural y abandono de actividades agropecuarias productivas (Romo Viramontes *et al*., 2013).



2010, 2015: Periodos de evaluación; B1-B5 Calidad de los productos; B6-B11 Empleo y servicios; B12-B18 Ética y desarrollo humano.

Figura 2. Puntuaciones medias obtenidas por indicador de la escala socioterritorial por ciclo de evaluación.
Figure 2. Mean scores per indicator for the socioterritorial scale per assessment cycle.

Respecto a la contribución de alimentos, el aporte es bajo de acuerdo con Vilain *et al*. (2008), dado por la alta dependencia de insumos externos que es mayor al 50 % del utilizado en las explotaciones.

En el componente de ética y desarrollo humano, se presentan variaciones mínimas, donde se sigue teniendo una alta intensidad de trabajo familiar (Figura 2-B15) en ambos periodos; y se presentó una disminución del 15 % en formación (Figura 2-B14) para el 2015, dado que integrantes de la familia abandonaron los estudios, siendo en general el nivel educativo bajo al obtener el 56 % de la puntuación máxima posible. Juárez-Morales *et al*. (2017) identifica que el bajo nivel educativo de los productores es un factor que limita la implementación de innovaciones en las explotaciones.

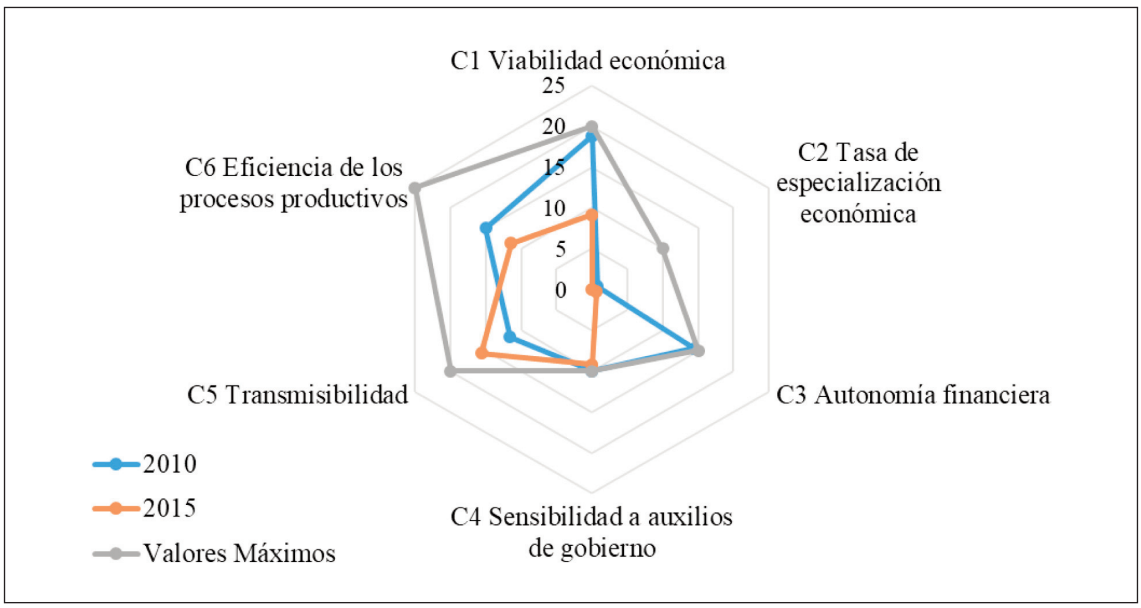
El presente estudio mostró una falta de interés por parte de los productores para cambiar e innovar durante un periodo de cinco

años, lo que hace necesario desarrollar enfoques y herramientas que faciliten el proceso de innovación del medio rural.

Escala económica

Presentó diferencias estadísticas ($P < 0,05$) con una reducción del 36 % para el periodo 2015 respecto al 2010, dado por los componentes de viabilidad e independencia que disminuyeron el 62 y 60 % en la puntuación media de las explotaciones con referencia al 2010 (Tabla 4). Los indicadores de esta escala tuvieron variaciones considerables entre los periodos (Figura 3). La viabilidad económica se redujo en un 51 % para el periodo 2015. Este es un aspecto muy importante, ya que no existe sostenibilidad sin viabilidad económica (Oudshoorn *et al*., 2011), al ser una condición básica para la permanencia de las explotaciones a largo y mediano plazo (Vilain *et al*., 2008). Respecto a la tasa de especialización económica fue baja en ambos periodos, al representar la leche la principal fuente de ingresos con 88 y 87 % para 2010 y 2015 respectivamente, y vender el 100 % a un solo cliente en ambos periodos. La falta de interés por diversificar el mercado hace que presenten una mayor vulnerabilidad a los cambios económicos coyunturales (Vilain *et al*., 2008).

