



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

ESTUDIOS SOBRE LA SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA

TESIS

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

PRESENTA:

FERNANDO PROSPERO BERNAL

EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS, MARZO DE 2017



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

ESTUDIOS SOBRE LA SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA

TESIS

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

PRESENTA:

FERNANDO PROSPERO BERNAL

COMITÉ TUTORIAL:

TUTOR ACADÉMICO: **DR. CARLOS MANUEL ARRIAGA JORDÁN**

TUTOR ADJUNTO: **DR. CARLOS GALDINO MARTÍNEZ GARCÍA**

TUTORA ADJUNTO: **DR. RAFAEL OLEA PÉREZ**

EL CERRILLO PIEDRAS BLANCAS, MARZO DE 2017

ESTUDIOS SOBRE LA SUSTENTABILIDAD EN SISTEMAS DE
PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA

RESUMEN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala juegan un rol relevante en el desarrollo del sector rural, son una herramienta para aliviar la pobreza y permitir a las familias campesinas acceder a una mejor calidad de vida, mediante la generación de autoempleos y remuneración diaria, tanto al interior de las UPL como a la gente que es contratada por estos sistemas tanto de forma temporal como permanente, lo que permite generar arraigo a las zonas rurales. Las políticas públicas a nivel internacional demandan sistemas de producción sustentables, que sean capaces de brindar una adecuada calidad de vida en las zonas donde se encuentran, permitiendo conservar el medioambiente, siendo socialmente justos y económicamente eficientes. En México existe la ley de desarrollo rural sustentable que le da el énfasis de política pública para que los sistemas de producción se encaminen a cumplir lineamientos de desarrollo sustentable.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto de la implementación de innovaciones en el nivel de sostenibilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala durante un ciclo anual de producción, se realizó en dos partes, la primera parte estuvo enfocada al efecto sobre los costos de alimentación por la implementación del pastoreo continuo intensivo, y la segunda al efecto de la implementación de innovaciones (pastoreo continuo intensivo y ensilado de maíz) sobre el nivel de sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala. El análisis económico para identificar el efecto de la implementación de las innovaciones fue realizado mediante la metodología de presupuestos parciales, y la evaluación de las sustentabilidad se realizó a partir del método IDEA (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles - Indicadores de Sustentabilidad de Explotaciones Agropecuarias) con adecuaciones conforme a la zona de estudio. El estudio se realizó en 24 UPL en el

municipio de Aculco en el Estado de México, se recolectó información de las UPL mensualmente durante el año 2015 mediante encuestas semiestructuradas.

Para la primera parte se compararon 8 Unidades de Producción de Leche (UPL) que adoptaron el pastoreo continuo intensivo a las estrategias e alimentación entre los años 2011 a 2014, se realizó un contraste en los costos de alimentación respecto a la evaluación realizada en el 2010 cuando aún tenían un manejo convencional el cual se practica en la zona de estudio y consiste en el corte y acarreo de las praderas inducidas, los costos de producción fueron deflactados a diciembre de 2015 con los índices propuestos por el Banco de México, y se compararon mediante el test de t de student para identificar diferencias estadísticas para las variables de rendimientos de leche, costos de alimentación, ingresos por venta de leche y margen de ganancia. Para rendimiento de leche se detectaron diferencias altamente significativas $P \leq 0.01$ teniendo un aumento de 12.14 % para el sistema de pastoreo respecto al convencional, respecto a los costos de alimentación se detectaron diferencias estadísticas con una $P \leq 0.05$ teniendo una reducción de 29.72 % por UPL en el sistema de pastoreo respecto al sistema convencional, en ingresos por venta de leche se detectaron diferencias estadísticamente significativos ($P < 0.05$), teniendo un ingreso en pastoreo de 17.75 % mayor por ható en comparación con el sistema convencional de corte y acarreo, respecto al margen mensual sobre costos de alimentación por ható existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en donde el sistema de pastoreo obtiene 2.83 veces los ingresos respecto al sistema convencional.

Para la segunda parte se evaluaron 24 fincas divididas en cuatro grupos con el objetivo de identificar el efecto de la implementación de innovaciones en las estrategias de alimentación en el nivel de sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, durante el periodo de enero a diciembre de 2015, seis fincas implementaron ensilado de maíz, seis fincas pastoreo continuo intensivo, siete fincas ensilado de maíz + pastoreo continuo intensivo y

cinco fincas continuaron con el manejo convencional que consistió en el corte y acarreo de forraje de praderas cultivadas, maíz en grano y rastrojo de maíz. La adopción de innovaciones en los sistemas de alimentación se realizó entre los años 2011-2014. El grupo de productores que implementaron ensilado de maíz + pastoreo continuo intensivo tuvieron una mayor diversidad local ($P \leq 0.001$), una mayor ética y desarrollo humano y una mayor independencia económica ($P \leq 0.05$) que las fincas que implementaron solo alguna innovación. El índice general de sostenibilidad para los grupos convencional, ensilado de maíz, pastoreo continuo intensivo y ensilado de maíz + pastoreo fue de 46, 47, 52 y 54 puntos respectivamente, de un total de 100 puntos.

Los resultados demuestran que la adopción de innovaciones en los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala permiten disminuir los costos de alimentación y aumentar en nivel de sustentabilidad respecto a los sistemas convencionales de corte y acarreo, dada por la disminución en el uso de insumos externos, y la producción de forrajes de calidad, que permiten tener una mayor eficiencia económica en el proceso de producción e impactar en el pilar económico de la sustentabilidad que es el de mayor debilidad en estos sistemas de producción.

PALABRAS CLAVE: Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala, Sustentabilidad, Innovación, Rentabilidad, Investigación Rural Participativa.

ABSTRAC

Small-scale dairy systems play an important role in rural development, as means to ameliorate poverty and enable farming families to improve their livelihoods, through generation of self-employment and a daily income both for the farming family as for temporary or permanent hired labor; which allows people to remain in their rural communities. International policies establish the need for sustainable agricultural systems, capable of providing adequate livelihoods in their locations, the conservation of the environment, being socially fair and economically efficient. In Mexico, the Sustainable Rural Development bill establishes policies so that production systems move towards the guidelines of sustainable development. The objective of this work was to evaluate the effect of the implementation of innovations in the level of sustainability of small-scale dairy systems over a production year. Work was in two phases. The first studied the effect on feeding costs of implementing continuous intensive grazing; and the second phase on the effect of implementing two innovations in feeding (intensive continuous grazing and maize silage) on the level of sustainability of small-scale dairy systems. The economic analysis to identify the effect of innovations followed the partial budget analysis methodology, and the evaluation of sustainability followed the IDEA method (Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles), adapted to the study area. The study monitored 24 small-scale dairy farms (SSDF) in the municipality of Aculco in the State of Mexico. Information was collected monthly during 2015 from semistructured interviews. In the first phase, 8 SSDF that adopted continuous intensive grazing in their feeding strategies between 2011 and 2014 were appraised against their feeding costs in 2010 when based on cut and carry of their pastures. Costs were deflated to December 2015, and compared by "t" Test for milk yield, feeding costs, income from the sale of milk, and profit margins. There were highly significant differences ($P \leq 0.01$) for milk yield with a 12.14% increase under grazing compared to conventions. There were statistical differences ($P \leq 0.05$) for feeding costs with a reduction of 29.72% for grazing.

Same wise, statistical differences ($P \leq 0.05$) of 17.75% higher incomes under grazing; and in margins over feeding costs per herd there were highly significant differences ($P \leq 0.01$) where grazing produces 2.83 times the incomes of conventional feeding management. The second phase studied twenty-four SSDF, in four groups to identify the effect of feeding innovations in the sustainability from January to December 2015. Six farms implemented maize silage only, six farms implemented intensive continuous grazing, seven farms adopted both maize silage and intensive continuous grazing, and five farms remained with conventional feeding strategies based on cut and carry of pasture herbage, maize grain, and maize stover. Adoption of innovations was between 2011 and 2014. Farmers who implemented maize silage plus intensive continuous grazing had a larger local diversity ($P \leq 0.001$), a higher ethics and human development score, and higher economic independence ($P \leq 0.05$) than farms that implemented only one innovation. The general indices of sustainability for the conventional, maize silage, intensive continuous grazing, and maize silage + intensive continuous grazing were 46, 47, 52 and 54 respectively over a total of 100 points. Results show that the adoption of the proposed innovations in small-scale dairy systems reduced feeding costs and increased the sustainability score in contrast to conventional cut and carry systems. This was achieved by reduced use of external inputs, and the production of quality herbage and forages that result in higher economic efficiency of the production process, and to favorably affect the economic pillar of sustainability, the greatest weakness in these production systems

KEY WORDS: Small-scale dairy systems, Sustainability, Innovation, Profitability, Participatory Livestock Research

KEY WORD: **Small-scale dairy systems, Sustainability, Innovation, Rentability, participatory livestock research**

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 IMPORTANCIA DE LA LECHERÍA	6
2.2 SISTEMAS PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA (SPLPE)	8
2.3 SUSTENTABILIDAD EN EL SECTOR LECHERO	9
2.4 ECONOMÍA EN LA LECHERÍA Y SUSTENTABILIDAD.....	12
2.5 EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD EN EL SECTOR AGROPECUARIO	14
2.6 INNOVACIÓN EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE	20
3. JUSTIFICACIÓN.....	23
4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	24
5. HIPÓTESIS.....	25
6. OBJETIVOS.....	26
6.1 OBJETIVO GENERAL	26
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	26
7. MATERIAL Y MÉTODO	27
7.1 LÍMITE DE ESPACIO.....	27
7.2 LÍMITE DE TIEMPO	28
7.3 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE LECHE (UPL)	28
7.3 MÉTODO	29
7.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	35
8. RESULTADOS:.....	37
8.1 ARTÍCULO ENVIADO.....	38
8.2 CAPITULO DE LIBRO ACEPTADO	60

9. CONCLUSIONES FINALES	76
10. RECOMENDACIONES:.....	78
11. BIBLIOGRAFÍA.....	80
12. ANEXOS.....	92
12.1 CUESTIONARIO DE SUSTENTABILIDAD SEGÚN EL MÉTODO IDEA.....	92
12.2 ENCUESTA SEMIESTRUCTURADA PARA LA RECOLECCIÓN MENSUAL DE INFORMACIÓN	100
12.3 PUNTAJE OBTENIDO POR INDICADOR EN LA ESCALA AGRO-ECOLÓGICA DE CADA GRUPO EVALUADO.....	101
12.4 PUNTAJE OBTENIDO POR INDICADOR EN LA ESCALA SOCIOTERRITORIAL DE CADA GRUPO EVALUADO.....	102
12.5 PUNTAJE OBTENIDO POR INDICADOR EN LA ESCALA ECONÓMICA DE CADA GRUPO EVALUADO	103
12.6 PUNTAJE OBTENIDO EN CADA COMPONENTE DEL MÉTODO IDEA POR CADA PRODUCTOR EVALUADO	104
12.7 GRAFÍAS DE REDAR MOSTRANDO LOS PUNTAJES OBTENIDOS POR COMPONENTE DE CADA GRUPO EVALUADO	105

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Numero de vacas lecheras, producción de leche y rendimiento por vaca en diferentes regiones de 1961 y 2014, identificando la diferencia entre estos dos periodos.</i>	<i>7</i>
<i>Cuadro 2. Criterios de caracterización para comparar metodologías de evaluación de la sustentabilidad</i>	<i>17</i>
<i>Cuadro 3. Características de las metodologías por los criterios según de Olde et al. (2016).....</i>	<i>19</i>
<i>Cuadro 4. Escalas, componentes, indicadores y puntajes del método IDEA..</i>	<i>32</i>
<i>Cuadro 5. Objetivos del método IDEA.....</i>	<i>33</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1. LÍMITE DE ESPACIO</i>	<i>27</i>
--	-----------

1. INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala (SPLPE) tienen un fuerte impacto en la producción nacional de leche, el 37% de la producción nacional es atribuible a estos sistemas (Hemme *et al.*, 2007), los cuales tienen como características particulares, mano de obra familiar, hatos pequeños con un tamaño variable el cual va de 3 hasta 35 vacas lecheras más sus reemplazos, son dependientes de los cultivos que la propia familia siembra y de la compra de insumos para la alimentación del ganado, logran la mayor producción de forrajes y leche en la época de lluvias por las condiciones agroecológicas, son vulnerables en la época de estiaje, por la poca disponibilidad de forraje verde y los altos costos de los insumos externos que se utilizan en la alimentación del ganado, son dinámicos y se adaptan a las nuevas realidades (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007; Fadul-Pacheco *et al.*, 2013). Los SPLPE son considerados como una opción para el desarrollo rural sustentable por las características y capacidad de adaptación a condiciones adversas (Arriaga-Jordán *et al.*, 1997, FAO, 2010) y el manejo de los recursos naturales es una fortaleza para estos sistemas.

En la actualidad existe una gran preocupación por los cambios que se han venido suscitando en las condiciones climáticas, en el quinto reporte preliminar que público el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) en Marzo de 2014, se informa que la temperatura a nivel global se ha elevado en 1°C de 1880 al 2012 y reforzó la conclusiones del cuarto reporte que mencionan que el calentamiento del sistema climático es sostenido y se han tenido en las últimas tres décadas, las más calientes en la historia, donde se han rebasado los promedios proyectados con datos desde 1960 a 1990, el cual es de 14°C, teniendo temperaturas promedio de 14.12, 14.28 y 14.47 grados centígrados para las décadas de 1980's, 1990's y 2000's respectivamente notándose que en las últimas décadas el aumento de la temperatura es constante. Estos cambios son promovidos por las actividades antropogénicas provenientes

de las actividades humanas (IPCC, 2014). En el año 2010 se produjeron 31 mil millones de tn de CO₂e (Bióxido de carbón equivalente), por las actividades que realiza el hombre en el mundo, dentro de las cuales se encuentran las actividades de generación de energía, transporte, construcción, industria y las actividades agropecuarias, forestales y cambio del uso de suelo (AFOLU por sus siglas en inglés).

En el 2010 la agricultura mundial ocupó una superficie de 4889 Mha, y desde 1970 a 2010, se ha aumentado 2.3 veces el uso de fertilizantes, 73% la superficie de riego para cultivos, pero al mismo tiempo se aumentó la productividad en los sistemas agropecuarios (FAOSTAT, 2017). En la pasada década los sistemas agropecuarios emitieron de 5.0 a 5.8 GtCO₂/año, produciendo del 10 al 12% de los Gases de Efecto Invernadero (IPCC, 2014).

En octubre de 1984 se realizó la primera reunión de la Comisión Mundial sobre Medioambiente y Desarrollo (World Commission on Environment and Development) presidida por el primera ministra Noruega Gro Harlem Brundtland, atendiendo un llamado de la asamblea general de las Naciones Unidas, con el fin de establecer una agenda para el cambio climático global. De esta asamblea en 1987 se publica el informe Brundtland bajo el siguiente enfoque: **“Es posible para la humanidad construir un futuro más próspero, más justo y más seguro”**, se plantea la posibilidad de tener un crecimiento económico basado en políticas de sustentabilidad y mantenimiento, y de ser posible, la expansión de la base de los recursos naturales. Dado que la esperanza de un futuro mejor está condicionada, y depende de acciones políticas decididas que incentiven el adecuado uso de los recursos naturales para garantizar el progreso humano sustentable.

El concepto de desarrollo sustentable hizo su aparición oficial a raíz del informe Brundtland (1987), el cual se define el desarrollo sustentable como **“el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades”**. Así a partir

de los años noventa el desarrollo sustentable se ha convertido en el paradigma dominante que ha guiado los procesos de desarrollo (Baker, 1997). A partir de esto a nivel internacional se han desarrollado políticas públicas que tienen como eje vector, el desarrollo sustentable, tal es el caso de la Política Agrícola Común de la Unión europea, Ley de Desarrollo Rural en Estados Unidos, y en México la Ley de Desarrollo Rural Sustentable que se enmarcan como un parteaguas que incentiva y favorece la producción sustentable de los diversos sistemas de producción que constituyen las diversas cadenas productivas de los diferentes sistemas producto en el país y que demuestra la importancia que toma como medida de permitir la resiliencia de los sistemas de producción con el objetivo de lograr un desarrollo sustentables (Masera *et al.*, 1999).

El desarrollo sustentable en el sector agropecuario se define como un sistema ecológicamente sano, socialmente justo y humano, y económicamente viable (Vilain *et al.* 2008), anotando su desarrollo en un enfoque socialmente responsable, está dado por la elección del productor, por las actividades y métodos de producción, el desarrollo y calidad de vida de los grupos de interés anclados en su territorio (Zahm *et al.* 2015). Su desarrollo se basa en cinco propiedades; capacidad productiva y reproductiva de los bienes y servicios, robustez, raíces locales, autonomía y responsabilidad global (Zahm *et al.* 2015) en un sentido holístico. La sustentabilidad de los sistemas de producción agropecuarios se basa en tres funciones principales, las cuales son; la producción de bienes y servicios, el cuidado y gestión del medioambiente y tomar un papel importante en el medio social de la vida de los productores (Francis *et al.*, 1990) que les permita acceder a la calidad de vida deseable por cada individuo.

El Estado de México ubicado en el altiplano central es el estado más poblado de México, alberga el 13.5% de la población nacional y ocupa solo el 1.14% de la superficie del país (INEGI 2007), lo que es contrastante al ser el séptimo productor de leche a nivel nacional, el municipio de Aculco produjo 51,100 litros por día, lo

que lo ubica como el tercer municipio en importancia en producción en el Estado de México. Además de ser una región reconocida por la producción de quesos frescos tradicionales. Lo que ocasiona que la producción de leche y el estudio de estos sistemas de producción tengan relevancia de índole económica, social y ecológica en la región por ser parte activa de la economía de la región y la generación de empleo en esta zona rural.

En trabajos realizados por Alfonso-Ávila *et al.* (2012) y Martínez-García *et al.* (2015) evaluando las estrategias de alimentación de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, detectaron una alta dependencia de insumos externos, principalmente en forma de concentrados comerciales, rastrojos de cereales y alfalfas, lo que eleva los costos de producción, aunado a esto Fadul-Pacheco *et al.* (2013), y Prospero-Bernal *et al.* (2013) identificaron en la evaluación de la sustentabilidad de estos sistemas, que el pilar más débil es la escala económica que está dada por una baja especialización en los procesos de producción, y la baja eficiencia económica principalmente. Trabajos realizados en el altiplano central de México identifican que la integración de sistemas de pastoreo intensivo de praderas cultivadas tienden a disminuir los costos de alimentación (Arriaga-Jordán *et al.*, 2002; Heredia-Nava *et al.*, 2007; Hernández-Ortega *et al.*, 2011) y promueven la disminución del uso de insumos externos por la producción de forrajes de calidad, Anaya-Ortega *et al.* (2009) reporta que la integración de ensilado de maíz a las dietas en estos sistemas de producción también permite reducir costos por concepto de alimentación, lo que es muy importante, dado que los sistemas de producción de leche en pequeña escala los costos de alimentación representan del 70 al 90 % de los costos totales de producción (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007).

La innovación es sin lugar a duda un elemento que debe permitir a los sistemas de producción dirigirse a la sustentabilidad (Ceschin and Gaziulusoy 2016; Cortez-Arriola *et al.*, 2016), según Zahm *et al.* (2015) los sistemas de producción para ser

sustentables deben de tomar como elemento clave el tipo de producción y las dinámicas socio-territoriales y agroecológicas que están en torno a los sistemas de producción para lograr una eficiencia económica que les permita a los distintos sectores lograr la calidad de vida deseada. Por ende la innovaciones que se proponen anteriormente, al ser un elemento que toma en cuenta las necesidades del sector al que están dirigidas y tener la viabilidad de ser aplicadas en la región de estudio por las condiciones agroecológicas, son sugeridas para implementarse y a partir de esto se plantea el objetivo de evaluar el impacto de la implementación de innovaciones en las estrategias de alimentación e identificar el efecto en los costos de alimentación y el nivel de sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 IMPORTANCIA DE LA LECHERÍA

La producción de leche es un proceso multifuncional que genera leche y carne, a partir de algunos alimentos que no son digeribles por el humano, y la función primaria del sector lechero es la de proveer de proteína de alto valor nutritivo a los humanos (FAO, 2010, ISO, 2006), en 2014 la FAO publicó que los sistemas de producción de leche a nivel internacional aportaron 656 millones de toneladas de leche, además en el 2007 aportaron el 13% de la producción de carne a nivel internacional (Gerber *et al.*, 2010). El 28% de la proteína que se consume a nivel global proviene de los sistemas ganaderos (FAO, 2010). Sin embargo la lechería actualmente se enfrenta a un dilema el cual es producir una mayor cantidad de leche, reduciendo el impacto ambiental.