Se presentó una disminución en la puntuación de autonomía financiera, lo cual fue dado por un aumento en la proporción del coste del alimento comprado con relación a los costes totales de producción. Este aumento en los costes de insumos comprados que, como se mencionó, pasaron del 52 al 60 % del total entre 2010 y 2015, fue debido al alza en el coste de los insumos, no obstante, el aumento en la producción de alimentos en la propia explotación (Tabla 3).



2010, 2015: Periodos de evaluación; C1-C2 Viabilidad; C3-C4 Independencia; C5 Transmisibilidad; C6 Eficiencia.

Figura 3. Puntuaciones medias obtenidas por indicador de la escala económica por ciclo de evaluación.
Figure 3. Mean scores per indicator for the economic scale per assessment cycle.

La autonomía financiera es una condición esencial para la libertad en la toma de decisiones de índole técnico, además, influye a la adaptabilidad de las explotaciones a un entorno cambiante (Jongennel y Slangen, 2013; Jouzi *et al*., 2017).

Respecto a sensibilidad a apoyos del gobierno se observó una ligera disminución del 8 % para el 2015 respecto al puntaje que se obtuvo en 2010, disminuyendo la contribución de los apoyos gubernamentales a los ingresos totales en ese periodo. De cualquier forma, los apoyos del gobierno representaron menos del 10 % de los ingresos totales en ambos periodos por lo que estas unidades de producción de leche en pequeña escala son poco dependientes de esos apoyos. Esta baja dependencia de apoyos y subsidios gubernamentales también fue reportado por Posadas-Domínguez *et al.* (2016) para sistemas de producción de leche en pequeña escala en otra región.

Se presentó una tendencia en la transmisibilidad ($P < 0,10$), aumentada para el 2015 (34 %), dado principalmente por la percepción de los productores, que disminuye el valor de sus explotaciones lo que incrementa la posibilidad de ser comprada por algún socio o algún individuo que quiera continuar con la actividad (Vilain *et al*., 2008).

La eficiencia económica disminuyó un 24 % para el 2015 respecto al 2010, dada por el alza del coste de los insumos (30 %), que requirió una mayor erogación económica, lo que resultó ser un factor económico que incidió sobre la eficiencia en los procesos productivos y económicos de las explotaciones, dado que la mano de obra total no presentó un cambio significativo.

El no implementar alternativas de manejo y producción en las explotaciones lecheras en pequeña escala basadas en corte y acarreo, estudiadas entre los años 2010 al 2015 y ante precios estáticos en el mercado de la leche (IFCN, 2017), presentaron una disminución en la escala económica dada principalmente por las bajas eficiencias de los procesos productivos y una baja tasa de especialización económica. Petraeus (2013) realizó un estudio sobre el impacto de la rentabilidad en la sostenibilidad de la producción lechera en Estados Unidos y observó una necesidad de innovar, no para avanzar, sino para mantenerse competitivo en el mercado, lo que permite generar resiliencia en las explotaciones lecheras ante cambios económicos (Perrings, 1998; Jongennel y Slangen, 2013).

Lo anterior fue reportado en región de estudio por Prospero-Bernal *et al*. (2017) donde el efecto de implementar innovaciones en las estrategias de alimentación permitió incrementar la eficiencia económica por un incremento en la producción de forrajes de calidad y la disminución en la dependencia de insumos externos. Además, la evaluación de sostenibilidad de Moretti *et al.* (2016) concluye que el papel de las actividades ganaderas en zonas rurales son una herramienta de desarrollo local, mientras realicen un uso adecuado de los recursos locales que les permiten incrementar su rentabilidad y sostenibilidad.

Conclusiones

Los SPLPE en la zona de estudio se caracterizan por el manejo de corte y acarreo, con un bajo nivel de innovación en las prácticas de producción, lo que los convierte en sistemas estáticos.

En la evaluación realizada entre 2010 y 2015, se identifica un mayor aprovechamiento de los nutrientes y espacio, lo que incrementa ligeramente el puntaje de la escala agroecológica.

No se presentaron cambios en la escala socioterritorial, al mantener el mismo manejo, son explotaciones que generan empleo en la zona de estudio y aportan al mercado un producto con buena calidad fisicoquímica que se integra a la cadena láctea de la región.