Durante las pasadas cinco décadas la lechería a nivel internacional aumento la producción en 1.09 veces más respecto a lo que se producía en 1961, esto se logró con un aumento del 55 % del hato mundial, lo que significó una alza en el rendimiento por vaca de 35 % a nivel internacional (ver tabla 1), sin embargo, aun la brecha entre regiones es muy grande, con producciones de aproximadamente 500 litros por lactación en África que contrastan con los más de 10000 litros que producen por lactación las vacas en Estados Unidos, conforme a estos números México está por encima del promedio internacional con sin embargo se produce cerca de la mitad que produce la lechería especializada en estados unidos (FAOSTAT, 2017).

Se proyecta un aumento del doble en la demanda para el 2050 de la producción de alimentos debido al incremento de la densidad de población, urbanización y aumento de ingresos por parte de las economías emergentes. Todo esto se debe dar en un entorno de menor impacto ambiental, aumentando la eficiencia de los sistemas de producción y haciéndolos más sustentables poniendo gran énfasis en la protección ambiental para desacelerar el cambio climático (FAO, 2010). Puesto

que es prácticamente seguro que este cambio climático este dado por la actividad humana, se han observado y registrado el calentamiento de la superficie terrestre (Troposfera) y un enfriamiento de la atmosfera (superficie más elevada), además existe una confianza muy alta sobre el hecho de que los impulsos naturales contribuyen al desbalance con una fracción muy pequeña, la cual se da de manera regular.

Cuadro 1. Numero de vacas lecheras, producción de leche y rendimiento por vaca en diferentes regiones de 1961 y 2014, identificando la diferencia entre estos dos periodos.

Región\ año	Numero de vacas lecheras (millones)			Producción de leche (millones de tn)			Rendimiento de leche (tn/vaca)		
	1961	2014	Dif	1961	2014	Dif	1961	2014	Dif
Africa	17.01	67.44	2.97	7.83	34.73	3.44	0.46	0.52	0.12
Asia	34.36	107.57	2.13	21.14	190.20	8.00	0.62	1.77	1.87
Europa	83.46	37.19	-0.55	189.60	217.05	0.14	2.27	5.84	1.57
Norteamérica	20.23	10.16	-0.50	65.35	101.86	0.56	3.23	10.02	2.10
Caribe	1.00	1.21	0.20	0.88	1.71	0.95	0.87	1.42	0.62
Centroamérica	2.13	6.10	1.86	3.14	14.93	3.76	1.47	2.45	0.66
Suramérica	14.02	37.47	1.67	14.18	64.54	3.55	1.01	1.72	0.70
Oceanía	5.12	6.87	0.34	11.52	30.93	1.69	2.25	4.50	1.00
Internacional	177.33	274.00	0.55	313.63	655.96	1.09	1.77	2.39	0.35
Estados Unidos	17.24	9.21	-0.47	57.02	93.46	0.64	3.31	10.15	2.07
México	1.00	2.43	1.43	2.33	11.13	3.78	2.33	4.58	0.97

FAOSTAT, 2017

México en el 2014 ocupó el lugar número 14 dentro de los países que más leche produce (FAOSTAT, 2017), además, aumentó el hato nacional 1.43 veces respecto a 1961, sin embargo, la producción aumentó 3.78 veces más respecto a lo que se producía en 1961, lo que indica un rendimiento de 4580 litros/vaca/lactación, que significa un aumento de 97% en el rendimiento en leche por vaca respecto a 1961 (ver tabla 1).

El Estado de México ubicado en el altiplano central es el estado más poblado de México, alberga el 13.5% de la población nacional y ocupa solo el 1.14% de la superficie del país (INEGI, 2007), lo que es contrastante al ser el séptimo productor de leche a nivel nacional, y en su mayoría las unidades de producción son sistemas en pequeña escala.

2.2 SISTEMAS PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA (SPLPE)

En México el 78% de las unidades especializadas en producción de leche son sistemas en pequeña escala (IFNC, 2007), y aportan el 37% de la producción de leche a nivel nacional (Hemme *et al.*, 2007), tienen como características principales; hatos entre 3 y 35 vacas en ordeña más sus reemplazos (Castelán-Ortega *et al.*, 2008; Fadul-Pacheco *et al.*, 2013; García-Muñiz *et al.*, 2007 y Wiggins *et al.*, 2001), la mano de obra es predominantemente familiar, aunque no se descarta que en algunas épocas del año se contrate mano de obra externa, esto se da principalmente en la época de cosechas y siembra de cultivos, sus principales ingresos se obtienen de la venta de leche y están integrados al mercado como proveedores, cuentan con pequeñas superficies de tierra, la cual es utilizada principalmente para la producción de forraje para el ganado, lo que integra un sistema cultivo-animal, algunos productores cuentan con ingresos externos a la explotación que son aportados por miembros de la familia que trabajan fuera de la explotación con trabajos de medio tiempo a tiempo completo (Espinoza-Ortega *et al.*, 2005), utilizan de forma activa los recursos locales.

Los SPLPE en México han tenido un papel de adaptabilidad dado que han logrado sobrevivir a las crisis que ha sufrido el campo mexicano en las últimas décadas, e integraron el sistema cultivo animal de forma activa con la apertura del Tratado de Libre comercio que trajo consigo la disminución en el precio de los granos que en varias unidades de producción era una de sus principales fuentes de ingreso, por ende se han ajustado de forma adecuada a los escenarios económicos cambiantes; de ahí que se propongan como una opción de desarrollo rural

atractiva y viable para el altiplano central de México (Arriaga-Jordán *et al.*, 1997), por otra parte, puede ser una alternativa que contribuirá a incrementar la producción nacional de leche, debido a que se ha caracterizado por combinar actividades agropecuarias. No tienen un sistema de operación definido ya que estos se adaptan a las circunstancias de la familia y su economía, pero tienen la fortaleza de que la mano de obra es familiar y en ocasiones captan ingresos externos a la finca que les permite tener una continuidad.

Wiggins *et al.* (2001) define a los SPLPE como una opción para mejorar la economía de las familias campesinas, aunque no resulta ser una alternativa para todos, porque depende de la capacidad productiva de cada finca que está asociada al tamaño de las unidades de producción, sin embargo, son una medida para aliviar la crisis rural. Por tanto estos sistemas son de vital importancia en todo el mundo por ser una herramienta de alivio a la pobreza y mejorar la seguridad alimentaria y generación de autoempleos según la FAO (2010), si los sistemas de producción se desarrollan con buenas prácticas de manejo, pueden dar seguridad a las familias campesinas por un largo periodo y le permitirán la continuidad a su descendencia.

2.3 SUSTENTABILIDAD EN EL SECTOR LECHERO

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 Jong, 2013).

La ganadería es un recurso global que genera beneficios a la sociedad por la producción de alimentos, ingresos, nutrientes, empleos, tracción, vestimenta, etc., en el proceso de proveer todos estos beneficios se tiene uso de grandes cantidades de tierra, nutrientes, alimentos, agua y otros recursos que generan

detrimento al medioambiente. Se proyecta un aumento del doble en la demanda alimentos y servicios para el 2050, debido al incremento de la población mundial que se proyecta sea de hasta 9,100 millones de habitantes, lo que generara una carga y densidades elevadas en las urbes, a esto se le proyecta un mayor poder adquisitivo por las economías emergentes que demandaran productos que mayor calidad y de origen animal (FAO, 2013). Todo esto se debe de dar en un entorno de menor impacto ambiental, aumentando la eficiencia de los sistemas de producción y haciéndolos más sustentables poniendo gran énfasis en la protección ambiental para desacelerar el cambio climático (FAO, 2010). Ante esta situación, los sistemas de producción están ante un gran reto nunca antes planteado (Flysjö, 2012).

En la actualidad existe la inquietud por lograr un desarrollo equilibrado en todos los sectores productivos del mundo, el sector agropecuario emite el 18% del total de gases efecto invernadero y el sector lechero no es la excepción puesto que 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 estas razones es conveniente dirigir la producción agropecuaria con las bases de un desarrollo sostenible, que empezó a tener gran 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 (es posible para la humanidad construir un futuro más próspero, más justo y más seguro), es un punto de partida en cuanto a sustentabilidad se refiere, en el que se plantea la posibilidad de obtener un crecimiento económico basado en políticas de sustentabilidad y expansión de la base de recursos ambientales. El concepto de

sustentabilidad pasó del debate académico a formar parte de todas las agendas políticas, en donde el tema tiene un gran peso (Baker, 1997).

En México no se está exento, puesto que 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 (DOF, 2012), con esto se erige como un instrumento para la transformación del campo mexicano en termino de desarrollo sostenible.

Según Zahm *et al.*(2015), los sistemas de producción implantados actualmente favorecen el crecimiento de la eficiencia técnica y el rendimiento en los estándares de producción, esto ha generado un desbalance en el medio ambiente que se provocó por un elevado uso de pesticidas, herbicidas, y la excesiva mecanización del campo, lo que ha disminuido a la fauna silvestre, se han dañado los mantos superficiales y profundo de agua, se han utilizado gran cantidad de recursos no renovables , estos efectos han logrado que el sector agropecuario sea sometido a un riguroso escrutinio por el efecto que ha tenido sobre el medioambiente.

A partir de lo anterior se plantea que el sector lechero y la agricultura en general tienen que implementar tres grandes cambios, la necesidad de producir más alimentos en orden al crecimiento poblacional, ajustar la producción a las demandas de la sociedad (productos de mayor calidad con características específicas que cumplan con mayores servicios) y por último, pero no menos importante, producir de una mejor forma (lo que está dado por el uso más eficiente de los recursos naturales, respetando el medioambiente y ser ecológicamente sanos), estos cambios están estrechamente relacionados con la sustentabilidad que no solo se refiere al respeto al medio ambiente, sino a la sociedad en

conjunto, y que permita ser económicamente viables (Zahm *et al.*, 2015; Vilain *et al.*, 2008) Hind (2010) además propone que se tenga especial énfasis en la conservación de suelo (manteniendo su estructura y productividad), aire (disminuyendo las emisiones de gases efecto invernadero), agua (mantenerla limpia y en condiciones para se aproveche de forma segura evitando que los desechos de las fincas lleguen a ella), conservando la ecología de las diferentes regiones y manejar de forma adecuada el uso de tierra.

En particular el manejo adecuado y procurar la salud animal, manejo de forrajes y agua, bienestar animal y áreas de manejo permitirán tener mayores rendimiento en las unidades de producción, y se dirige al manejo sustentable de la finca (Hind, 2010).

Todos los sistemas productivos estarán regulados por la producción sustentable, lo que es importante porque se tendrá una regulación y de alguna manera se adquirirá la seguridad en la generación de alimentos por largos periodos, favoreciendo el equilibrio mundial de los alimentos que tanto inquieta al mundo (FAO, 2010). El desarrollo sustentable propone que las sociedades interactúan con su ambiente local, enriqueciendo o degradándolo de acuerdo con el conocimiento y valoración que tengan de su ambiente. A su vez, el ambiente responde proporcionando a la sociedad recursos de alta o baja calidad, según el nivel de degradación al que haya sido sometido (Masera *et al.*, 1999).

2.4 ECONOMÍA EN LA LECHERÍA Y SUSTENTABILIDAD

Una descripción de un sistema sustentable es la capacidad para mantenerse firme en el sector a través del tiempo (Jongeneel and Slangen, 2013). En este punto es donde entra en concepto de resiliencia, el cual según Perrings (1998) indica la habilidad de un sistema mantenerse firme en el sector al cual este inmerso, y que sea capaz de conservar su estructura y funcionalidad posterior a adversidades que se van enfrentando, como físicas tales como sequias, económicas (devaluaciones,

crisis, disminución de precios) y cambios en políticas públicas, en este sentido la resiliencia se torna como la capacidad de recuperación y continuar, teniendo una menor vulnerabilidad.

Un sistema de producción sustentable debe ser rentable, una importante implicación según Jongeneel y Slangen (2013) es que la definición de una empresa agropecuaria rentable identifica todas las entradas y salidas como bienes de la finca y que deben ser valuados en los productos con un costo de oportunidad (mano de obra, tierra y capital) dando un precio de mercado.

En los sistemas de producción lecheros la rentabilidad se liga con la capacidad de manejar los recursos que están dentro de la finca o los que entran, con la finalidad de dar un mejor uso a estos, es importante mencionar que todo debe incidir en la rentabilidad.

Las innovaciones en la producción están dadas con la finalidad de simplificar procesos, mejorar la rentabilidad de las unidades de producción, aumentar la base de recursos naturales y pueden incidir en cualquier área de la producción (Ahmed *et al.*, 2004).

La sustentabilidad y resiliencia son conceptos que pueden ser evaluado a nivel de finca (actualmente existen un sinfín de metodologías que hacen esto posible), pero las unidades de producción siempre están expuestas a diversos cambios los cuales pueden ser transitorios o permanentes, y que generan inestabilidad en la finca, la sustentabilidad en este sentido ve estas amenazas como retos para trascender, y utilizando las herramientas necesarias se puede mejorar la rentabilidad, siempre tomando en cuenta la capacidad de mantenerse en el tiempo (Jongeneel and Slangen, 2013). Dado que el campo de acción en el sector lechero es en muchas ocasiones muy reducido, la habilidad de ajustar el sistema de producción y tomando en cuenta los cambios medioambientales, son claves que permitirá dirigirse a la sustentabilidad (Gardner, 2006). En ese tenor, es de

importancia trascendental que los mejoras que se implementen en los sistemas de producción, dirijan a las fincas a las fincas a lograr la competitividad (Porter, 1990).

Los indicadores de que verifican la especialización de las prácticas de manejo en las unidades de producción pueden identificar en qué grado de competitividad se encuentran, mostrando de forma muy sólida las diferencias en los costos de producción, dado de que competitividad es relacionada a la rentabilidad, dado que por estas características pueden aumentar su nivel de sustentabilidad, atendiendo las necesidades del mercado. Las unidades de producción que logran ser rentables tienen una ventaja competitiva, dado que son menos vulnerables a la condiciones adversas que se presentan a lo largo del ciclo productivo, tienen capacidad de adaptación, además de que su base de recursos aumenta en el momento que se está dirigiendo a la sustentabilidad (Jongeneel y Slangen, 2013).

En los sistemas de producción de leche en pequeña escala se han implementado estrategias alimentación que permiten reducir los costos de alimentación, tal es el uso de pastoreo rotacional continuo (Arriaga-Jordán *et al.*, 2002; Heredia-Nava *et al.*, 2007)

2.5 EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD EN EL SECTOR AGROPECUARIO

Los estudios sobre sustentabilidad agropecuaria se plantean el cómo medir la sustentabilidad, dado que diversos autores la plantean como una construcción social, y que está integrada de forma holística por lo que dependerá de la situaciones en las cuales se vaya a evaluar y el entorno social (Stoorvogel *et al.*, 2004). Webster (1999) define que la medición de la sustentabilidad es complicada dado que se trata de un sitio específico en un concepto dinámico, además, dependerá de la perspectiva de los analistas. Sin embargo, con el empleo de

indicadores (como parámetros o criterios específicos) es posible detectar el nivel de variación en la sustentabilidad.

La evaluación de la sustentabilidad debe fundamentarse en la triple dimensión del concepto; medio ambiental, económica y social (objetivos ambientales; protección del ecosistema y regeneración de los recursos naturales, objetivos económicos; el crecimiento de la renta del productor y la estabilidad macroeconómica del sistema, objetivos sociales; equidad y cobertura de las necesidades básicas) que alcanzan valores aceptables para el conjunto de la sociedad (Stoorougel *et al.*, 2004).

Un indicador es una herramienta que permite simplificar procesos para la obtención de datos que expliquen las características de una unidad de producción, además sirven de guía para tomar decisiones acerca de las mismas (Grass *et al.*, 1989), tienen la ventaja de poder identificar puntos críticos que están interfiriendo directamente en los procesos de producción y por ende afectando el nivel de sustentabilidad, tener opciones de cómo es posible mejorarlos, describen un proceso específico o de control y son particulares a los procesos de los que forman parte. El conjunto de indicadores que se utilice en el proceso de evaluación debe ser robusto y no necesariamente exhaustivo. Para calificar a un indicador se debe de vincular con su objetivo (que evalúa). Girardin (1999) destaca que las cualidades de un indicador deben ser: objetivo y científicamente válido, relacionado al tema de estudio, sensible, fácilmente accesible y comprensible.

Las metodologías existentes para la evaluación de la sustentabilidad deben de integrar de manera holística (Vilain *et al.*, 2008) los pilares de la sustentabilidad de tal forma que permitan que los indicadores identifiquen interacciones e interrelaciones entre estos, además de que las mediciones sean útiles a la unidad de producción y de forma rápida, de tal manera que permitan monitorear un progreso en torno a la sustentabilidad (Hayati *et al.*, 2010). Como punto crucial en la evaluación de la sustentabilidad se pretende que los indicadores identifique un proceso de causa y efecto, con la finalidad de detectar problemáticas actuales, así

como brindar ideas que permitan dirigirse a la sustentabilidad (Norman *et al.*, 1997).

Por lo anteriormente planteado en la medición de la sustentabilidad se han generado diversas herramientas en forma de metodologías para la evaluación de la sustentabilidad donde se planean como principales puntos, en nivel de adaptabilidad de los indicadores, la calidad en la generación de información, los pilares de la sustentabilidad que abarca y la información que genera.

En los recientes años se han generado herramientas metodológicas que permiten evaluar el nivel de sustentabilidad de las unidades de producción agropecuarias. En la unión europea Purvis *et al.* (2009) identificó 244 herramientas que miden el nivel de sustentabilidad en 25 países, donde se toma como comparación el nivel de estructura de la metodología, la escala de implementación geográfica (local, regional, universal), enfoque espacial de la implementación (horizontal o áreas asignadas), escala requerida de implementación (toda la finca o partes de la finca), tipo de sistemas de producción a las que van dirigidas (intensiva, extensiva, pequeña escala, fincas especiales, todo tipo de fincas) y objetivos medioambientales, este estudio demuestra la variedad de metodologías que se han generado para evaluar sustentabilidad, sin embargo según Purvis *et al.* (2009) existe la necesidad de homologar los criterios para evaluar sustentabilidad dado que se puede permitir una mejor alineación a las políticas públicas con la finalidad de que el camino hacia la sustentabilidad en los distintos sistemas de producción sea exitoso.

En estudios realizados por de Olde *et al.* (2016) y Schader *et al.* (2014) comparando metodologías para la evaluación de la sustentabilidad, determinaron parámetros similares a los de Purvis *et al.* (2010), sin embargo estas metodologías tenían que tener una injerencia directa en mínimo un pilar de la sustentabilidad, los parámetros que siguieron fueron los que se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Criterios de caracterización para comparar metodologías de evaluación de la sustentabilidad.

Criterio	Clases
Propósito principal	Investigación Monitoreo Políticas publicas Certificación Asesoría en finca Autoevaluación Información al consumidor Planificación del paisaje
Niveles de evaluación	de Sector agrícola País/región Finca, campo o empresa Productos o cadena de suministro Normas
Ámbito geográfico	Global País o región
Alcance del sector	General (todos los productos/cadenas Productos específicos
Alcance de la temática	Ambiental Social Económica

Tomado de de Olde et al. (2016) y Schader et al. (2014)

Cuadro 2. Criterios de caracterización para comparar metodologías de evaluación de la sustentabilidad (continuación)

Criterio	Clases
Prospectiva sobre la sustentabilidad	Granja/negocio (resiliencia) Sociedad (Desarrollo sostenible de la sociedad) Mixta (resiliencia y desarrollo sostenible de la sociedad)

Tomado de *de Olde et al. (2016)* y *Schader et al. (2014)*

Además de esos criterios para determinar metodologías para evaluar sustentabilidad, de Olde *et al.* (2016) idéntico las siguientes características en las herramientas:

- han sido utilizadas a nivel de finca.
- Utilizan indicadores.
- Tienen un rigor científico (publicaciones en revistas científicas).
- Evalúan los tres pilares de la sustentabilidad (social, económico y ambiental).
- Pueden evaluar cualquier sistema de producción y realizar comparaciones entre ellos.
- Las metodologías han sido aplicadas en más de un país.
- Permiten adaptaciones a cualquier entorno.

De este análisis exhaustivo de de Olde *et al.* (2010) se identificaron cuatro herramientas de 48 evaluadas (ver cuadro 3), que cumplieron con las condiciones, sin embargo se le agrega una metodología de origen latinoamericano que cumple con los requisitos establecidos (Masera *et al.*, 1999) como se muestra en la tabla tres.

Cuadro 3. Características de las metodologías por los criterios según de Olde *et al.* (2016).

Herramienta	Nombre Completo	Origen	Numero de evaluaciones	Última versión	Publicaciones
IDEA	Indicadores de Sustentabilidad de Explotaciones Agropecuarias	Francia (Varias instituciones)	+ 1500	V 3.0 (Vilain <i>et al.</i> , 2008)	Fadul-Pacheco <i>et al.</i> , 2013; M'Hamdi <i>et al.</i> , 2009; Zahm <i>et al.</i> , 2008.
RISE	Evaluación de la sustentabilidad por tras respuesta inducida	Suiza (Universidad de Berna)	+ 3300	V 3.0 (Grenz <i>et al.</i> , 2016)	Häni <i>et al.</i> , 2003
SAFA	Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agropecuarios y de alimentos	FAO (múltiples países e instituciones)	+ 8600	V 3.0 (FAO, 2014)	FAO, 2014
GP	Evaluación de bienes públicos	Reino Unido (Centro de Investigación Orgánica)	+ 240	V 1.0 (Gerrard <i>et al.</i> , 2012)	Gerrard <i>et al.</i> , 2012; Marchand <i>et al.</i> , 2014; Smith <i>et al.</i> , 2011
MESMIS	Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad	México (Universidad Nacional Autónoma de México)	+ 40	V 1.0 (Masera <i>et al.</i> , 1999)	Astier and Hollands, 2005.

Actualmente se ha evaluado la sustentabilidad en México, las metodologías que se han empleado, basan la evaluación en indicadores como son el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) (Mäser *et al.*, 1999), y el método de Indicadores de Sustentabilidad de Explotaciones Agropecuarias (IDEA: *Indicateurs de Durabilité des Explotations Agricoles*) (Zahm *et al.*, 2006), se basan en la construcción de indicadores adaptando a las circunstancias del sistema evaluado y han referido esfuerzos para iniciar la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala. Tal es el caso de Brunett *et al.* (2005) con el MESMIS y de Fadul-Pacheco *et al.* (2013) con la metodología IDEA.

2.6 INNOVACIÓN EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE

La innovación es sin lugar a duda un elemento que debe permitir a los sistemas de producción dirigirse a la sustentabilidad (Ceschin and Gaziulusoy 2016; Cortez-Arriola *et al.*, 2016), en ese sentido los sistemas de producción de leche se ven beneficiados de la generación y adaptación de innovaciones que les permitan beneficiarse con la finalidad de aumentar la sustentabilidad, dado que es indispensable que las adopciones sean adaptables a las condiciones medioambientales y sociales y que atiendan problemáticas y necesidades reales de las unidades de producción (Zahm *et al.*, 2015).

En la actualidad existen innovaciones en lo transversal del cada sistema de producción y que atienden cada uno de los eslabones de las cadenas productivas (Ahmed *et al.*, 2004), actualmente la producción de leche está siendo sometida a un escrutinio a nivel internacional, principalmente por la intensidad de emisiones de gases efecto invernadero (Flysjö, 2012). Sin embargo Moreti *et al.* (2016) indica que los procesos de innovación que sean implementados en los sistemas de producción deben de estar orientados a elevar el nivel de sustentabilidad haciendo un uso adecuado de los recursos naturales. Jouzi *et al.* (2017) en un estudio

realizado en los sistemas de producción de leche en pequeña escala identifica que las innovaciones que se implementan en los sistemas de producción deben de estar orientadas a reducir la dependencia de insumos externos, optimizando el manejo de los recursos locales y generando oportunidades de empleo en las zonas rurales.

En ese sentido se incentivan en los sistemas de producción de leche dos innovaciones que sugieren que un uso de los recursos locales, estas están dadas en la producción de forrajes de calidad.

El uso de praderas inducidas en los sistemas de producción es un elemento que se ha tornado relevante a nivel internacional, en la actualidad el 33 % de la superficie terrestre es utilizada como zonas de cultivo, pastizales y praderas (Krausmann *et al.*, 2012) orientadas a la producción de alimentos, con incremento en la capacidad de producción. La manera en la cual se pueden aumentar los ingresos en estas UPL es mediante la implementación de estrategias de alimentación que permitan reducir los costos de alimentación, dado que la tendencia mundial de los precios de la leche es que se mantengan estáticos (Pica-Ciamarra y Otte, 2008), Martínez-García *et al.* (2016) identifica que los productores en pequeña escala adoptan tecnologías de forma eficiente cuando estas representen un bajo costo de inversión y sean de utilidad e impacto en la producción.

Arriaga-Jordán *et al.* (2002), Heredia-Nava *et al.* (2007), Hernández-Ortega *et al.* (2011) y Pincay-Figueroa *et al.* (2016) documentaron que los sistemas en pastoreo de praderas cultivadas permiten disminuir los costos de alimentación por el aprovechamiento de un forraje de mayor calidad obteniendo menores costos de alimentación y aumentando el rendimiento de leche, por el aumento en la disponibilidad de forraje de calidad a lo largo del año.

Según Thomson *et al.* (1998) y Anaya-Ortega *et al.* (2009) el uso de ensilado de maíz en sistemas en producción de leche en Nueva-Zelandia y el Altiplano central de México respectivamente, han disminuido los costos de alimentación, lo que sugiere que como estrategia de innovación en sistemas de producción de leche en pequeña escala es una estrategia viable, que podría aumentar la rentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, por el aporte de nutrientes de alta calidad, a un bajo costo (Thomson *et al.*, 1998).

3. JUSTIFICACIÓN

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala tienen una gran relevancia al aportar el 37% de la producción nacional de leche, además de ser una herramienta para el Desarrollo Rural, estudios realizados en el altiplano central de México demuestran que estos sistemas tienen una debilidad en el pilar económico de la sustentabilidad, que está dada por la alta dependencia de insumos externos y la baja producción de forrajes de calidad, es ese tenor la innovación en estos sistemas de producción es necesaria, sobre todo en la implementación de innovaciones en las estrategias de alimentación. Al ser estos sistemas de producción un modelo clave para ayudar a mitigar la pobreza de las poblaciones rurales mediante la generación de autoempleo y arraigo a estas zonas por la producción, en ese sentido es indispensable la implementación de innovaciones que les permita aumentar la producción y uso eficiente de forrajes de calidad.

Innovaciones como los sistemas de pastoreo continuo intensivo han demostrado aumentar la producción de leche y disminuir los costos de alimentación, y la implementación de métodos de conservación de forrajes, como el ensilado de maíz permite tener forrajes de calidad en las épocas de escases y sequía y disminuir la dependencia de insumos externos lo que trae como consecuencia de disminución de los costos de producción.

La implementación de las innovaciones mencionadas anteriormente pueden aumentar la eficiencia económica, y dado que estos sistemas de producción de leche en pequeña escala tienen su mayor debilidad en el componente económico, de la sustentabilidad, se puede aumentar el nivel de sustentabilidad de estos sistemas.

4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿El uso de innovaciones varia el nivel de sustentabilidad en los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala?

¿La implementación del pastoreo continuo intensivo permite disminuir los costos de alimentación en los sistemas de producción de leche en pequeña escala?

5. HIPÓTESIS

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala, reúnen condiciones de orden ecológico, social y económico, que los hacen tener un nivel de sustentabilidad distinto, y que está dado por las diversas prácticas de manejo.

Las innovaciones adoptadas por los sistemas de producción de leche en pequeña escala determinan el nivel de sustentabilidad de estas unidades de producción, que está influenciada por el uso eficiente de forrajes de calidad y la eficiencia económica en los procesos de producción.

La implementación de pastoreo continuo intensivo y ensilado de maíz en las estrategias de alimentación de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, permiten disminuir los costos de alimentación y aumentar el nivel de sustentabilidad respecto a los sistemas de producción convencional de corte y acarreo en el altiplano central de México.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la integración de innovaciones (pastoreo continuo intensivo y ensilado de maíz) en los costos de alimentación y el nivel de sustentabilidad en los sistemas de producción de leche en pequeña escala en el altiplano central de México

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Identificar el impacto en los costos de alimentación por la integración del pastoreo continuo intensivo en los sistemas de producción de leche en pequeña escala.

Evaluar el efecto de la integración de innovaciones (ensilado de maíz y pastoreo continuo intensivo) sobre el nivel de sustentabilidad de los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala en el altiplano central de México.

7. MATERIAL Y MÉTODO

7.1 LÍMITE DE ESPACIO

La cabecera municipal del municipio de Aculco se localiza en el noroeste del Estado de México, entre las coordenadas 20° 60` latitud norte y 99° 50` longitud oeste. Cuenta con una superficie de 465.7 kilómetros cuadrados y una temperatura media anual de 13.2 °C. Clima semifrío, sub-húmedo con lluvias en verano, que inician entre marzo o abril y finalizan en octubre o noviembre, con una precipitación promedio anual de 699.6 mm, con temperaturas bajo cero de diciembre a febrero y se ubica a 2460 msnm. (INEGI, 2005).

Colinda al norte con el estado de Querétaro y el municipio de Polotitlán, al sur con los municipios de Timilpan y Acambay, al este con el municipio de Jilotepec y al oeste con el estado de Querétaro (INEGI, 2005).

Figura 1. Límite de espacio



Fuente: Elaboración propia

7.2 LÍMITE DE TIEMPO

La evaluación se realizó durante el periodo de enero a diciembre de 2015., la recolección de información se realizó mensualmente mediante encuestas semiestructuradas.

7.3 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE LECHE (UPL)

Posterior los trabajos realizados por Fadul-Pacheco et al. (2013) y Prospero-Bernal et al. (2013) se implementaron dos innovaciones en los SPLPE evaluados entre los años 2011 y 2014. El pastoreo continuo intensivo en praderas cultivadas con la siguiente formula de siembra; 25 kg de raigrás perene (*Lolium perenne* cv Bargala), 10 kg de raigrás anual (*Lolium multiflorum* cv Maximus) y 3 kg de trébol blanco (*Trifolium repens* cv Ladino), estas especies permiten el rápido establecimiento y han sido evaluadas en el altiplano central de México por Anaya-Ortega et al. (2009) y Heredia-Nava et al. (2007). Las variedades de maíz (*Zea mays*) ensaladas fueron las que ellos siembran de manera periódica, aunque cabe resaltar que hacen un empleo constante de maíz criollo. El esquema de implementación de las innovaciones fue bajo el de investigación participativa (Conroy 2005)

Respecto al trabajo sobre efecto de las innovaciones sobre el nivel de sustentabilidad se evaluaron 24 UPL distribuidas en cuatro grupos, los cuales son; 5 unidades mantienen el sistema convencional de corte y acarreo de praderas y uso de rastrojo de maíz, 12 implementaron una innovación (6 implementaron Ensilado de Maíz y 6 Pastoreo Continuo) y 7 implementaron ambas innovaciones (Ensilado de Maíz más Pastoreo).

Para el trabajo de efecto de la implementación del pastoreo continuo intensivo sobre los costos de alimentación se evaluaron 8 unidades de producción que implementaron pastoreo continuo intensivo en las estrategias de alimentación para el 2015 y que habían sido evaluadas en el 2010 por Fadul-Pacheco *et al.* (2013) y

Prospero-Bernal *et al.* (2013) como parte del proyecto “Evaluación de la Sustentabilidad de los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala”. Se evaluaron las mismas unidades de producción entre el 2010 y 2015 solo que es sin pastoreo en 2010 y con pastoreo en el 2015.

7.3 MÉTODO

Impacto en los costos de producción por la implementación del pastoreo continuo intensivo:

Para el trabajo sobre costos de alimentación por la implementación de pastoreo continuo intensivo, se realizó una comparación entre ocho fincas que han participado en el proyecto intitulado “Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala”, realizando una comparación entre los costos de producción de 2010 versus los costos de alimentación de 2015 en las mismas ocho unidades de producción de leche. Para esto se basó en la metodología de presupuestos parciales, que permite examinar el impacto de los cambios en una empresa, observando solo aquellos costos y retornos que cambian a lo largo del ciclo productivo (Wiggins *et al.*, 2001) y se realizó el ajuste en los costos de alimentación de 2010 y 2015 a diciembre de 2015, según lo índices publicados por el Banco de México con la finalidad de hacerlos comparables.

Efecto sobre el nivel de la sustentabilidad tras la implementación de innovaciones en los SPLPE:

Se realizó la evaluación de la sustentabilidad de los SPLPE utilizando el método IDEA versión 3 (*Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles- Indicateurs de Sustentabilidad en Explotaciones Agropecuarias*), el cuál ha sido desarrollado en Francia desde 1996 y ha sido modificado hasta llegar a esta versión que fue publicada en 2008 (Vilain *et al.*, 2008; Zahm *et al.*, 2008). Este método está basado en 17 objetivos agrupados para formar 3 escalas de sustentabilidad (Agro-

ecológica, socio-territorial y económica), en donde cada objetivo puede contribuir a la mejora de varios componentes de sustentabilidad, cada escala se divide en tres (Agro-ecológica 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.

Los resultados máximos y mínimos en los sistemas de producción agropecuarios describen que aquella UPL que tenga en alguna escala el valor de 0, no significa que es una explotación insostenible, sino que demuestra que tiene muchos áreas en las cuales actuar para dirigirse hacia la sustentabilidad. Contrario a esto no existen explotaciones que tengan el 100% de sustentabilidad, porque siempre existirán prácticas de manejo que le permitirán funcionar mejor. A través de la puntuación de los resultados se buscó encontrar prácticas que aporten hacia la sustentabilidad. (Zahm *et al.*, 2006)

Se realizaron las adaptaciones sugeridas por Vilain y colaboradores (2008) a las condiciones socio-territoriales y agroecológicas de la región de estudio.

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 6 indicadores divididos en cuatro componentes los cuales son: viabilidad, independencia, transmisibilidad y eficiencia, y en conjunto acumulan un máximo de 100 puntos en ésta como en las demás escalas.

Cuadro 4. Escalas, componentes, indicadores y puntajes del método IDEA.

ESCALA AGRO-ECOLÓGICA			
Componente	Indicadores	Valores Máximos	
Diversidad Local	Diversidad de los cultivos anuales y temporales	14	Puntaje máx. 33 unidades
	Diversidad de los cultivos perennes	14	
	Diversidad animal	14	
	Manejo y conservación del patrimonio genético	6	
Manejo de Nutrientes y Espacio	Rotación de cultivos	8	Puntaje máx. 33 unidades
	Dimensión de parcelas	6	
	Manejo de la materia orgánica	5	
	Zonas de protección ecológica	12	
	Medidas de protección al patrimonio natural	4	
	Valoración del espacio	5	
	Manejo del área de praderas	3	
Prácticas de manejo	Fertilización	8	Puntaje máx. 34 unidades
	Manejo de estiércol (efluentes)	3	
	Pesticidas	13	
	Tratamientos veterinarios	3	
	Protección del suelo	5	
	Manejo del agua	4	
	Dependencia energética	10	
ESCALA SOCIO-TERRITORIAL			
Calidad de Producto y Tierra	Calidad de la leche producida	10	Puntaje máx. 33 unidades
	Mejora de construcciones y paisaje	8	
	Manejo de residuos inorgánicos	5	
	Acceso al predio	5	
	Vinculación comunitaria	6	
Empleo y Servicios	Autonomía y valoración de los recursos locales	7	Puntaje máx. 33 unidades
	Autonomía y valoración de recursos locales	10	
	Servicios y otras actividades	5	
	Contribución con empleos	6	
	Trabajo colectivo	5	
	Probable sustentabilidad de la granja	3	
Ética y Desarrollo Humano	Contribución al equilibrio mundial de los alimentos	10	Puntaje máx. 34 unidades
	Bienestar animal	3	
	Formación	6	
	Intensidad de trabajo	7	
	calidad de vida	6	
	Aislamiento	3	
	Calidad de instalaciones	4	

Cuadro 2. Continuación...

ESCALA ECONÓMICA			
Viabilidad	Viabilidad económica	20	30 unidades
	Taza de especialización económica	10	
Independencia	Autonomía financiera	15	25 unidades
	Sensibilidad a auxilios de gobierno	10	
Transmisibilidad	Transmisibilidad	20	20 unidades
Eficiencia	Eficiencia de los procesos productivos	25	25 unidades

Tomado de Zahm y Colaboradores (2008).

Cuadro 5. Objetivos del método IDEA.

1. Coherencia	10. Calidad del producto
2. Autonomía	11. Ética
3. Conservación y manejo de la biodiversidad	12. Desarrollo humano
4. Conservación del paisaje	13. Desarrollo local
5. Conservación de los suelos	14. Calidad de vida
6. Conservación y manejo del agua	15. Prácticas de manejo de relaciones sociales
7. Conservación de la atmosfera	16. Adaptabilidad
8. Manejo adecuado de los recursos no renovables	17. Empleo
9. Bienestar animal	

Tomado de Zahm y colaboradores (2008).

En base a los resultados obtenidos por Zahm y colaboradores (2006), se muestran los siguientes atributos:

- La sensibilidad del método IDEA es mucha porque es capaz de identificar las diferencias de sustentabilidad de diversos sistemas agropecuarios.
- Se puede identificar la variabilidad de sustentabilidad entre granjas con el mismo sistema de producción.
- Su sensibilidad dota al método con un interés particular; puede mostrar diferencias entre explotaciones ya sea en el nivel de las tres escalas o sus componentes o en un indicador en particular.
- IDEA es una herramienta que puede ayudar al progreso de los agricultores hacia la sustentabilidad, porque puede medirlo a través del tiempo.
- Esta herramienta también puede evaluar sistemas agropecuarios convencionales y ecológicos, y los puede comparar.
- En la ponderación de resultados cuando un indicador es bajo o igual a cero, no significa que la granja no sea apta para la sustentabilidad; sino que muestra que tiene esta granja un gran espacio para mejorar.
- Todos sus indicadores pueden ser modificables, respecto al tiempo y las necesidades de la unidad de producción a evaluar y las características del medio donde se encuentra.
- Para determinar el nivel de sustentabilidad de una unidad de producción el método asigna el menor puntaje de las tres escalas como puntaje final de la evaluación.

En términos de sustentabilidad nunca se tendrán sistemas que no sean aptos para la sustentabilidad, pero de igual manera nunca se logrará un sistema cien por ciento sustentable, en ese punto se puede actuar a sabiendas que siempre se puede mejorar en un sistema de producción y nunca olvidar que la sustentabilidad permite y pretende lograr un mejor nivel de vida en la

población, en ese tenor la metodología puede identificar cambios en sistemas de producción con características similares pero variación en prácticas de manejo (Zahm *et al.*, 2015).

7.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para el primer objetivo:

Dado el modelo de datos antes y después de la innovación, se realizó una prueba de *t* de *Student* (Scheffler, 1979) para muestras apareadas para las variables de rendimientos de leche, costos de alimentación, ingresos por venta de leche y margen de ganancia. Con la finalidad de identificar diferencias estadísticas entre antes y después de la implementación del pastoreo continuo intensivo en las Unidades de Producción de Leche y poder detectar diferencias estadísticas significativas con una $P \leq 0.05$.