La escala económica presenta diferencias al disminuir 53 % la viabilidad, 59 % la independencia económica y 24 % la eficiencia en los procesos de producción para el año 2015, lo que significa que ante la incapacidad de las explotaciones de adaptarse a las condiciones de mercado (inflación de 22,74 % entre 2010 y 2015) pierden resiliencia y capacidad de adaptarse a las nuevas condiciones.

Se requiere innovación en los procesos de producción, y dotar de herramientas técnicas que permitan mejorar la gestión de las explotaciones, para incrementar la eficiencia económica.

Agradecimientos

Los autores expresan su gratitud a los cinco productores participantes en esta evaluación, y su privacidad es respetada al no mencionar sus nombres. Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México (CONACYT) mediante el proyecto 12449 CB-2009, además de otorgar una beca de estancia postdoctoral a Fernando Prospero-Bernal.

Referencias bibliográficas

Alfonso-Ávila AR, Wattiaux MA, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán CM (2012). Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico. Tropical Animal Health and Production 44: 637-644. https://doi.org/10.1007/s11250-011-9947-5

Banco de México (2016a). Portal de inflación. Disponible en: http://www.banxico.org.mx/portal-inflacion/inflacion.html (Consultado: 31 Octubre 2016).

Banco de México (2016b). Portal mercado cambiario. Disponible en: http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-cambiario/ (Consultado: 31 Octubre 2016).

Ceschin F y Gaziulusoy I (2016). Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions. Design Studies 47: 118-163. https://doi.org/10.1016/j.destud.2016.09.002

CONASAMI – Comisión Nacional de Salarios Mínimos (2018). Evolución de salario mínimo. Disponible en: https://www.gob.mx/conasami (Consultado: 30 de mayo de 2018).

Conroy C (2005). Participatory livestock research: a guide, 1a. Ed. ITDG Publishing, Warwickshire, UK. 304 pp.

Espinoza-Ortega A, Espinosa-Ayala E, Bastida-López J, Castañeda-Martínez T, Arriaga-Jordán CM (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, Wattiaux MA, Espinoza-Ortega A, Sánchez-Vera E, Arriaga-Jordán CM (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. Roma, Italia. 181 pp.

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, Thailand, Brazil, Hungary and Africa. Roma, Italia.

FAOSTAT (2018). Dates about Livestock Primary. Statistics Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL (Consultado: 10 de marzo de 2018).

FIL-Federación Internacional de Lechería (2015). Bulletin: A common carbon footprint approach for the dairy sector. The IDF guide to standard life cycle assessment methodology. International Dairy Federation. Brussels, Belgium. 63 pp.

Flysjö A. (2012). Greenhouse gas emissions in milk and dairy product chains improving the carbon footprint of dairy products. Doctoral Thesis. Science and technology. Aarush University. Disponible en http://pure.au.dk/portal/files/45485022/anna_20flusj_.pdf (Consultado: 15 de marzo de 2018).

Gerber P, Vellinga T, Opio C, Steinfeld H (2011). Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. Livestock Science 139: 100-108. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.012

Hemme T, IFCN Dairy Team and IFCN Researchers (2007). IFCN Dairy Report 2007. International Farm Comparison Network, (IFCN Dairy Research Center, Kiel).

IFCN (2017): The Global Dairy World 2016/17. Price cycle 2013-2016 has ended and a new one will start. International Farm Comparison Network, IFCN- The Dairy Research Network. Kiel, Germany Disponible en: http://www.ifcndairy.org/wp-content/uploads/2017/06/WorldDairyArticle201617.pdf (Consultado: 9 septiembre de 2019).

INEGI- Instituto Nacional de Estadística y Geografía, (2007). Censo Agrícola, ganadero y forestal 2007. Disponible en: http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/219 (Consultado: 15 de octubre de 2018).

INEGI- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2018). Calculadora de inflación Disponible en: http://www.inegi.org.mx/sistemas/indiceprecios/CalculadoraInflacion.aspx (Consultado: 30 de abril de 2018).

Instituto Nacional de Ecología (1991). Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Químicas (CICOPLAFEST). México. Disponible en http://www2.ine.gob.mx/sistemas/plaguicidas/index.html (Consultado: 10 noviembre 2016).

Jongennel RA y Slangen LHG (2013). Sustainability and resilience of the dairy sector in a changing world: a farm economic and EU perspective. En: Sustainable dairy production (Ed. de Jong P), pp 55-86. Wiley-Blackwell. Ede, Netherlands.