Segundo objetivo:

Los datos obtenidos fueron organizados y analizados en Microsoft Excel 2013 (Microsoft Office Plus 2013), con la orientación de la metodología IDEA v3 (Fadul-Pacheco *et al.* 2013; M'Hamdi *et al.* 2009; Salas-Reyes *et al.* 2015; Vilain *et al.* 2008). El test de Shapiro-Wills (Field, 2013) fue aplicado como prueba de normalidad para las 24 fincas evaluadas. Se realizó un análisis de varianza para las características de las fincas (ha totales, ha en pastoreo, vacas en producción, vacas secas, rendimiento de leche, precio por litro de leche, mano de obra familiar y contenido de grasa y proteína en leche).

Dado que los datos que se trabajaron, los resultados están en escalas, tuvieron una distribución no-normal, por lo que se realizó un análisis con el test de Kruskal-Wallis para identificar diferencias entre grupos, respecto a los componentes del método IDEA, a partir de este, se realizó un test de Mann-Whitney U para identificar que grupos eran diferentes (Field, 2013).

Un análisis de correlación de Spearman fue realizado para el componente de transmisibilidad y el tamaño de las fincas, dado que se alude a una relación entre estas dos variables.

8. RESULTADOS:

Resultado de trabajo de investigación se derivan dos productos:

- Un artículo enviado a la revista Tropical Animal Health and Production intitulado **“Intensive grazing and maize silage: innovations to enhance the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of Mexico”** donde el objetivo fue evaluar el impacto de la implementación de dos innovaciones (pastoreo continuo intensivo y ensilado de maíz) sobre el nivel de sustentabilidad en los sistemas de producción de leche en pequeña escala.
- Un capítulo de libro aceptado intitulado **“Impacto en los costos de alimentación por la implementación del pastoreo intensivo en sistemas de producción de leche en pequeña escala del altiplano central de México”** donde el objetivo fue evaluar el efecto de la implementación del pastoreo continuo intensivo sobre los costos de alimentación en unidades de producción en leche en pequeña escala en el altiplano central de México, este capítulo se aceptó para su publicación en el libro “Estudios sociales y económicos de la producción pecuaria” editado por la Universidad Autónoma Chapingo.

8.1 ARTÍCULO ENVIADO

Tropical Animal Health and Production
INTENSIVE GRAZING AND MAIZE SILAGE: INNOVATIONS TO ENHANCE THE SUSTAINABILITY OF SMALL-SCALE DAIRY SYSTEMS IN THE HIGHLANDS OF MEXICO
 --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	
Full Title:	INTENSIVE GRAZING AND MAIZE SILAGE: INNOVATIONS TO ENHANCE THE SUSTAINABILITY OF SMALL-SCALE DAIRY SYSTEMS IN THE HIGHLANDS OF MEXICO
Article Type:	Regular Articles
Keywords:	Rural development; sustainability; small-scale dairy systems; participatory livestock research; IDEA method; innovation.
Corresponding Author:	Carlos M. Arriaga-Jordan, Ph.D. Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, Estado de Mexico MEXICO
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Fernando Prospero-Bernal, Master of Science
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Fernando Prospero-Bernal, Master of Science Carlos Galdino Martínez-García, Ph.D. Rafael Olea-Pérez, Ph.D. Carlos M. Arriaga-Jordan, Ph.D.
Order of Authors Secondary Information:	
Funding Information:	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (129449 CB-2009) Dr. Carlos M. Arriaga-Jordan
Suggested Reviewers:	Michel A. Wattiaux, Ph.D. Professor, University of Wisconsin Madison wattiaux@wisc.edu Dr. Wattiaux knows our work on the participatory improvement of small-scale dairy systems and their sustainability. Dr. Wattiaux develops research on dairying in development, environmental aspects of dairying, dairy cattle management and nutrition, food systems, and sustainability. Frédéric Zahm, Ph.D. Researcher, Institute for Science and Technology for Environment and Agriculture frederic.zahm@irstea.fr Dr. Frédéric Zahm is member of the team that developed the IDEA Method to assess the sustainability of farms.
Opposed Reviewers:	

**INTENSIVE GRAZING AND MAIZE SILAGE: INNOVATIONS TO ENHANCE THE
SUSTAINABILITY OF SMALL-SCALE DAIRY SYSTEMS IN THE HIGHLANDS
OF MEXICO**

Fernando Prospero-Bernal¹, Carlos Galdino Martínez-García¹, Rafael Olea-Pérez²
and Carlos Manuel Arriaga-Jordán¹

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

² Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad # 3000, CP 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México.

Corresponding author:

Dr. Carlos M. Arriaga-Jordán

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR),

Universidad Autónoma del Estado de México,

Instituto Literario # 100, C.P. 50000, Toluca,

Estado de México, México

Tel. and fax: +52 (722) 296 5552

e-mail: cmarriagaj@uaemex.mx

INTENSIVE GRAZING AND MAIZE SILAGE: INNOVATIONS TO ENHANCE THE SUSTAINABILITY OF SMALL-SCALE DAIRY SYSTEMS IN THE HIGHLANDS OF MEXICO

Abstract

The objective of the study was to assess the effect on the sustainability of the implementation of intensive grazing (IGRZ) and maize silage (MSLG) as innovations in the feeding strategies of small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. Assessment of the sustainability during 2015 followed the IDEA method and a participatory livestock research approach in 24 farms divided in four groups. Five farms continued their conventional feeding strategy (C) of cut and carry pasture supplemented with commercial concentrate and maize grain, and straw in the dry season; six farms implemented IGRZ of their pastures; six farms implemented MSLG for the dry season; and seven farms implemented IGRZ and MSLG. These innovations were adopted between 2011 and 2014. Farms which implemented IGRZ+MSLG had a higher local diversity score ($P \leq 0.001$), higher scores for ethics and human development and a higher score in economic independence ($P \leq 0.05$) than farms that implemented only one of the innovations. The overall score of sustainability for C was 46, 47 for MSLG, 52 for IGRZ, and 54 for IGRZ+MSLG, from a total possible score of 100. Implementation of the evaluated innovations in feeding strategies, through the management of quality home-grown forages, reduces feeding costs and enhances the sustainability of small-scale dairy farms.

Key words: Rural development; sustainability; small-scale dairy systems; participatory livestock research; IDEA method; innovation.

Introduction

The World Bank (2005) stated that agricultural production in Mexico should play an important role in the reduction of rural poverty, with emphasis on technological innovations that revitalize the rural economy of poor communities, strengthening

agricultural research through a sustainability oriented approach to warrant economic competitiveness with equality; through research, extension, and technical assistance models appropriate to small-scale farmers.

Sustainable agricultural development is a worldwide common policy goal, defined as environmentally sound, socially equitable, and economically viable (Vilain et al., 2008), through socially responsible approaches given by farmer choices, activities and production methods, and the development and quality of life of communities and stakeholders linked to their territory (Zahm et al., 2015).

Sustainable development is based in five characteristics: productive capacity and the ability to reproduce goods and services, robustness, local linkages, autonomy and global responsibility (Zahm et al., 2015) in a global context.

Innovation is without doubt an element that enables farming systems to move towards sustainability (Ceschin and Gaziulusoy, 2016; Cortez-Arriola et al., 2016). Martínez-García et al., (2016) identified that small-scale farmers efficiently adopt technology when they represent low cost, are useful, and have a positive impact in their production goals. Small-scale dairy systems (SSDS) play an important role in rural development (FAO, 2010), that enable farming families to overcome poverty indices by the generation of daily income, and both permanent and temporary employment in rural communities (Espinoza-Ortega et al., 2007), enhancing food security in developing countries (FAO, 2010; McDermott et al., 2010).

SSDS represent over 78% of specialised dairy farms in Mexico, which provide 37% of the national milk production (Hemme et al., 2007).

Fadul-Pacheco et al. (2013) and Prospero-Bernal et al. (2013) evaluated the sustainability of small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico with the IDEA method - *Indicateurs de Durabilité des Exploitations Agricoles*-, (Vilain et al., 2008; Zahm et al., 2008). Results showed sustainability to be 42 and 48 points over 100 for the rainy and dry season respectively. The economic scale was the limiting factor in these systems

These farms had conventional feeding strategies based on cut and carry cultivated pastures, supplementation with concentrates, and straws to complement pastures in the dry season as were described by Alfonso-Ávila et al. (2013) and Martínez-García et al. (2015). A very high reliance on bought-in external inputs was identified as the most important limiting issue affecting their sustainability, particularly commercial concentrates, straws and other forages due to a lack of conservation strategies during the (rainy) season of high forage production which results in a low economic efficiency and rate of specialization.

Taking from these results, the implementation of technical innovations in the feeding strategies were promoted as from 2011. One innovation was the intensive grazing of the cultivated pastures (Pincay-Figueroa et al., 2016), and the other innovation was the use of maize silage instead of maize (and other) straws and large amounts of concentrates (Albarran et al., 2012), which had been shown to reduce feeding costs which represent 70% of total costs (Espinoza-Ortega et al., 2007).

These two simple innovations may be adopted in SSDS where irrigation for pastures is feasible, and because maize is the main crop in Mexico so that there is ample expertise (Hellin et al., 2013), which may increase their economic efficiency and thus the sustainability of these production systems.

Therefore, the objective was to assess the sustainability of small-scale dairy farms that have implemented intensive grazing (IGRZ) of their irrigated pastures or maize silage (MSLG) as innovations in the feeding strategies for small-scale dairy systems.

Materials and Methods

Study area

Work was undertaken in the State of Mexico (which surrounds Mexico city), in the central highlands, which despite its small size (1.1% of the country) is the most

highly populated and is the seventh largest milk producer in the country (SIAP, 2016).

Specifically, the study took place in the municipality of Aculco located between 20° 06' and 20° 17' N and between 99° 40' and 100° 00' W; a sub-humid temperate climate and mean altitude of 2440 m, and a rainy season from mid-May to mid-October (Celis-Alvarez et al., 2016). The area is characterised by SSDS and has been described by Fadul-Pacheco et al. (2013).

Small-scale dairy systems are characterised by small farms mostly under 10 ha, with herds between 3 and 35 cows plus replacements that are milked twice daily, and that rely on family labour (Espinoza-Ortega et al., 2016; Posadas-Domínguez et al., 2014).

Participating farms and implementation of innovations in feeding strategies

Intensive continuous grazing was evaluated in comparison with conventional cut and carry management of pastures. Pastures were sown to 25 kg/ha of perennial ryegrass (*Lolium perenne* cv. Bargala), 10 kg/ha of annual ryegrass (*Lolium multiflorum* cv. Maximus), and 3 kg/ha of white clover (*Trifolium repens* cv. Ladino). These pastures species had shown good results in the central highlands (Heredia-Nava et al., 2007; Hernández-Ortega et al., 2011).

The inclusion of maize silage to complement grazing in the dry season was the second innovation implemented. Maize (*Zea mays*) varieties for silage were the same as those traditionally sown by participating farmers, mostly local landrace *criollo* varieties although some farmers sow improved and hybrid varieties as is common in the Mexican highlands (Bellon and Hellin, 2011).

The implementation and evaluation of the two innovations followed a participatory research approach (Conroy, 2005); and their effect on sustainability was assessed in 24 small-scale dairy farms that have been participating in the project, grouped in: five farms that continued the conventional feeding strategy of cut and carry

pastures and concentrates complemented with straws during the dry season (C), six farms implemented only intensive grazing of pastures (IGRZ), six only implemented maize silage (MSLG) during the dry season, and seven implemented intensive grazing and maize silage (IGRZ+MSLG).

Assessment of sustainability

The assessment of sustainability was undertaken following the IDEA method - Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles – in its third versión (Vilain et al., 2008), as was done in previous work (Fadul-Pacheco et al., 2013; Prospero-Bernal et al., 2013).

The IDEA method is formed by 17 objectives within the three scales of sustainability: the agroecological, socioterritorial and economic scales. The agroecological scale has three components: local diversity, nutrient and space management, and agricultural management practices. The socioterritorial scale also has three components: quality of products, employment and services, and ethics and human development. Lastly, the economic scale has four components: viability, independence, transferability and efficiency. Scores are weighed with a maximum of 100 points for each scale (Zahm, 2008) as described by Fadul-Pacheco et al. (2013) and M'Hamdi et al. (2009).

Four indicators were not included in the study since there are not present or there is not sufficient information for their calculation in the study area. There were two in the agroecological scale and two in the socioterritorial scale as mentioned by Salas-Reyes et al. (2015).

Information was collected through structured questionnaires by monthly visits to participating farms where productive, reproductive, management, and economic, information was recorded in farms, as well as other issues as required by the IDEA method (Vilain et al., 2008).

Statistical analysis

Data were organised following work on the IDEA method version 3 (M'Hamdi et al., 2009; Fadul-Pacheco et al., 2013; Salas-Reyes et al., 2015), and SPSS version 22 was used for statistical analyses (Field, 2013).

The Shapiro-Wills test was applied to test for normality of data from the 24 farms. Analysis of variance was performed on farm variables that were normally distributed to identify differences among farms. Non-normally distributed data were analysed with Kruskal-Wallis tests to identify differences among farms for the components of the IDEA method, and a Mann-Whitney U-test was used to identify differences among groups of farms for each component.

Spearman correlation analysis was performed to the transferability component and the size of farm in order to elucidate relations between these two variables, given the relationship between size of farms and their value.

Results

Table 1 shows the characterisation of the farms by groups. There were statistically significant differences ($P \leq 0.05$) in two variables among the farm groups.

Farms in the IGRZ+MSLG group were significantly larger, and C farms were significantly smaller ($P \leq 0.05$) in terms of total land, while IGRZ and MSLG farms had intermediate land holdings. In spite of smaller land holdings, farms in Group C have significantly ($P \leq 0.05$) a larger number of milking cows.

There were no significant differences ($P > 0.05$) among farm groups for the variables of pasture surface, number of dry cows, price for milk, total milk produced by farm, mean daily milk yields per cow, fat and protein content of milk, and number of family members involved in dairying.

Table 2 shows the sustainability score, which increased as farmers implemented the proposed innovations. Farms that implemented both innovations (IGRZ+MSLG

group) obtained the highest scores for the three scales (agroecological, socioterritorial and economic).

The sustainability score of the IGRZ+MSLG farms, given by the scale with the lowest score, was 17.4% higher than the sustainability score of the C group.

Table 3 shows results of the analysis for each component among groups. There were statistically significant differences ($P \leq 0.05$) for Local diversity, Ethics and human development, and Independence; where the IGRZ+MSLG had the highest scores. There was a trend ($P \leq 0.078$) for differences in farming management practices, with higher scores for the IGRZ+MSLG farms.

The score for economic efficiency increased by 67% in farms that implemented IGRZ and IGRZ+MSLG in comparison with farms in C group; but only 33% in farms that only implemented MSLG (Table 3).

Figure 1 shows variation among groups for each sustainability component of the IDEA method. It is worth noting that the most of the highest scores were for farms in the IGRZ+MSLG group that implemented both feeding innovations.

Scores are similar and intermediate for farms that only adopted IGRZ or MSLG, and farms C that remained under conventional management and did not adopt any of the two innovations consistently obtained the lower scores except for transferability.

Discussion

Studies on small-scale dairy systems undertaken in the central highlands of Mexico report daily milk yields of 16.3 litre/cow, with a mean farm size of 7.3 ha total surface, and nine cows in milking (Espinoza-Ortega et al. 2007). In another area in the highlands of the State of Michoacán, Val-Arreola et al. (2006) report daily yields of 14.0 L/cow, farm size of 5.9 ha and 13 milking cows. These reports are in line to results in this study.

Family labour in SSDS is a competitive advantage (Posadas-Domínguez et al. 2014; Salas-Reyes et al. 2015), that when farms implement IGRZ as an innovation in their feeding strategies, they free between 3 and 4 hours per day from the need to cut and carry pasture herbage that may be spent more efficiently like engaging in improving practices for forage production or in developing other activities that may generate income for the farming family.

Implementing IGRZ in these small-scale dairy farms reduced feeding costs and increased profitability and economic efficiency, as had been reported by and Pincay-Figueroa et al. (2016) from work in the study area.

Gerssen-Gondelach et al. (2015) state that an increase in forage biomass availability is a driving factor for more sustainable agricultural systems; which was not observed in this study where land allocated to cultivated pastures was not significantly different among farm groups (Table 1), but sustainability scores differed among farm groups.

Moretti et al. (2016) and Jouzi et al. (2017) report that improved management and practices as well as crop diversification increase the economic efficiency. This was observed in the work herein reported, where higher scores for sustainability components were achieved as farmers implemented the innovations in feeding strategies based on optimising the use of quality herbage and forages in farms (Table 3).

Cortez-Arriola et al. (2016) from work on SSDS state that adequate management and allocation of farm resources is a premise to improve the profitability of small-scale farms, by increasing their resilience and decreasing their vulnerability; which is most important in the face of increases in the cost of inputs and stagnant prices paid for milk (Pica-Ciamarra and Otte, 2008); as well as risks from possible effects of climate change (Zamora-Martínez, 2015). Therefore, it is necessary to develop and evaluate innovations aimed at these issues (Martínez-García et al. 2015a, c).

Local diversity tends to increase as a larger number of crops are included in the farm (Vilain et al. 2008), that is increased when implementing IGRZ; which also reduces work intensity, enables the restoration of soil fertility, and by including legumes like clover, they have the potential to capture atmospheric nitrogen which leads toward reducing greenhouse gas emissions in contrast to confinement based systems that tend to rely more on external inputs (O'Brien et al. 2012).

The economic independence component is increased as the reliance on external inputs is reduced by improved production and management of herbage and forages home-grown in the farms that implemented IGRZ and MSLG, leading also to reduced dependency on government support programmes as stated by (Vilain et al., 2008).

Thus, the IGRZ+MSLG farms increase their local diversity, their scores on ethics and human development, and economic independence, with significant differences ($P \leq 0.05$) from C farms.

Innovations for small-scale dairy systems must be appropriate and adapted to differences among farm types, since farmers adopt technologies that have immediate benefits and are easy to implement. They tend not to adopt innovations if they believe them to be expensive or require resources in short supply in each farm, like time, labour or land (Martínez-García et al., 2015b).

In the work herein reported, land holding is an important factor in the implementation of innovations, with significant differences ($P \leq 0.05$) between smaller farms with conventional feeding strategies (C) and larger farms that implemented both feeding innovations (IGRZ+MSLG), while farms that implemented only IGRZ or MSLG have intermediate farm sizes. Martínez-García et al. (2013) reported that farmers with larger farms have stronger intentions to adopt innovations.

It is interesting to note nonetheless that C farms have significantly ($P \leq 0.05$) more milking cows than the other two groups, which means that with smaller farms they have to rely more in bought-in inputs.

In regards to the level of transferability, there was a very strong negative correlation ($Rho = - 0.949$) where larger farms have lower transferability; in line with the IDEA method that indicates that the transferability score is given by the total value of the farm, such that larger farms have a higher price than smaller farms; therefore lower transferability scores (Vilain et al. 2008).

Implemented innovations in feeding strategies by optimising the use of pastures and the maize crop had a positive effect increasing the sustainability of these small-scale dairy farms. A simple innovation as implementing only IGRZ, had a positive effect in reducing dependence on external inputs and improving the economic efficiency; similar to when both IGRZ and MSLG are adopted, improving the sustainability score. As an extra benefit, implementing IGRZ reduces the work load of farmers, and issue highly valued.

It is concluded that the implementation of IGRZ and MSLG as innovations in the feeding strategies of small-scale dairy farms result in lower feeding costs by a improving the use of available farm resources (pasture and forages), which besides resulting in a higher efficiency in their production process, enable an improvement in the quality of life of the farming family, given by the increased scores in Local diversity, Ethics and human development, and Independence; resulting overall in higher sustainability scores in farms that implemented both IGRZ and MSLG innovation compared to those farms that continue with conventional management (C), and intermediate scores in farms that only implemented one of the innovations.

Acknowledgments

Authors express gratitude to the 24 farmers who participated in this experiment, 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*, grant 129449 CB-2009) and the postgraduate grant for Fernando Prospero-Bernal.

Conflict of interest

Authors declare there are no conflicts of interests.

Statement on Ethical Standards and Animal Rights

The paper reports participatory research with 24 participating farmers who had knowledge of the objectives of the work and were duly informed at all times, and their privacy and that of their family is respected by not disclosing their names. Procedures followed accepted guidelines of the *Universidad Autónoma del Estado de México*.

References

- Alfonso-Ávila, A.R., Wattiaux, M.A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C.M., 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.
- Bellon, M., and Hellin J., 2011. Planting Hybrids, Keeping Landraces: Agricultural Modernization and Tradition Among Small-Scale Maize Farmers in Chiapas, Mexico, *World Development*, 39, 1434-1443.
- Ceschin, F. and Gaziulusoy I., 2016. Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions, *Design Studies*, 49, 118-163.
- Conroy C., 2005. Participatory livestock research: a guide, (ITDG Publishing, Netherlands)

- Cortez-Arriola, J., Groot, C.J.J., Walter, A.H. Rossing, A.H.W., Scholberg, M.S.J., Améndola-Massiotti, R.D. and Tiftonell, P., 2016. Alternative options for sustainable intensification of smallholder dairy farms in North-West Michoacán, Mexico, *Agricultural Systems*, 144, 22-32.
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda- Martínez, T and Arriaga-Jordán, C.M., 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.
- Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M.A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C.M., 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.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2010. Status and prospects for smallholder milk production a global perspective, (FAO, Rome, Italy).
- Field, A., 2013. *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics*, Fourth Ed., (SAGE Publications, London, UK).
- Gerssen-Gondelach, S., Wicke, B. and Faaij, A., 2015. Assessment of driving factors for yield and productivity developments in crop and cattle production as key to increasing sustainable biomass potentials, *Food and Energy Biosecurity*, 4, 36-75.
- Hellin J., Erenstein O., Beuchelt T., Camacho C. and Flores D., 2013. Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico, *Field Crops Research*, 153, 12-21.
- Hemme, T. et al., (2007): IFCN Dairy Report, 2007. International Farm Comparison Network, (IFCN Dairy Research Center, Kiel, Germany).

- Heredia-Nava, D., Espinoza-Ortega, A., González-Esquivel, C.E., and Arriaga-Jordán, C.M. (2007). Feeding strategies for small-scale dairy systems based on perennial (*Lolium perenne*) or annual (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the central highlands of Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 39, 179 – 188.
- Hernández-Ortega, M., Heredia-Nava, D., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C.M., 2011. Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 43, 947-954.
- Jouzi, Z., Azadi, H., Taheri, F., Zarafshani, K., Gebrehiwot, K., Van Passel, S. and Lebailly, P., 2017. Organic Farming and Small-Scale Farmers: Main Opportunities and Challenges, *Ecological Economics*, 132, 144-154.
- Martínez-García, C.G., Dorward, P. and Rehman, T., 2013. Factors influencing adoption of improved grassland management by small-scale dairy farmers in central Mexico and the implications for future research on smallholder adoption in developing countries, *Livestock Science*, 152, 228-238.
- Martínez-García, C.G., Dorward, P. and Rehman, T., 2015a. Factors Influencing Adoption of Crop and Forage Related and Animal Husbandry Technologies by Small-Scale Dairy Farmers in Central Mexico, *Experimental Agriculture*, 52, 87-109.
- Martínez-García C.G., Sarah Janes Ugoretz, Carlos Manuel Arriaga-Jordán and Michel A. Wattiaux, 2015b. Farm, household and farmer characteristics associated with changes in management practices and technology adoption among dairy smallholders. *Tropical Animal Health and Production* 47, 311-316. DOI 10.1007/s11250-014-0720-4
- Martínez-García, C.G., Rayas-Amor, A.A., Anaya-Ortega, J.P., Martínez-Castañeda, F.E., Espinoza-Ortega, A. Prospero-Bernal, F. and Arriaga-

- Jordán, C.M., 2015c. 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.
- M'Hamdi, N., Aloulou R., Hedhly M., and Ben Hamouda M.. 2009. Évaluation de la durabilité des exploitations laitières tunisiennes par la méthode IDEA. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13, 221–228.
- McDermott, J.J., Staal, S.J., Freeman, H.A., Herrero, M. and Van de Steeg, J.A., 2010. Sustaining intensification of smallholder livestock systems in the tropics, *Livestock Science*, 130, 95-109.
- Moretti, M., De Boni, A., Roma R., Fracchiolla, M. and 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.
- O'Brien, D., Shalloo, L., Patton, J., Buckley, F., Grainger, C. and Wallace, M., 2012. A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms, *Agricultural Systems*, 107, 33-46.
- Pica-Ciamarra, U. and Otte, J., 2008. Livestock as a pathway out of poverty in Latin America: A policy perspective. In: O.A. Castelán- Ortega, A. Bernués-Jal, R. Ruiz-Santos and F. Mould (eds), *Opportunities and challenges for smallholder ruminant systems in Latin America*, (Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Mexico), 437–476.
- Pincay-Figueroa, P.F., López-González, F., Velarde-Guillén, J., Heredia-Nava, D., Martínez-Castañeda, F.E., Vicente, F., Martínez-Fernández, A. and Arriaga-Jordán, C.M., 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.
- Posadas-Domínguez, R.R., Arriaga-Jordán, C.M. and Martínez- Castañeda, F.E., 2014. Contribution of labor to the profitability and competitiveness on small-

scale dairy production systems in central México., *Tropical Animal Health and Production*, 46, 235–240.

Prospero-Bernal, F., Albarrán-Portillo, B., Espinoza-Ortega, A. and Arriaga-Jordán, C. M., 2013. Assessment Sustainability during Dry Season in Small-Scale Dairy Production Systems from Central Mexico. In: Leopoldo Olea Márquez de Prado, Ma. José Poblaciones Suárez-Bárcena, Sara M. Rodrigo y Óscar Santamaría. (Eds.) *Los pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades*, (Sociedad Española para el Estudio de los Pastos, Badajoz) 561-568.

Salas-Reyes, I.G., Arriaga-Jordán, C.M., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A. and Albarrán-Portillo, B., 2015. Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico, *Tropical Animal Health and Production*, 47, 1187- 1194.

SIAP – Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera, 2016. *Leche bovino: Comparativo el avance acumulado de la producción pecuaria Información al Diciembre del 2013 y 2014.* http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecCompaEspProd.jsp. Accessed 7 January 2016.

Val-Arreola, D., Kebreab, E. and France, J., 2006. Modeling Small-Scale Dairy Farms in Central Mexico Using Multi-Criteria Programming, *Journal of Dairy Science*, 89, 1662-1672.

Vilain, L., Boisset, K., Girardin, P., Guillaumin, A., Mouchet, C., Viaux, P. and Zahm, F., 2008. *La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation (troisième édition actualisée)*, (Educagri éditions, Dijon).

World Bank 2005. *A study of rural poverty in Mexico.* http://siteresources.worldbank.org/INTMEXICO/Resources/A_Study_of_Rural_Poverty_in_Mexico.pdf. Accessed 19 December 2016.

- Zahm F., Viaux, P., Vilain L., Girardin F. and 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.
- Zahm, F., Ugaglia, A., Boureau, H., Del’homme, B., Barbier, J.M., Gasselin, P., Gafsi, M., Guichard, L., Loyce, C., Manneville, V., Menet, A. and Redlingshofer, B., 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.
- Zamora-Martínez, M.C., 2015. Editorial: Cambio Climático, *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 6, 4-6.

Table 1. Farm characteristics for groups C, MSLG, IGRZ and IGRZ+MSLG.

	GRUPOS				P
	Conventional (C)	Maize Silage (MSLG)	Grazing (IGRZ)	Grazing and Maize Silage (IGRZ+MSLG)	
Number of farms	5	6	6	7	
Total farm size (ha)	4.3 ^b	7.9 ^{ab}	5.8 ^{ab}	9.9 ^a	0.026*
Total pastures (ha)	1.4	1.6	1.8	2.3	0.107
Milking cows	15 ^a	8 ^b	6 ^b	9 ^b	0.009*
Dry cows	3	1	1	2	0.153
Price of milk (MXN pesos)	5.22	5.30	5.13	5.01	0.815
Milk yield (L/day)	14.3	14.2	14.7	14.6	0.979
Family labour	2	2	2	2	0.540
Milk fat (g/kg milk)	34.7	33.1	34.1	34.2	0.237
Protein (g/kg milk)	32.7	32.0	32.1	32.4	0.057

* $P \leq 0.05$

^{a, b} $P \leq 0.05$

Table 2. Sustainability score by farm group

	GROUPS			
	C	MSLG	IGRZ	MSLG + IGRZ
Number of farms	5	6	6	7
Agroecological	68	70	75	79
Socioterritorial	63	66	66	72
Economic	46	49	52	55
Sustainability score	46	47	52	55

C: Conventional, MSLG: Maize silage, IGRZ: Intensive grazing, IGRZ+MSLG:

intensive grazing and maize silage

Table 3. Score by component from IDEA method for farm groups

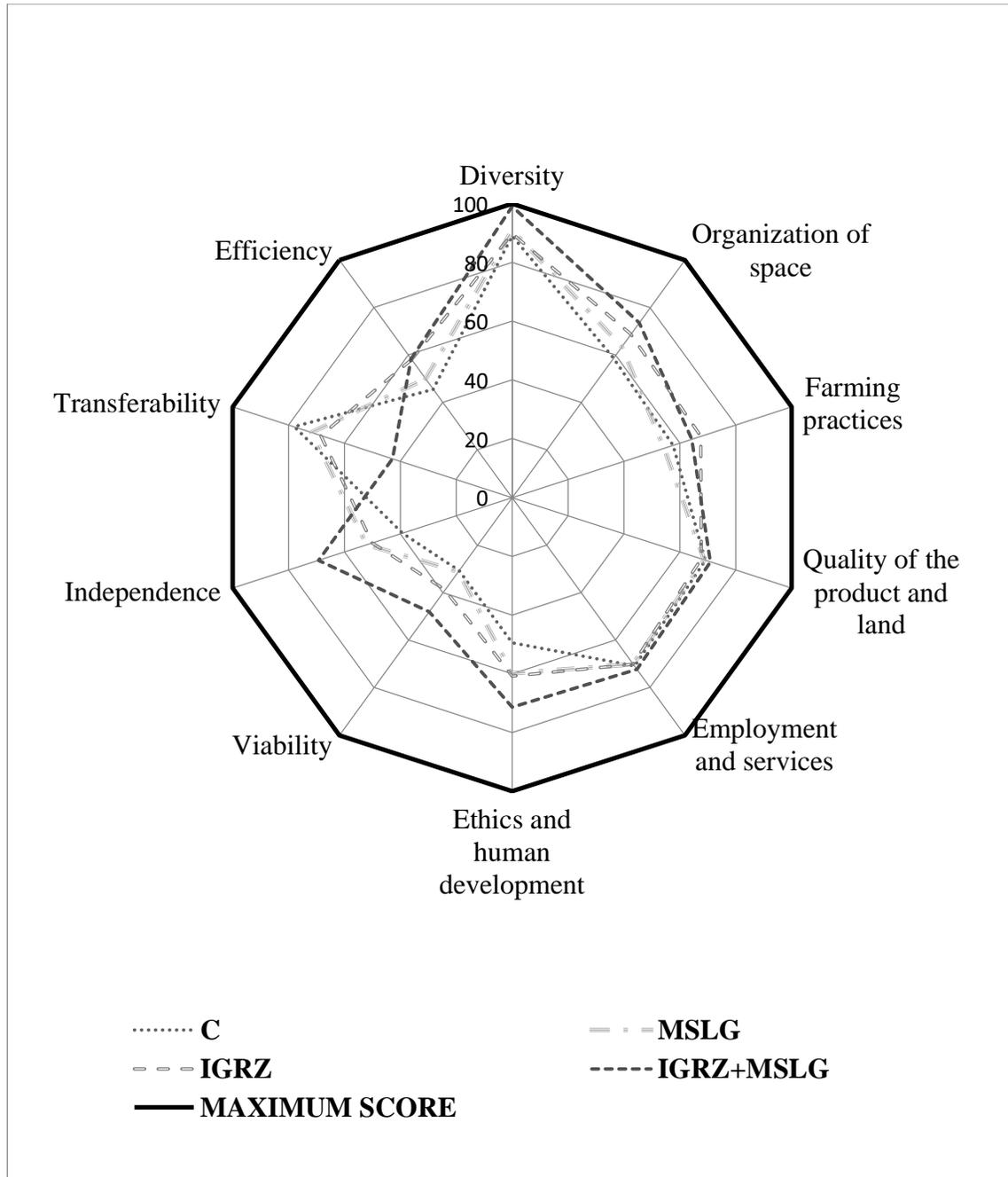
Component	Groups									
	C		MSLG		IGRZ		IGRZ+MSLG		P	
	Median	IR	Median	IR	Median	IR	Median	IR		
Number of farms	5		6		6		7			
Local diversity	29 ^b	1	30 ^b	2	29 ^b	2	33 ^a	0	0.000*	
Nutrient and space management	19	4	20.5	5	22	9	24	9	0.299	
Farming practices	19	7	18	4	22.5	8	23	4	0.078	
Quality of products and land	22	2	22	2	22	1	24	2	0.282	
Employment and services	23	2	23	1	23.5	2	24	2	0.508	
Ethics and human development	16 ^b	4	19 ^{ab}	8	19 ^{ab}	10	22 ^a	12	0.033*	
Viability	10	19	8	20	13	11	16	10	0.626	
Independence	10 ^b	1	10.5 ^{ab}	11	10 ^b	5	16 ^a	6	0.033*	
Transferability	18	10	19	14	14	11	4	16	0.376	
Efficiency	9	6	12	7	15	7	15	3	0.308	

P value from Kruskal-Wallis test

^{a,b} P≤0.05.

IR: Interquartile range

Figure 1. Radar figure of scores for each component by farm groups.



8.2 CAPITULO DE LIBRO ACEPTADO



"ENSEÑAR LA EXPLOTACIÓN DE
LA TIERRA, NO AL HOMBRE"

UNIVERSIDAD AUTONOMA CHAPINGO Chapingo, México

DEPENDENCIA: ZOOTECNIA

NUMERO DE OFICIO:

EXPEDIENTE:

ASUNTO: CONSTANCIA

Texcoco, Estado de México a 09 de febrero de 2017

A QUIÉN CORRESPONDA
PRESENTE

Por este medio se hace constar que el artículo titulado "Impacto en los costos de alimentación por la implementación del pastoreo intensivo en sistemas de producción de leche en pequeña escala del altiplano central de México", elaborado en 2016 por los autores Fernando Prospero-Bernal, Rafael Olea-Pérez, Carlos Galdino Martínez-García, Felipe López-González y Carlos Manuel Arriaga-Jordán, fue aceptado después del dictamen favorable del Comité Editorial para su publicación en el libro "Estudios sociales y económicos de la producción pecuaria" actualmente en edición.

Se extiende la presente para los fines que el interesado considere convenientes, en la Universidad Autónoma Chapingo, a los 6 días del mes de febrero del año dos mil diecisiete.

ATENTAMENTE

Beatriz A. Cavallotti Vázquez
Profesora-Investigadora del DEIS de Zootecnia de la UACH.
Coordinadora del Libro

(10) IMPACTO EN LOS COSTOS DE ALIMENTACIÓN POR LA IMPLEMENTACIÓN DEL PASTOREO INTENSIVO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA DEL ALTIPLANO CENTRAL DE MÉXICO

¹F. PROSPERO-BERNAL, ²R. OLEA-PÉREZ, ¹C. G. MARTÍNEZ-GARCÍA, ¹F. LÓPEZ-GONZÁLEZ Y ¹C. M. ARRIAGA-JORDÁN

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Instituto Literario N° 100. 50000 Toluca, Estado de México. (fer_104_7@hotmail.com)

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Av. Universidad 3000, Coyoacán, 04510 Ciudad de México.

Introducción

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala juegan un rol relevante en el desarrollo rural (FAO, 2010:10) principalmente por la generación de empleos en las zonas donde se encuentran tanto a integrantes de las familias productoras, como a habitantes de sus comunidades.

Tienen como actividad primordial la venta de leche que les genera ingresos económicos que permiten superar los índices de pobreza en el medio rural y mejorar la calidad de vida de las familias productoras (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007:250). Su importancia radica en que estos sistemas aportan el 37 % de la producción de leche en México (IFCN, 2009:121), y representan el 78% de las unidades especializadas en producción de leche.

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala, se definen como pequeñas fincas con hatos entre 3 y 35 vacas en producción, más sus remplazos, con pequeñas superficies de tierra y que son manejadas fundamentalmente por la familia productora (Fadul-Pacheco *et al.* 2013:887).

El uso eficiente de los recursos naturales en los sistemas de producción agropecuarios es de gran relevancia para la continuidad de estos, dado que en la actualidad se considera que la producción de alimentos se debe realizar bajo un énfasis de sostenibilidad (FAO, 2010) que indica el mantenimiento de la base de los recursos naturales, beneficiándonos a las generaciones actuales, pero, sin comprometer la capacidad de su regeneración, que permitan que generaciones futuras para satisfacer sus necesidades de vida (Bruntland, 1987:27). Tomando el desarrollo sostenible como eje primordial y considerando que está integrado por tres escalas de sostenibilidad las cuales son la ecológica, social y económica, se han realizado estudios en los sistemas de producción que permiten identificar cuáles son las circunstancias en las que se desarrollan e identificar puntos críticos con la finalidad de incidir en estos y mejorar el nivel de sostenibilidad de los sistemas de producción.

Fadul-Pacheco *et al.* (2013:894) identificaron que la escala económica es una debilidad en los sistemas de producción de leche en pequeña escala del altiplano central, la cual está dada por la baja eficiencia en los procesos de producción, y la alta dependencia de insumos externos, particularmente para la alimentación del ganado, que llegan a representar del 70 al 90 % de las erogaciones en efectivo de las unidades de producción, dependiendo del nivel de especialización técnica y la importancia económica de la producción para las familias (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007:249).

Por tanto, se identificó la necesidad del desarrollar y evaluar estrategias de alimentación que permitan el incremento de la rentabilidad de estas unidades de producción, con la finalidad de reducir los costos de alimentación (Martínez-García *et al.*, 2015:336), dado que las tendencias actuales del precio de la leche en el mercado mundial han tenido una reducción y se estima que esta tendencia persista para los próximos años (IFCN, 2016: en línea).

Arriaga-Jordán *et al.* (2002:387) documentaron que el pastoreo intensivo de praderas irrigadas permite disminuir los costos de alimentación por el aprovechamiento de un forraje de mayor calidad obteniendo menores costos de alimentación y aumentando el rendimiento de leche.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la integración del pastoreo intensivo a las estrategias de alimentación de sistemas de producción de leche en pequeña escala en los costos de alimentación.

Área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en la región Noroeste del Estado de México en el municipio de Aculco, ubicado entre las coordenadas 20° 06' y 20° 17' Norte y entre 99° 40' and 100° 00' Oeste, 2400 msnm de altitud, clima templado subhúmedo, temperatura anual que oscila entre los 10 y 18°C y una precipitación anual de 700 a 1000 mm, con lluvias en verano.

El estudio se centró en los meses de mayo a octubre, y se realizó en dos etapas: una evaluación previa a la implementación del pastoreo (bajo el sistema de alimentación convencional) con información que se recolectó en el año 2010, y una segunda etapa de evaluación una vez implementado el pastoreo intensivo, evaluando en el año 2015. La investigación se realizó bajo un esquema de investigación participativa rural donde se involucra al productor en las actividades con la finalidad de lograr un mayor interés del productor en la obtención de los resultados.

Unidades de producción participantes

Ocho Unidades de Producción de Leche (UPL) participaron en el estudio. La Tabla 1 muestra las características de las ocho UPL en cada etapa de evaluación, para la alimentación convencional con sistema de corte de praderas (evaluación

realizada en el año 2010), y una vez que el pastoreo fue implementado (evaluación realizada en el año 2015), con sistema de pastoreo intensivo.