Jouzi Z, Azadi H, Taheri F, Zarafshani K, Gebrehiwot K, Van Passel S, Lebailly P (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

Makkar Harinder PS (2016). Smart livestock feeding strategies for harvesting triple gain – the desired outcomes in planet, people and profit dimensions: a developing country perspective. Animal Production Science 56: 519-534. https://doi.org/10.1071/AN15557

Juárez-Morales M, Arriaga-Jordán CM, Sánchez-Vera E, García-Villegas JD, Rayas-Amor AA, Rehman T, Dorward P, Martínez-García CG (2017). Factores que influyen en el uso de praderas cultivadas para producción de leche en pequeña escala en el altiplano central mexicano. Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias 8(3): 317-324. https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4509

Martínez-García CG, Rayas-Amor AA, Anaya-Ortega JP, Martínez- Castañeda FE, Espinoza-Ortega A, Prospero-Bernal F, Arriaga-Jordán CM (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. https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0

Moretti M, De Boni A, Roma R, Fracchiolla M, Van Passel S (2016). Integrated assessment of agro-ecological systems: The case study of the "Alta Murgia" National Park in Italy. Agricultural Systems 144: 144-155. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.007

Odermatt P y Santiago Cruz MJ (1997). Ventajas Comparativas en la Producción de Leche en México. Agroalimentaria 5: 35-44.

Oudshoorn FW, Sørensen CAG, de Boer IJM (2011). Economic and environmental evaluation of three goal-vision based scenarios for organic dairy farming in Denmark. Agricultural Systems 104: 315-325. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.12.003

Petraeus J (2013). The business case for sustainable dairy products En: Sustainable dairy production. (Ed. de Jong P), pp 163-186. Wiley-Blackwell. Ede, Netherlands. https://doi.org/10.1002/9781118489451.ch7

Pincay-Figueroa PE, López-González F, Velarde-Guillén J, Heredia-Nava D, Martínez-Castañeda FE, Vicente F, Martínez-Fernández A y Arriaga-Jordán CM (2016). Cut-and-carry vs. grazing of cultivated pastures in small-scale dairy systems in the central highlands of Mexico. Journal of Agriculture and Environment for International Development 110: 349-363. https://doi.org/10.12895/jaeid.20162.496

Posadas-Domínguez RR, Callejas-Juárez N, Arriaga-Jordán CM, Martínez-Castañeda FE (2016). Economic and financial viability of small-scale dairy systems in central Mexico: economic scenario 2010-2018. Tropical Animal Health and Production 48: 1667-1671. https://doi.org/10.1007/s11250-016-1141-3

Prospero-Bernal F, Martínez-García CG, Olea-Pérez R, López-González F, Arriaga-Jordán CM (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

Romo Viramontes R, Téllez Vázquez Y, López Ramírez J (2013). Tendencias de la migración interna en México en el periodo reciente. En: La situación demográfica en México 2013 (Ed. Consejo Nacional de Población), pp 83-106. Consejo Nacional de Población, Distrito Federal, México.

Schefler WC (1978). Statistics for the Biological Sciences. Addison-Wesley. New York, EE.UU.

SMN-CNA (2018) Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y Comisión Nacional del Agua (CNA). Disponible en: https://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias (Consultado: 20 octubre 2018).

Val-Arreola D, Kebreab E, France J (2006). Modelling small-scale dairy farms in central Mexico using multi-criteria programming. Journal of Dairy Science 89: 1662-1672. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72233-0

Vilain L, Boisset K, Girardin P, Guillaumin A, Mouchet C, Viaux P, Zahm F (2008). La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation. 3a. Ed. Educagri éditions. Dijon, Francia. 184 pp.

Wolf CA (2010). Understanding the milk-to-feed price ratio as a proxy for dairy farm profitability. Journal of Dairy Science 93: 4942-4948. https://doi.org/10.3168/jds.2009-2998

Zahm F, Viaux P, Vilain L, Girardin F, Mouchet C (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, Alonso Ugaglia A, Boureau H, Del'homme B, Barbier JM, Gasselin P, Gafsi M, Guichard L, Loyce C, Manneville V, Menet A, Redlingshofer B (2015). Agriculture et exploitation agricole durables: état de l'art et proposition de définitions revisitées ál'aune des valeurs, des propriétés et des frontières de la durabilité en agriculture. Innovations Agronomiques 46: 105-125.

(Aceptado para publicación el 11 de septiembre de 2019)