Tabla 1. Características de las Unidades de Producción de Leche.

	Convencional (2010)	Pastoreo (2015)	EEDM	P
Superficie total (ha)	5.5 (\pm 3.1)	5.5 (\pm 3.1)		
Superficie de praderas (ha)	1.4 (\pm 0.60)	1.4 (\pm 0.60)		
Vacas en ordeña	8.1	7.6	0.65	NS
Vacas secas	1.8	1.7	0.43	NS
Rendimiento en leche (l/vaca/d)	12.3	14.0	0.43	**
Coste de producción (\$/l de leche)	3.44	2.18	0.01	***

Fuente: Elaboración propia

EEDM= Error Estándar de la Diferencia Media, **P<0.01, * P<0.001**

Implementación del pastoreo

La implementación del pastoreo se realizó en las ocho unidades de producción entre los años 2011 y 2014 como un modelo innovador en la región de estudio. Esta implementación fue a partir de los estudios realizados por Fadul-Pacheco *et al.* (2013:888) y Prospero-Bernal *et al.* (2013:567) quienes identificaron, que la escala de mayor debilidad en la evaluación de la sostenibilidad a través de un ciclo productivo es la económica, dada por la baja eficiencia en los procesos de producción, y una alta dependencia de insumos externos, que se hace más activa hacia la época de secas (Alfonso-Ávila *et al.*, 2012:643 y Martínez-García *et al.*, 2015:335).

Ante la falta de forrajes de calidad y la gran dependencia de alimentos concentrados comprados, se propone el pastoreo de praderas cultivadas como una estrategia que permite la disminución de los costos de alimentación y el aumento en la producción de leche (Arriaga-Jordán *et al.*, 2002:387), por el aumento en la disponibilidad de forraje de calidad a lo largo del año, dado que en la región de estudio se cuenta con la disponibilidad de riego de praderas en la época de secas, lo que permite mantener la producción a través de todo el ciclo productivo.

Las praderas fueron implementadas con la siguiente fórmula de siembra; 25 kg de raigrás perenne (*Lolium perenne* cv Bargala), 10 kg de raigrás anual (*Lolium multiflorum* cv Maximus) y 3 kg de trébol blanco (*Trifolium repens* cv Ladino), ya que estas especies permiten el rápido establecimiento y han sido evaluadas en el altiplano central de México por Anaya-Ortega *et al* (2009:609) y Heredia-Nava *et al* (2007:109) obteniendo acumulaciones netas de forraje de hasta 8222 kg de materia orgánica por hectárea en 92 días en los meses de agosto a noviembre.

La recolección de la información se realizó mediante encuestas elaboradas, donde se obtuvo información mensual de la producción de leche, precio de venta y costos de alimentación de las ocho unidades de producción participantes.

Análisis económico

Se realizó mediante la metodología de presupuestos parciales de Wiggins *et al.* (2001:3), que permite examinar el impacto de los cambios en una empresa, observando solo aquellos costos y retornos que cambian a lo largo del ciclo productivo, se cuantificó el valor de la mano de obra para el sistema de corte y acarreo, que no se presenta en el sistema de pastoreo. Los productores manifestaron que el pastoreo les permitió liberar cuatro horas al día que bajo el sistema convencional representan las labores de siega de las praderas, acarreo a los corrales y distribución de la hierba, la limpieza de los corrales (donde los hatos

permanecían confinados todo el día). Se adscribió un costo de oportunidad a esas cuatro horas de fuerza de trabajo de los productores. Además los costos de alimentación del 2010 fueron deflactados a fechas de diciembre de 2015, con la finalidad de hacer comparables ambos periodos de evaluación.

Análisis estadístico

Dado el modelo de datos antes y después de la innovación, se realizó una prueba de *t* de *Student* (Scheffler, 1979:84) para muestras apareadas para las variables de rendimientos de leche, costos de alimentación, ingresos por venta de leche y margen de ganancia.

Costos de alimentación, ingresos por venta de leche y margen de ganancia antes y después de la implementación del pastoreo en las UPL

Las características de las unidades de producción no presentaron cambios en la tenencia de tierra, el tamaño de hato no mostro diferencias tanto para vacas en ordeña como para número total de vacas como (Tabla 1).

Se detectaron diferencias altamente significativas para rendimiento de leche ($P < 0.01$), obteniendo un promedio en pastoreo de 14 l/vaca al día versus 12.3 l/vaca al día en el sistema convencional de corte (Tabla 1), lo que representa un aumento de 12.14% en la producción de leche, lo que contrasta con lo reportado por Heredia-Nava *et al* (2013) que registro incrementos en la producción de leche por vaca de 0.6l/vaca al día posterior a la implementación del sistema de pastoreo intensivo.

Así mismo, se obtuvieron diferencias altamente significativas ($P < 0.001$) para costos de alimentación por litro de leche, con un costo de \$ 3.44 /l para sistema convencional y \$ 2.18 /l para pastoreo (Tabla 1), 36% menos, tras la incorporación del pastoreo continuo intensivo que bajo el sistema convencional. Estos resultados son similares a lo reportado por Heredia-Nava *et al.* (2013:558) en un caso de

estudio sobre el primer productor que incorporó el pastoreo en la región, donde tuvo una disminución de 32% en los costos de alimentación.

En los costos de alimentación mensual, por vaca se detectó una tendencia ($P < 0.10$) hacia menores costos, la cual fue significativa cuando se expresaron en costos de alimentación mensual por hato ($P < 0.05$) teniendo un menor costo de alimentación en pastoreo. Los costos fueron en promedio \$ 331.21 /mes por vaca y por hato de \$ 3,307.38 /mes menores en pastoreo (Tabla 2), lo que representa una reducción en los costos de alimentación de 24.82% por vaca y 29.72% por hato.

Tabla 2. Costos de alimentación mensual.

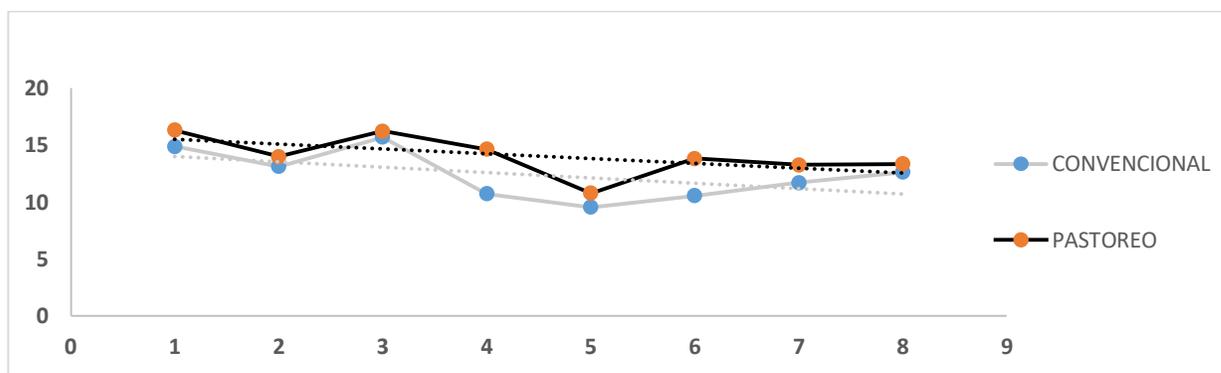
UPL	POR VACA		POR HATO	
	CONVENCION AL	PASTOREO	CONVENCIONA L	PASTOREO
1	\$ 1,667.64	\$ 1,141.91	\$ 27,516.10	\$ 18,460.87
2	\$ 1,232.69	\$ 1,706.36	\$ 12,326.88	\$ 10,806.94
3	\$ 1,796.91	\$ 828.21	\$ 12,278.88	\$ 6,073.56
4	\$ 640.01	\$ 798.29	\$ 4,800.09	\$ 5,987.18
5	\$ 960.55	\$ 779.86	\$ 8,004.62	\$ 4,419.19
6	\$ 1,673.38	\$ 1,021.86	\$ 9,482.48	\$ 7,834.26
7	\$ 1,651.50	\$ 995.18	\$ 11,285.26	\$ 5,971.10
8	\$ 1,052.25	\$ 753.58	\$ 3,332.12	\$ 3,014.30
Promedio	\$ 1,334.37	\$ 1,003.16	\$ 11,128.30	\$ 7,820.92
EEDM	167.10		1199.89	
P	0.088*		0.028**	

EEDM = Error estándar de la Diferencia Media, * $P < 0.1$ y ** $P < 0.05$

Fuente: Elaboración propia

Los ingresos por venta mensual de leche muestran una tendencia hacia mayores ingresos en pastoreo por vaca ($P < 0.1$), que al expresarse por hato son estadísticamente significativos ($P < 0.05$), teniendo un ingreso en pastoreo 25.17% superior por vaca y 17.75% mayor por hato en pastoreo (Tabla 3) en comparación con el sistema convencional de corte y acarreo. Este resultado está dado por una mayor producción de leche por vaca, 13.7% mayor en pastoreo, con 14.0 l/vaca/día versus 12.3 l/vaca/día en convencional (ver grafica 1).

Gráfica 1. Producción diaria de leche litros por vaca por finca



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Ingresos mensuales por venta de leche.

UPL	POR VACA		POR HATO	
	CONVENCION AL	PASTOREO	CONVENCIONA L	PASTOREO
1	\$ 2,209.24	\$ 2,583.84	\$ 36,452.53	\$ 41,772.15
2	\$ 1,465.47	\$ 2,755.86	\$ 14,654.68	\$ 17,453.79
3	\$ 2,623.13	\$ 1,999.21	\$ 17,924.75	\$ 14,660.84
4	\$ 1,193.04	\$ 1,955.72	\$ 8,947.78	\$ 14,667.89
5	\$ 1,062.89	\$ 2,092.63	\$ 8,857.45	\$ 11,858.23
6	\$ 1,756.88	\$ 1,758.76	\$ 9,955.66	\$ 13,483.80
7	\$ 1,841.69	\$ 2,284.90	\$ 12,584.88	\$ 13,709.40
8	\$ 1,618.43	\$ 1,806.58	\$ 5,125.03	\$ 7,226.32
Promedio	\$ 1,721.35	\$ 2,154.69	\$ 14,312.84	\$ 16,854.05
EEDM	214.07		990.82	
P	0.083*		0.037**	

EEDM = Error estándar de la Diferencia Media. * P<0.1 y ** P<0.05

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 4 muestra el margen de ganancia mensual. Existe una evidencia fortísima que nos indica que existen diferencias por vaca ($P < 0.001$), teniendo un margen de ganancia mensual para pastoreo por vaca de \$ 1,151.53 y de \$ 386.98 para convencional, obteniendo un aumento del 197.6% cuando las vacas pastorean. Respecto al margen mensual sobre costos de alimentación por hatos existen diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) en donde el sistema de corte y acarreo obtuvo un margen de \$ 3,184.54 y el sistema de pastoreo de \$ 9,033.13, lo que representa un aumento de 183.7% cuando se integra el pastoreo a las estrategias de alimentación.

El sistema convencional al requerir de cuatro horas diarias para el corte y acarreo del forraje de las praderas que es segado y ofrecido al hatos en los establos, tiene

un costo de oportunidad para la fuerza de trabajo del productor, el cual representa un costo de \$ 75.00 diarios (considerando un salario en el área de estudio de \$ 150/jornal), lo que significa una importante reducción en los costos de alimentación que se observa en pastoreo al ser la estrategia de alimentación más económica en los sistemas de producción de leche y que se refleja en la Tabla 2 de este estudio.

Posadas-Domínguez, Arriaga-Jordán y Martínez-Castañeda (2014:239) definen, en trabajos realizados en sistemas de producción de leche en pequeña escala en la región de Texcoco, que la fuerza de trabajo familiar juega un rol relevante dado que les permite mejorar la rentabilidad y competitividad de estos sistemas. En este estudio al asignar un costo de oportunidad a la mano de obra familiar se eleva la rentabilidad de los sistemas en pastoreo al disminuir la carga de trabajo para los individuos de las familias productoras, aumentando el margen de ganancia mensual por hato, que es de 190% respecto a los sistemas cuando tenían el sistema de corte y acarreo.

Tabla 4. Margen de ganancia mensual entre costos de alimentación y venta de leche

UPL	POR VACA		POR HATO	
	CONVENCIONAL	PASTOREO	CONVENCIONAL	PASTOREO
1	\$ 541.60	\$ 1,441.94	\$ 8,936.43	\$ 23,311.29
2	\$ 232.78	\$ 1,049.50	\$ 2,327.80	\$ 6,646.85
3	\$ 826.23	\$ 1,170.99	\$ 5,645.88	\$ 8,587.29
4	\$ 553.02	\$ 1,157.43	\$ 4,147.68	\$ 8,680.71
5	\$ 102.34	\$ 1,312.77	\$ 852.83	\$ 7,439.03
6	\$ 83.50	\$ 736.90	\$ 473.18	\$ 5,649.54
7	\$ 190.19	\$ 1,289.72	\$ 1,299.62	\$ 7,738.30
8	\$ 566.18	\$ 1,053.00	\$ 1,792.91	\$ 4,212.02
Promedio	\$ 386.98	\$ 1,151.53	\$ 3,184.54	\$ 9,033.13
EEDM	105.52		1325.06	
P	0.000****		0.003***	

EEDM = Error Estándar de la Diferencia Media, * P<0.001 **P<0.01**

Fuente: Elaboración propia

En términos de sostenibilidad los sistemas agropecuarios fueron definidos por Landais (1998:9) como aquellos que son ecológicamente sanos, socialmente justos y económicamente viables. En los sistemas de producción de leche al incorporar el pastoreo se mejora el margen de ganancia (Tabla 4) lo que permite tener una mayor eficiencia económica, que mejora la rentabilidad de las UPL, y permite reforzar lo reportado por Fadul-Pacheco *et al.* (2013) y Prospero-Bernal *et al.* (2013), que encuentran que la escala económica es el factor limitante de la sostenibilidad de los SPLPE en la región de estudio.

Además el pastoreo es una herramienta que disminuye la carga de trabajo de la mano de obra familiar lo que les permite ocupar el tiempo destinado al corte y acarreo de las praderas en otras actividades dentro o fuera de la finca.

Conclusiones

La implementación del pastoreo en los sistemas de producción de leche en pequeña escala resulta ser una alternativa viable para disminuir los costos de alimentación y aumentar los ingresos por venta de leche, obteniendo márgenes de ganancia mayores en pastoreo en comparación con el sistema convencional de siega de praderas. Además, el pastoreo permite aumentar el rendimiento de leche por ható y por vaca, logrando costos de alimentación por litro de leche de \$ 2.18, comparado con los costos de alimentación en el sistema convencional de \$ 3.44/l, teniendo una producción de leche de 15.5% mayor en pastoreo versus convencional, que se refleja en mayor ingreso por venta de leche (25% en promedio) y un aumento de 183.7% en los márgenes de ganancia por ható, lo que incrementa la sostenibilidad de estos sistemas.

El uso eficiente de los recursos naturales dentro de la finca permite tener forraje de alta calidad a bajo costo, lo que permite disminuir la dependencia de insumos externos. Lo anterior es particularmente relevante dado que por los efectos atribuibles al cambio climático se han presentado fluctuaciones e incrementos en los precios de los insumos tanto a nivel local como global, principalmente el costo de los concentrados comerciales, que en la alimentación convencional en la región de estudio son utilizados en grandes cantidades.

AGRADECIMIENTOS

A los productores participar en los proyectos de mejoramiento participativo de sistemas de producción de leche en pequeña escala, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) de México por el financiamiento al proyecto “Evaluación de la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción de Leche en Pequeña Escala”, Clave 129449 CB-2009,

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anaya-Ortega J. P., Garduño-Castro G., Espinoza-Ortega A., Rojo-Rubio R. y C. M. Arriaga-Jordán (2009): Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. **41**, 607–616.
- Alfonso-Ávila A.R., Wattiaux A.M., Espinoza-Ortega A., Sánchez-Vera E. y Arriaga-Jordán C.M. (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.
- Arriaga-Jordán C.M., Albarrán-Portillo B., Espinoza-Ortega A., García-Martínez A. y Castelán-Ortega O.A. (2002): On-farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale dairy production systems in the Highlands of Central Mexico. *Experimental Agriculture*, **38**, 375-388.
- Bruntland (1987) Report of the World Commission on Environment and Development. General Assembly. United Nations. 42^a session 4 august 1987.
- Espinoza-Ortega A., Espinosa-Ayala E., Bastida-López J., Castañeda Martínez T y Arriaga-Jordán C.M. (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.
- Fadul-Pacheco L., Wattiaux M.A., Espinoza-Ortega A., Sanchez-Vera E. y Arriaga-Jordán C.M. (2013): Evaluation of sustainability of smallholder dairy production systems in the highland of Mexico during rainy season, *Agroecology and Sustainable Food Systems*, **37**, 882–901.

- FAO (2010): Status of and Prospects for Smallholder Milk Production – A Global Perspective. Por Hemme T. y Otte J. Roma, Italia: FAO.
- IFCN (2009): IFCN Dairy Report 2009: For a better understanding of milk production world-wide (International Farm Comparison Network, IFCN). Dairy Research Center, Kiel, Germany.
- IFCN (2016): Dairy researcher and analysts agree: Milk price recovery in 2016 possible. International Farm Comparison Network, IFCN, Dairy Research Center. En: <http://www.ifcndairy.org/en/news/2016/MilkPriceRecoveryIn2016Possible.php> (Consultada el 30 el Agosto de 2016).
- Heredia-Nava D., Espinoza-Ortega A., González-Esquivel C. E.y Arriaga-Jordán C. M. (2007): Feeding strategies for small-scale dairy systems based on perennial (*Lolium perenne*) or annual (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the central highlands of Mexico. *Tropical Animal Health and Production* 39, 179-188
- Heredia Nava D., Rayas Amor A.A., Pincay Figueroa, P.E., Vicente F., Martínez Fernández A. y Arriaga Jordán C.M. (2013): Pastoreo de praderas cultivadas para mejorar la rentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala del Altiplano Central de México. En: Olea Márquez de Prado L. *et al.* (Eds.) *Los pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades*, pp. 553 – 560. Badajoz, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Landais E. (1998): Agriculture durable: les fondements d'un nouveau contrat social? *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 33: 5-22.
- Martínez-García C. G., Rayas-Amor A., Anaya-Ortega, J. P., Martínez-Castañeda F. E., Espinoza-Ortega A., Prospero-Bernal F. y Arriaga-Jordán C. M.

- (2015): Performance of small scale dairy farms in Mexico during dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47, 331-337.
- Posadas-Domínguez R. R., Arriaga-Jordán C. M. y Martínez Castañeda F. E. (2014): Contribution of family labour to the profitability and competitiveness of small-scale dairy production systems in central Mexico. *Tropical Animal Health and Production*. 46 (1): 235-240.
- Prospero-Bernal F., Albarrán-Portillo B., Espinoza-Ortega A. y Arriaga-Jordán C. M. (2013): Evaluación de la sostenibilidad de sistemas de producción de leche en pequeña escala en la época de secas en el noroeste del estado de México. . En: Olea Márquez de Prado L. *et al.* (Eds.) *Los pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades*, pp. 561-568. Badajoz, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.
- Scheffler W.C. (1978): *Statistics for the Biological Sciences*, New York, USA: Addison-Wesley.
- Wiggins S., Tzintzun R., Ramírez M., Ramírez R., Ramírez F.J., Ortiz G., Piña B., Aguilar U., Espinoza-Ortega A., Pedraza A.M., Rivera-Herrejón G. y 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. *Cuadernos de Investigación*. Cuarta época/19. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México

9. CONCLUSIONES FINALES

Los sistemas de producción de leche en pequeña escala tienden a aumentar su nivel de sustentabilidad conforme adoptan innovaciones que les permiten hacer un uso eficiente de forrajes de calidad, lo que permite optimizar y lograr un uso eficiente de los insumos auto producidos y comprados.

En las estrategias de alimentación del ganado en los sistemas de producción de leche en pequeña escala es un punto en el cual se puede incidir directamente para lograr aumentar la eficiencia económica de estos sistemas de producción mediante la innovación en la producción y uso de forrajes de calidad.

La implementación del pastoreo en los sistemas de producción de leche en pequeña escala resulta ser una alternativa que permite disminuir los costos de alimentación por la reducción del uso de insumos externos y aumentar los ingresos por venta de leche, logrando también un aumento en el margen de ganancia respecto a los sistemas convencionales (corte y acarreo). En la evaluación realizada se aumentó el rendimiento de leche en 15.5 % en el sistema que incorporo pastoreo, respecto al sistema convencional, se incrementaron los ingresos por venta de leche en un 25 % y el margen de ganancia fue 2.84 veces mayor en el sistema de pastoreo respecto al convencional.

El uso eficiente de los recursos locales mediante la producción y uso de forrajes de calidad en las estrategias de alimentación demostró ser un elemento que disminuye los costos de alimentación, aumenta la eficiencia económica y aumento el nivel de sustentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala, teniendo valores de 46, 47, 52 y 54 puntos de un total de 100 para los grupos de unidades de producción convencionales, ensilado de maíz, pastoreo continuo intensivo y ensilado de maíz + pastoreo continuo intensivo respectivamente, lo que indica que para estas unidades de producción es importante la gestión adecuada de los recursos locales y maximizar las producción

de forrajes de calidad se vuelve un elemento potenciador en la eficiencia económica.

El tamaño de finca determino ser un elemento para poder implementar más de una innovación, dado que las fincas de mayor tamaño son las que implementaron dos innovaciones, sin embargo es importante mencionar que no existen diferencias estadísticamente significativas entre las fincas que no implementaron innovaciones (grupo convencional) y las que implementaron al menos una innovación (ensilado de maíz o pastoreo continuo intensivo) respecto al tamaño de la unidad de producción.

El pastoreo continuo intensivo resulto ser la innovación que mayor impacto tuvo en la eficiencia económica dado que los grupos de pastoreo continuo y ensilado de maíz + pastoreo son los que mayor puntaje de sustentabilidad logran obtener, teniendo puntajes de 52 y 54 respectivamente a diferencia de los grupos convencional y ensilado de maíz que obtuvieron puntajes de 46 y 47 respectivamente de 100 posibles.

10. RECOMENDACIONES:

Dado que la implementación de innovaciones es un proceso que toma tiempo en los sistemas de producción, se requieren de esquemas de interacción que hagan efectiva la adopción de tecnologías. Este estudio demostró que la investigación participativa es muy eficiente cuando se logra comprometer a los productores participantes, los productores que tienen los puntajes más altos en ética y desarrollo humano son los que están adoptando más innovaciones, entonces en ese sentido sería importante identificar qué factores los hacen más propensos tener este comportamiento.

En próximos trabajos se podrían integrar y asociar metodologías de evaluación de la sustentabilidad, con la finalidad de obtener datos precisos sobre el impacto ambiental de los sistemas de producción, una metodología que se pudiese integrar con el método IDEA es el Análisis de Ciclo de Vida al ser muy fuerte en el ámbito ambiental, dado que permite obtener la huella de carbón en los procesos de producción en diferentes escalas, esto se complementaría con la finalidad de conocer si las innovaciones implementadas tienen un efecto real en el manejo y conservación de los recursos naturales, y saber cuál es la intensidad en la emisión de gases efecto invernadero.

Sería importante implementar un análisis sobre el impacto de la economía global y los desbalances hacia la alza en los precios de los insumos a través del tiempo en las unidades de producción evaluadas, con la finalidad de conocer cuál es el efecto real de la inflación en los costos de producción.

Se podría simplificar la metodología con la finalidad de dar a conocer a los productores el efecto real de dirigirse hacia la sustentabilidad, mostrando cual es la variación que han tenido en sus unidades de producción tras la implementación de las innovaciones, además de poder identificar puntos críticos de interés, con la

finalidad de tener conciencia sobre el efecto real del cambio climático en la escala regional.

Sería interesante realizar comparaciones entre las metodologías que están implementando los organismos internacionales como la FAO (SAFA), u otras universidades como Berna (RISE), con la finalidad de detectar punto de convergencia y mejora en las metodologías, dado que la evaluación de la sustentabilidad en el sector agropecuario es un proceso que aún sigue evolucionando y cada herramienta se desarrolla más fuerte conforme es el interés y la visión de cada grupo de investigación y desarrollo de metodologías.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Ahmed A. M. H., Ehui S. and Assefa Y. (2004): Dairy Development in Ethiopia. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.
- Alfonso-Ávila, A. R., Wattiaux, M. A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C. M. (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.
- Anaya-Ortega J. P., Garduño-Castro G., Espinoza-Ortega A., Rojo-Rubio R. y C. M. Arriaga-Jordán (2009): Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale dairy production systems in the Highlands of Mexico. ***Tropical Animal Health and Production***. 41: 607–616.
- Arriaga-Jordán C.M., Albarrán-Portillo B., Espinoza-Ortega A., García-Martínez A. y Castelán-Ortega O.A. (2002): On-farm comparison of feeding strategies based on forages for small-scale dairy production systems in the Highlands of Central Mexico. ***Experimental Agriculture***, 38: 375-388.
- Arriaga-Jordán C. M., Espinoza-Ortega A., Castelán-Ortega O., Rojo H., Guadarrama J. L., Valdez M., Albarrán-Portillo B. (1997): Resultados en el mejoramiento participativo de sistemas de producción de leche en pequeña escala en el valle de Toluca, En: Rivera H. G., Arellano H. A., González D. L., y Arriaga J.C. (Coordinadores). Investigación Para el Desarrollo Rural: Diez años de Experiencia en el CICA. 319-351. Coordinación General de Investigación y Estudios de Posgrado, Universidad Autónoma del Estado de México.

- Astier M. y Hollands J. (2005): Sustentabilidad y campesinado. Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica. Ed: Mundi-Prensa, ILEIA, ICCO y GIRA.
- Baker S. (1997): The politics of sustainable development: Theory, policy and practice within the European Unión. Tylor and Francis. London.
- Bellon, M., and Hellin J. (2011): Planting Hybrids, Keeping Landraces: Agricultural Modernization and Tradition Among Small-Scale Maize Farmers in Chiapas, Mexico, **World Development**, 39: 1434-1443.
- Bruntland (1987): Report of the World Commission on Environment and Development. General Assembly. United Nations. 42^a session 4 august 1987.
- Castelán-Ortega O., Estrada-Flores J., Espinoza-Ortega A., Sánchez-Vera E., Ambriz-Vilchiz V. y Hernández-Ortega M. (2008): Strategies for the management of agroecosystem resources in Template Zones of Mexico: The case of campesino milk farmers in the central highlands. En: Castelán-Ortega O., Bernúes-Jal A., Ruiz-Santos R. y Mould F. L. in Opportunities and Challenges for Smallholder Ruminant systems in Latin America. 133-160. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.
- Ceschin, F. and Gaziulusoy I. (2016): Evolution of design for sustainability: From product design to design for system innovations and transitions, **Design Studies**, 49, 118-163.
- Conroy C. (2005): Participatory livestock research: a guide, (ITDG Publishing, Netherlands)
- Cortez-Arriola, J., Groot, C.J.J., Walter, A.H. Rossing, A.H.W., Scholberg, M.S.J., Améndola-Massiotti, R.D. and Tittonell, P. (2016): Alternative options for sustainable intensification of smallholder dairy farms in North-West Michoacán, Mexico, **Agricultural Systems**, 144, 22-32.

- de Olde E. M., Oudshoorna F. W., Sørensen C. A. G., Bokkers E. A. M. and de Boer I, J. M. (2016): Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. ***Ecological Indicators***, 66: 391–404.
- de Jong P. (2013): Sustainable Dairy Production, First Edition, Wiley-Blackwell Editorial, United Kingdom.
- Espinoza-Ortega, A., Espinosa-Ayala, E., Bastida-López, J., Castañeda-Martínez, T and Arriaga-Jordán, C. M. (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.
- Fadul-Pacheco, L., Wattiaux, M.A., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C.M. (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.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2010): Status and prospects for smallholder milk production a global perspective, (FAO, 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, Thailand, Brazil, Hungary and Africa, Rome.
- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations (2014): SAFA Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems, Guidelines (version 3.0) Rome, Italy.
- FAOSTAT (2017): Dates about Livestock Primary. Statistics Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL>, (10 march 2017).

- Field, A. (2013): *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics*, Fourth Ed., (SAGE Publications, London, UK).
- 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.
- Francis C. A., Butler F. C., King L. D. (1990): *Sustainable Agriculture in Temperate Zones*. Wiley. New York.
- García-Muñiz J. G., Mariscal-Aguayo V. D., Caldera-Navarrete N. A., Ramirez-Valverde R., Estrella-Quintero H. y Núñez-Domínguez R. (2007): Variables relacionadas con la producción de leche de ganado Holstein en agroempresas familiares con diferente nivel tecnológico. *Inteciencia* 32(12): 841-843.
- Gardner B. L. (2006): *Agricultural support policies, productivity and competitiveness*. International meeting “Competitiveness in agriculture and the food industry: US and EU perspectives” USDA and AIEA2, Bologna, Italy.
- Gerber P., Vellinga T., Opio C. and Steinfeld H. (2010): Productivity gains and greenhouse gas emissions intensity in dairy systems. *Livestock Science*. 139: 100–108
- Gerrard C., Smith L., Pearce B., Padel S., Hitchings R. and Measures M. (2012): Public goods and farming, In: *Farming for food and water security*, ***Sustainable Agriculture Reviews***. 10: 1-22.
- Gerssen-Gondelach, S., Wicke, B. and Faaij, A. (2015): Assessment of driving factors for yield and productivity developments in crop and cattle production as key to increasing sustainable biomass potentials, ***Food and Energy Biosecurity***, 4, 36-75.

- Gras R., Benoît M., Deffontaines J. P., Duru M., Lafarge M., Langlet A., Osty P. L. (1989): *Le Fait Technique en Agronomie: Activité Agricole, Concepts et Méthodes d'Étude*. INRA, Editions L'Harmattan.
- Jan Grenz J., Thalmann C., Heeb L., Schoch M., Kaufmann M. and Wyss R. (2016): *RISE- Response Inducing Sustainability Evaluation, 3.0 - Software Manual*. Zollikofen, Switzerland.
- Häni F., Braga F., Stämpfli A., Keller T., Fischer M. and Porsche H. (2003): RISE- a tool for holistic sustainability assessment at the farm level. ***International Food Agribusiness Management Review***, 6: 78–90.
- Hellin J., Erenstein O., Beuchelt T., Camacho C. and Flores D. (2013): Maize stover use and sustainable crop production in mixed crop–livestock systems in Mexico, ***Field Crops Research***, 153: 12-21.
- Hemme, T. et al. (2007): *IFCN Dairy Report, 2007*. International Farm Comparison Network, (IFCN Dairy Research Center, Kiel, Germany).
- Heredia-Nava, D., Espinoza-Ortega, A., González-Esquivel, C.E., and Arriaga-Jordán, C.M. (2007). Feeding strategies for small-scale dairy systems based on perennial (*Lolium perenne*) or annual (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the central highlands of Mexico, ***Tropical Animal Health and Production***, 39: 179 – 188.
- Heredia Nava D., Rayas Amor A.A., Pincay Figueroa, P.E., Vicente F., Martínez Fernández A. y Arriaga Jordán C.M. (2013): Pastoreo de praderas cultivadas para mejorar la rentabilidad de los sistemas de producción de leche en pequeña escala del Altiplano Central de México. En: Olea Márquez de Prado L. et al. (Eds.) *Los pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades*, pp. 553 – 560. Badajoz, España: Sociedad Española para el Estudio de los Pastos.

- Hernández-Ortega, M., Heredia-Nava, D., Espinoza-Ortega, A., Sánchez-Vera, E. and Arriaga-Jordán, C. M. (2011): Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico, ***Tropical Animal Health and Production***, 43: 947-954.
- Hind T. (2010): Overview of the main environmental issues at farm level and the work that has already been done in the guide to good dairy farming practice. Bulletin of the International Dairy Federation, N° 443: 3, International Dairy Federation.
- IFCN (2009): IFCN Dairy Report 2009: For a better understanding of milk production world-wide (International Farm Comparison Network, IFCN). Dairy Research Center, Kiel, Germany.
- IFCN (2016): Dairy researcher and analysts agree: Milk price recovery in 2016 possible. International Farm Comparison Network, IFCN, Dairy Research Center. En: <http://www.ifcndairy.org/en/news/2016/MilkPriceRecoveryIn2016Possible.php> (Consultada el 30 el Agosto de 2016).
- INEGI (2007): Censo Agrícola, ganadero y forestal 2007. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, online: <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/219> (Access in February 1 2015).
- IPCC (2014): Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU), In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Eds (Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

- ISO (2006): Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. ISO 14040:2006(E). International Organization for Standardization. Geneva. Switzerland.
- Jongeneel y Slangen (2013): Sustainability and resilience of the dairy sector in a changing world: A farm economic and EU perspective. In: Sustainable Dairy Production. Ed. de Jong P., Editions First, Wiley-Blackwell, United Kingdom.
- Joseph-Castillo J. (2009): Convenience sampling applied to research. Experiment-Resources.com Scientific Method: A website about research and experiments <http://www.experimentresources.com/conveniencesampling.html>.
- Jouzi, Z., Azadi, H., Taheri, F., Zarafshani, K., Gebrehiwot, K., Van Passel, S. and Lebailly, P. (2017) Organic Farming and Small-Scale Farmers: Main Opportunities and Challenges, *Ecological Economics*, 132: 144-154.}
- Hayati D., Ranjbar Z. and Karami E. (2010): Measuring Agricultural Sustainability. In Biodiversity, Biofuels, Agroforestry and Conservation Agriculture. (ed) Lichtfouse E. *Sustainable Agriculture Reviews*.
- Krausmann F., Gingrich S., Haberl H., Erb K. H., Musel A., Kastner T., Kohlheb N., Niedertscheider M. and Schwarzlmüller E. (2012): Long-term trajectories of the human appropriation of net primary production: Lessons from six national case studies. *Ecological Economics* 77:129–138.
- Landais E. (1998): Agriculture durable: les fondements d'un nouveau contrat social? *Courrier de l'Environnement de l'INRA*, 33: 5-22.
- Martínez-García, C.G., Dorward, P. and Rehman, T., (2013): Factors influencing adoption of improved grassland management by small-scale dairy farmers in central Mexico and the implications for future research on smallholder adoption in developing countries, *Livestock Science*, 152: 228-238.

- Martínez-García, C.G., Dorward, P. and Rehman, T. (2015a): Factors Influencing Adoption of Crop and Forage Related and Animal Husbandry Technologies by Small-Scale Dairy Farmers in Central Mexico, ***Experimental Agriculture***, 52: 87-109.
- Martínez-García C.G., Sarah Janes Ugoretz, Carlos Manuel Arriaga-Jordán and Michel A. Wattiaux (2015b): Farm, household and farmer characteristics associated with changes in management practices and technology adoption among dairy smallholders. ***Tropical Animal Health and Production***, 47: 311-316. DOI 10.1007/s11250-014-0720-4
- Martínez-García, C.G., Rayas-Amor, A.A., Anaya-Ortega, J.P., Martínez-Castañeda, F.E., Espinoza-Ortega, A. Prospero-Bernal, F. and Arriaga-Jordán, C.M., (2015c): 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.
- Marchand F., Debruyne L., Triste L., Gerrard C., Padel S., and Lauwers L. (2014): Key characteristics for tool choice in indicator-based sustainability assessment at farm level. ***Ecology and Society***. 19 (3): 46
- Masera O., Astier M. y López R. (1999): Sustentabilidad y manejo de los recursos naturales: El marco MESMIS. Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural apropiada, A. C. (GIRA, A. C.) Mundi-prensa México, S. A. de C. V. México.
- M'Hamdi, N., Aloulou R., Hedhly M., and Ben Hamouda M. (2009): Évaluation de la durabilité des exploitations laitières tunisiennes par la méthode IDEA. ***Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement***, 13: 221–228.
- McDermott, J.J., Staal, S.J., Freeman, H.A., Herrero, M. and Van de Steeg, J.A., (2010): Sustaining intensification of smallholder livestock systems in the tropics, ***Livestock Science***, 130: 95-109.

- Moretti, M., De Boni, A., Roma R., Fracchiolla, M. and 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.
- O’Brien, D., Shalloo, L., Patton, J., Buckley, F., Grainger, C. and Wallace, M. (2012): A life cycle assessment of seasonal grass-based and confinement dairy farms, ***Agricultural Systems***, 107: 33-46.
- Perrings, C. (1998): Resilience in the dynamics of economy-environment systems, ***Environment and Resource Economics***, 11(3-4): 503-520.
- Pica-Ciamarra, U. and Otte, J. (2008): Livestock as a pathway out of poverty in Latin America: A policy perspective. In: O.A. Castelán- Ortega, A. Bernués-Jal, R. Ruiz-Santos and F. Mould (eds), Opportunities and challenges for smallholder ruminant systems in Latin America, (Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Mexico), 437–476.
- Pincay-Figueroa, P. F., López-González, F., Velarde-Guillén, J., Heredia-Nava, D., Martínez-Castañeda, F. E., Vicente, F., Martínez-Fernández, A. and Arriaga-Jordán, C. M. (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.
- Porter M. E. (1990): The competitive advantage of the nations. Harvard Business Review. New York
- Posadas-Domínguez, R. R., Arriaga-Jordán, C. M. and Martínez- Castañeda, F. E. (2014): Contribution of labor to the profitability and competitiveness on small-scale dairy production systems in central México. ***Tropical Animal Health and Production***, 46, 235–240.
- Prospero-Bernal, F., Albarrán-Portillo, B., Espinoza-Ortega, A. and Arriaga-Jordán, C. M. (2013): Assessment Sustainability during Dry Season in Small-Scale

- Dairy Production Systems from Central Mexico. In: Leopoldo Olea Márquez de Prado, Ma. José Poblaciones Suárez-Bárcena, Sara M. Rodrigo y Óscar Santamaría. (Eds.) Los pastos: nuevos retos, nuevas oportunidades, (**Sociedad Española para el Estudio de los Pastos**, Badajoz) 561-568.
- Purvis G., Louwagie G., Northey G., Mortimer S., Park J., Mauchline A., Finn J., Primdahl J., Vejre H., Vesterager J. P., Knickel K., Kasperczyk N., Bala'zs K., Vlahos G., Christopoulos S. and Peltola J. (2009): Conceptual development of a harmonised method for tracking change and evaluating policy in the agri-environment: The Agri-environmental Footprint Index. **Environmental Science and Policy**, 12: 321–337.
- Salas-Reyes, I.G., Arriaga-Jordán, C.M., Rebollar-Rebollar, S., García-Martínez, A. and Albarrán-Portillo, B. (2015): Assessment of the sustainability of dual-purpose farms by the IDEA method in the subtropical area of central Mexico, **Tropical Animal Health and Production**, 47: 1187- 1194.
- Scheffler W.C. (1978): Statistics for the Biological Sciences, New York, USA: Addison-Wesley.
- Schader C., Grenz J., Meier M. S. and Stolze M. (2014): Scope and precision of sustainability assessment approaches to food systems. **Ecology and Society**, 19(3): 42.
- SIAP – Servicio de Información Agropecuaria y Pesquera, 2016. Leche bovino: Comparativo el avance acumulado de la producción pecuaria Información al Diciembre del 2013 y 2014. http://infosiap.siap.gob.mx/repo/Avance_siap_gb/pecCompaEspProd.jsp. Accessed 7 January 2016.
- Smith L. G., Padel S., Pearce B., Lampkin N., Gerrard C., Woodward L., Fowler S. and Measures M. (2011): Assessing the public goods provided by organic agriculture: lessons learned from practice, in The third scientific conference

- of ISOFAR: Organic is life - knowledge for tomorrow, Neuhoﬀ *et al.*, Editors: Namyangju, Republic of Korea. p. 59-63.
- Stroorvogel J. J., Antle J. M., Crissman C. C. and Bowen W. (2004): The tradeoﬀ analysis model: integrated bio-physical and economic modeling of agricultural production systems. ***Agricultural Systems*** 80(1):43-66.
- Thomson L. A., Davis K. L., McGrath J. M., Hainsworth R. J. and Clough J. C. (1998): Impact of feeding maize silage on dairy production. ***Proceedings of the New Zealand Grassland Association***. 60: 50-51.
- Val-Arreola D., Kebreab E. and France J. (2006): Modeling Small-Scale Dairy Farms in Central Mexico Using Multi-Criteria Programming, ***Journal of Dairy Science***, 89, 1662-1672.
- Van Calker K. J., P. B. M., Berentsen G. W. J., de Boer I. J. M., Giesen and Huirne R. B. M. (2007). Modelling worker physical health and societal sustainability at farm level: An application to conventional and organic dairy farming. ***Agricultural Systems***. 94: 205–219
- Van Passel Steven, Frank Nevens, Erik Mathijb and Guido Van Huylenbroeck. (2007). Measuring farm sustainability and explaining differences in sustainable efficiency. ***Ecological Economics***. 62: 149 -161.
- Vilain, L., Boisset, K., Girardin, P., Guillaumin, A., Mouchet, C., Viaux, P. and Zahm, F. (2008): La méthode IDEA: indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation (troisième édition actualisée), (Educagri éditions, Dijon).
- Webster P. (1999): The challenge of sustainability at the farm level: Presidential address. ***Journal of Agricultural Economics***, 50 (3): 371-387.
- Wiggins S., Tzintzun R., Ramírez G., Ramírez V., Ortiz O., Piña C., Aguilar B., Espinoza-Ortega A., Pedraza F., Rivera H., 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. Cuadernos de Investigación. Cuarta época-19. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México.

World Bank (2005): A study of rural poverty in Mexico. http://siteresources.worldbank.org/INTMEXICO/Resources/A_Study_of_Rural_Poverty_in_Mexico.pdf. Accessed 19 December 2016.

World Commission on Environment and Development (1987): Our common future. Oxford University Press. Oxford.

Zahm, F., Ugaglia, A., Boureau, H., Del'homme, B., Barbier, J.M., Gasselin, P., Gafsi, M., Guichard, L., Loyce, C., Manneville, V., Menet, A. and Redlingshofer, B. (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., Viaux, P., Vilain L., Girardin F. and 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.

Zahm F., Vilain L., Girardin F., Viaux P. and Mouchet C. (2006): Farm Sustainability Assessment using the IDEA Method: from the concept of farm sustainability to case studies on French Farms. INFASA Symposium. March 16 and 17. Zentrum Paul Klee Bern, Switzerland.

Zamora-Martínez, M.C. (2015): Editorial: Cambio Climático, **Revista Mexicana de Ciencias Forestales**, 6: 4-6.

Manejo que se les da: _____

Rotación _____ de

Cultivos

¿Después que cosechan el maíz, siembran otro cultivo en ese lugar?

SI	NO
----	----

Cual: _____

Diversidad de cultivos perennes

¿Existen cultivos perennes en la finca?

SI	NO
----	----

Nº de especies _____

Nombre de las especies: _____

Manejo: _____

Diversidad Animal

Nº de especies _____

Nombre de las especies: _____

Manejo que se les da: _____

Diversidad de vegetación
asociada

¿Existen cultivos asociados
(besanas)?

SI	NO
----	----

Nº de especies _____

Especie y Cantidad: _____

Manejo que se les da:

Conservación de especies
nativas – forrajeras

¿Existen especies nativas
cultivadas?

SI	NO
----	----

Nº de especies

Nombre de las especies:

Manejo que se les da:

MANEJO DE NUTRIENTES

Producción de leche

¿Se llevan registros de
producción?

Si	No
----	----

Tipo de ordeño:

Mecánico	Manual
----------	--------

Nº vacas en producción

Litros producidos por día:

¿Quién le compra la leche?

Precio del litro de leche

Control de mastitis

Si	No
----	----

Área de manejo para el forraje

¿Existe un área para
almacenamiento de forraje?

Si	No
----	----

Área total

Protección de áreas naturales

¿Realizan quemas en la finca?

Si	No
----	----

¿Existe alguna fuente de agua o bosque en la
finca?

Si	No
----	----

¿Qué manejo se le da?

Área de praderas

¿Existen praderas en la finca?

Si	No
----	----

Praderas Inducidas

Si	No
----	----

Área total en praderas Inducidas _____

¿Qué manejo se le da? _____

Pastizales nativos

Si	No
----	----

Área total en pastizales nativos _____

¿Qué manejo se le da? _____

PRACTICAS DE MANEJO

Manejo reproductivo

Monta Natural

Si	No
----	----

 IA

Si	No
----	----

Precio por pajilla \$ _____

Fertilización

¿Utilizan fertilizantes?

Si	No
----	----

¿Cuáles? _____

Cantidad aplicada _____

Precio \$ _____

Manejo del estiércol

¿Se le hace tratamiento al estiércol?

SI	NO
----	----

¿Cuál? _____

Usos: _____

Cantidad aplicada: _____

Pesticidas y productos veterinarios

¿Utiliza pesticidas?

SI	NO
----	----

¿Cuáles y para qué? _____

Cantidad aplicada: _____

Precio: \$ _____

¿Utiliza productos veterinarios?

SI	NO
----	----

¿Cuáles y para qué? _____

Cantidad aplicada: _____

Precio: \$ _____

Bienestar animal

Condiciones de alojamiento

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Salud general del hato

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

¿ Las vacas salen a pastoreo?

SI	NO
----	----

Horas al día: _____

Crianza de becerros

Toma de calostro

SI	NO
----	----

(dentro del tiempo establecido)

Desinfección de ombligo

SI	NO
----	----

Manejo del recurso hídrico

¿Existe riego en la finca?

SI	NO
----	----

Usos: _____

Cantidad utilizada: _____

Precio: \$ _____

¿Hacen reutilización del agua?

SI	NO
----	----

¿Cómo? _____

Dependencia de energía

Cantidad de energía utilizada: _____

Precio: \$ _____

**ESCALA SOCIO-
TERRITORIAL
CALIDAD Y PRODUCTOS
DE LA TIERRA**

Instalaciones e infraestructura

¿Existe infraestructura e instalaciones?	SI	NO			
Calidad de la infraestructura	1	2	3	4	5

Manejo de residuos orgánicos

¿Utilizan los subproductos?	SI	NO		
¿En qué especies?		Cerdos	Perros	Otros

Vinculación comunitaria

Relaciones interpersonales con la comunidad

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

**ORGANIZACIÓN Y
ESPACIO**

Seguro popular

¿Cuentan con seguro popular?	SI	NO
------------------------------	----	----

Trabajo comunitario

¿Realiza trabajo comunitario?	SI	NO
-------------------------------	----	----

¿Cuál?

Sustentabilidad probable de la finca

¿Cómo ve la finca en 30 años? _____

Generación de empleo

Mano de obra fija	_____	\$ _____
Mano de obra temporal	_____	\$ _____
Mano de obra familiar	_____	\$ _____

**ÉTICA Y DESARROLLO
HUMANO**

Formación

Educación productor		Secundaria	Técnico	Universitari o	Otro
---------------------	--	------------	---------	-------------------	------

Cual: _____

Otros miembros de la familia _____

Horas de trabajo

Horas de trabajo al día _____

Labores que toman más tiempo _____

Calidad de vida

Calidad de vida	1	2	3	4	5
-----------------	---	---	---	---	---

Transmisibilidad

Continuidad de los hijos en la finca	Nada probable	Poco probable	Probable	Muy probable
--------------------------------------	---------------	---------------	----------	--------------

ESCALA ECONÓMICA

Viabilidad económica

¿Compra animales para pie de cría?

SI	NO
----	----

Cada cuanto _____ \$

¿Compra animales para remplazo?

SI	NO
----	----

 _____ \$

Cada cuanto _____ \$

¿Vende animales?

SI	NO
----	----

 _____ \$

Cada cuanto _____ \$

Alimento suministrado y cantidad

1.				
2.				
4.				
6.				

Precio por kilo del alimento

1. \$	2. \$	3. \$	4. \$	5. \$
6. \$	7. \$			

¿Siembra de cultivos?

SI	NO
----	----

Costo preparación del terreno	\$	Obs: _____
Costo de semilla (Ha)	\$	_____
Costo de siembra	\$	_____
Costo mano de obra	\$	_____
Costos fertilizantes	\$	_____
Costos Cosechada	\$	_____
N° de jornales totales	\$	_____

Costo mano de obra limpieza	\$			
N° de jornales totales				
¿Utilización del maíz?	Ensilaje	Zacate	Otro	Cual: _____
Ensilaje	Manual	Mecánico		
N° jornales por Ha a ensilar	Familiar _____		Contratada _____	
Costo jornal	\$			
Alquiler maquinaria	SI	NO		
Costo por hora	\$			
Zacate				
N° jornales por Ha a cortar	Familiar _____		Contratada _____	
Costo jornal	\$			
Alquiler maquinaria	SI	NO		
Costo por hora	\$			
N° jornales por Ha a moler	Familiar _____		Contratada _____	
Costo jornal	\$			
Alquiler maquinaria	SI	NO		
Costo por hora	\$			
N° jornales por Ha a empacar	Familiar _____		Contratada _____	
Costo jornal	\$			
Alquiler maquinaria	SI	NO		
Costo por hora	\$			
<u>Independencia</u>				
¿Tiene alguna actividad diferente o alterna a la finca?	SI	NO		
¿Cual?				
¿Participación en los programas del gobierno?			SI	NO
¿Cuáles?				

12.2 ENCUESTA SEMIESTRUCTURADA PARA LA RECOLECCIÓN MENSUAL DE INFORMACIÓN

Nombre del productor: _____

Litros producidos: _____ Litros vendidos: _____ Costo: _____

Vacas ordeñadas: _____ Vacas secas: _____ Vacas inseminada: _____ Costo: _____

Número de becerros: _____ Número de becerras: _____ Partos: _____

Número de vaquillas: _____ Becerros vendidos: _____ Costo: _____

Vacas enfermas: _____ Gastos en veterinario: _____

Pago de agua potable: _____ Mano de obra contratada: _____ Costo: _____

Pago de riegos: _____ Pago de Luz: _____ Tamaño del hato: _____

Combustible/semana Gasolina _____ Costo: _____ Diesel: _____ Costo: _____

Costos de alimento:

Alimento	Cantidad por día	Cantidad por sem	Costo unidad por	Observaciones

Vacas:

Vaca	Litros Producidos	Peso	Condición corporal

12.3 PUNTAJE OBTENIDO POR INDICADOR EN LA ESCALA AGRO-ECOLÓGICA DE CADA GRUPO EVALUADO

		GRUPOS			
Componente	Indicadores	C	EM	P	EM+P
Diversidad Local	Diversidad de los cultivos anuales y temporales	9	10	10	13
	Diversidad de los cultivos perennes	6	6	6	6
	Diversidad animal	14	14	14	14
	Manejo y conservación del patrimonio genético	0	0	0	0
Manejo de Nutrientes y Espacio	Rotación de cultivos	3	3	4	5
	Dimensión de parcelas	6	6	6	6
	Manejo de la materia orgánica	5	5	5	5
	Zonas de protección ecológica	3	3	4	4
	Medidas de protección al patrimonio natural	0	0	0	0
	Valoración del espacio	1	2	2	3
	Manejo del área de praderas	2	1	2	2
Prácticas de manejo	Fertilización	1	0	4	4
	Manejo de estiércol (efluentes)	3	3	3	3
	Pesticidas	7	8	7	7
	Tratamientos veterinarios	3	3	3	3
	Protección del suelo	3	3	3	3
	Manejo del agua	3	2	3	2
	Dependencia energética	0	0	0	0

C: Convencional
EM: Ensilado de maíz
P: Pastoreo
EM+P: Ensilado de maíz + Pastoreo

12.4 PUNTAJE OBTENIDO POR INDICADOR EN LA ESCALA SOCIOTERRITORIAL DE CADA GRUPO EVALUADO

		GRUPOS			
Componente	Indicadores	C	EM	P	EM+P
Calidad de Producto y Tierra	Calidad de la leche producida	10	10	10	10
	Mejora de construcciones y paisaje	0	0	0	0
	Manejo de residuos inorgánicos	4	3	3	4
	Acceso al predio	5	5	5	5
	Vinculación comunitaria	4	4	4	5
Empleo y Servicios	Autonomía y valoración de los recursos locales	4	4	4	4
	Autonomía y valoración de recursos locales	7	7	7	7
	Servicios y otras actividades	0	0	0	0
	Contribución con empleos	6	6	6	6
	Trabajo colectivo	4	4	4	5
	Probable sustentabilidad de la granja	2	2	2	3
Ética y Desarrollo Humano	Contribución al equilibrio mundial de los alimentos	1	4	1	3
	Bienestar animal	1	1	1	2
	Formación	3	4	4	6
	Intensidad de trabajo	0	2	4	3
	calidad de vida	4	4	4	4
	Aislamiento	3	3	3	3
	Calidad de instalaciones	4	4	4	4

C: Convencional
EM: Ensilado de maíz
P: Pastoreo
EM+P: Ensilado de maíz + Pastoreo

12.5 PUNTAJE OBTENIDO POR INDICADOR EN LA ESCALA ECONÓMICA DE CADA GRUPO EVALUADO

		GRUPOS			
Componente	Indicadores	C	EM	P	EM+P
Viabilidad	Viabilidad económica	9	9	11	14
	Taza de especialización económica	0	0	0	1
Independencia	Autonomía financiera	1	4	3	7
	Sensibilidad a auxilios de gobierno	9	9	10	10
Transmisibilidad	Transmisibilidad	16	14	14	9
Eficiencia	Eficiencia de los procesos productivos	11	13	15	15

C: Convencional

EM: Ensilado de maíz

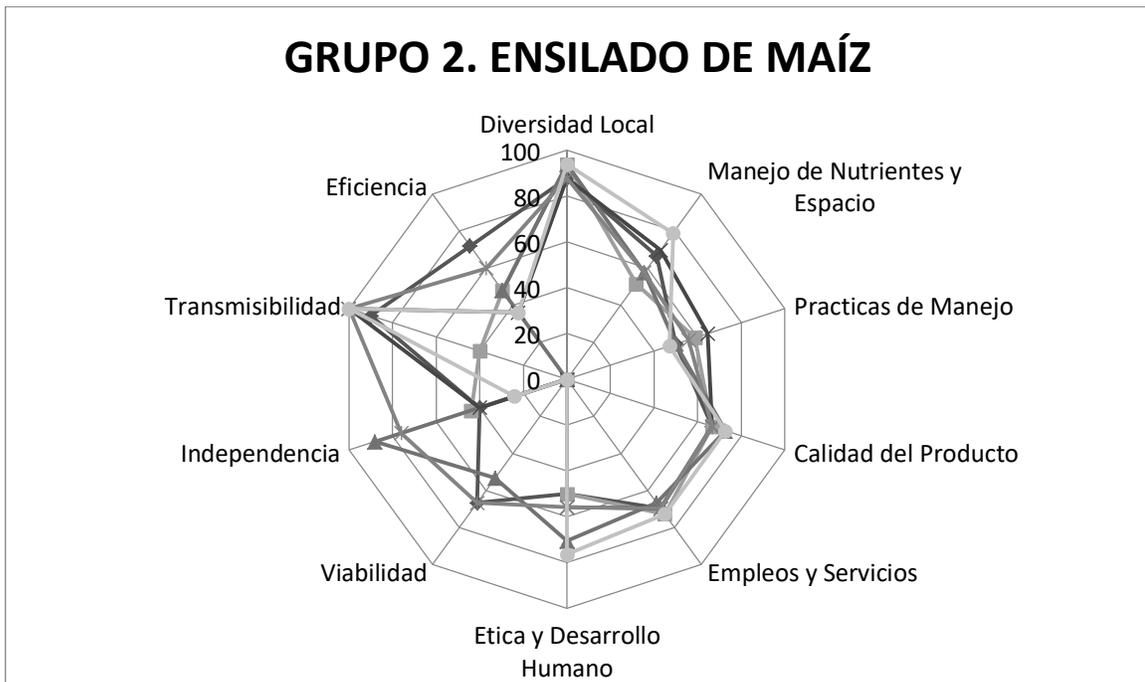
P: Pastoreo

EM+P: Ensilado de maíz + Pastoreo

12.6 PUNTAJE OBTENIDO EN CADA COMPONENTE DEL MÉTODO IDEA POR CADA PRODUCTOR EVALUADO

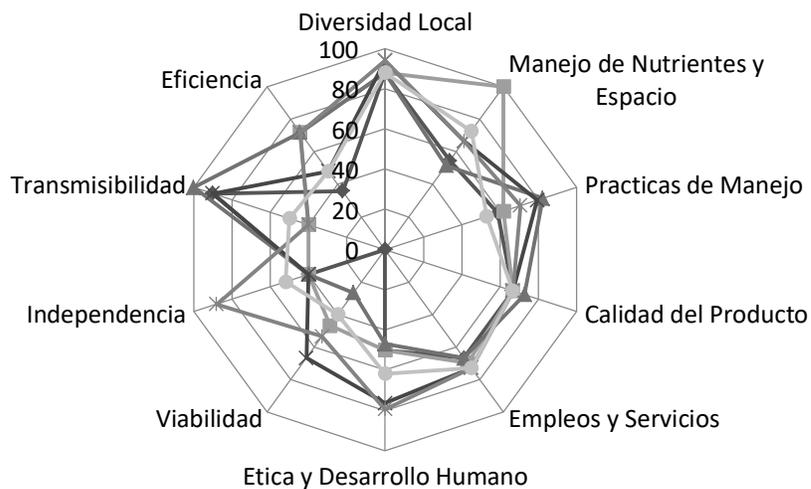
Productor	Grupo	Diversidad Local	Manejo de Nutrientes y Espacio	Prácticas de Manejo	Calidad del Producto	Empleos y Servicios	Ética y Desarrollo Humano	Viabilidad	Independencia	Transmisibilidad	Eficiencia
1	1	29	17	17	22	25	17	12	10	20	9
2	1	29	24	27	24	23	15	19	10	6	15
3	1	29	18	19	22	23	15	12	10	20	15
4	1	29	19	19	24	24	21	5	0	14	9
5	1	31	19	16	22	22	16	0	11	18	9
6	2	29	22	17	22	23	17	20	10	18	18
7	2	31	17	20	22	24	17	0	11	8	12
8	2	31	19	17	24	22	24	16	22	0	12
9	2	29	23	22	22	23	19	0	10	20	9
10	2	29	19	19	22	23	19	20	19	20	15
11	2	31	26	16	24	24	26	0	8	20	9
12	3	29	18	20	22	22	17	0	10	18	9
13	3	29	33	21	22	23	17	14	10	8	18
14	3	29	17	28	24	22	16	8	10	20	18
15	3	31	22	27	22	24	26	20	10	18	12
16	3	31	22	24	22	24	27	16	22	8	18
17	3	29	24	18	22	24	21	12	13	10	12
18	4	33	18	24	24	25	20	20	13	2	15
19	4	33	29	25	24	24	22	18	16	4	15
20	4	31	29	20	22	24	19	16	13	2	15
21	4	33	24	23	24	23	19	12	25	20	18
22	4	33	22	21	22	21	28	4	19	18	15
23	4	33	28	23	24	25	31	10	19	2	12
24	4	33	20	17	24	25	31	21	16	12	12

12.7 GRAFÍAS DE REDAR MOSTRANDO LOS PUNTAJES OBTENIDOS POR COMPONENTE DE CADA GRUPO EVALUADO



12.7 GRAFÍAS DE REDAR MOSTRANDO LOS PUNTAJES OBTENIDOS POR COMPONENTE DE CADA GRUPO EVALUADO

GRUPO 3. PASTOREO CONTINUO INTENSIIVO



GRUPO 4. ENSILADO DE MAÍZ+PASTOREO CONTINUO INTENSIIVO

