



## EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ECO-INNOVACIONES EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN PEQUEÑA ESCALA †

### [EVALUATION OF THE IMPLEMENTATION OF ECO-INNOVATIONS IN SMALL-SCALE DAIRY SYSTEMS]

Itzel Cortés-Fernández, Carlos Manuel Arriaga-Jordán,  
Humberto Thomé-Ortiz and Carlos Galdino Martínez-García<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales (ICAR), Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Campus el Cerrillo. El Cerrillo Piedras Blancas, C.P. 50295, Toluca, Estado de México, México. Email. [cgmartinezg@uaemex.mx](mailto:cgmartinezg@uaemex.mx)

\*Corresponding author

#### SUMMARY

**Background.** Eco-innovation (EI) involves new goods and services that reduce negative environmental impacts. In small-scale dairy systems (SCDS) the adoption of innovations is low, this has been associated with the lack of extension services, so its evaluation is needed to improve the services. **Objective.** To identify and to evaluate the implementation process of four EI in SCDS. **Methodology.** The research was conducted in the Municipality of Aculco, State of Mexico. Twenty-one small-scale dairy farmers with a maximum herd size of 35 cows were selected. A questionnaire was applied to collect information about the concept of EI, time of use, diffusion and acquisition, changes for implementation, limitations and motivations, disuse and suggestions. The information was analyzed by frequencies and percentages. Four groups were formed according to the type of EI (bio-digester, solar heater, water collection, and solar cells), and the implementation process of each one was described. The evaluation of three technology phases (communication, transfer and adoption) and their stages was proposed using a five-point Likert scale for each EI. Differences between groups were analyzed using a Kruskal-Wallis test ( $P < 0.05$ ). **Results.** None of the farmers knew the term *eco-innovation*, 67% found out about the EI implemented by acquaintances, 76% required financial support, 86% were motivated by economic savings, and 62% mentioned ignorance as the main limitation. The implementation process was different for all four EI, and there were significant differences in their dissemination, information, accessibility, training, appropriation, and recommendation. **Implications.** The evaluation proposal to implement EI can be applied to several technologies and contexts because it considers common stages, although each innovation has its own process. **Conclusions.** It is concluded that the knowledge of the EI implementation process and the perception of it allows to identify improvements for the adoption of useful innovations in the SCDS.

**Key words:** Dairy production; small-scale farms; technology transfer; eco-technologies.

#### RESUMEN

**Antecedentes.** La eco-innovación (EI) involucra nuevos bienes y servicios que reducen impactos ambientales negativos. En los sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) la adopción de innovaciones es baja, lo cual se asocia con la falta de servicios de extensión rural, cuya evaluación es necesaria para mejorarlos. **Objetivo.** Identificar y evaluar el proceso de implementación de cuatro EI en SPLPE. **Metodología.** El trabajo se realizó en el Municipio de Aculco, Estado de México. Se seleccionaron 21 productores con un tamaño de hato como máximo de 35 vacas. Se aplicó un cuestionario para coleccionar información sobre el concepto de EI, tiempo de uso, difusión y adquisición, cambios para implementación, limitantes y motivaciones, desuso y sugerencias. Esta información fue analizada mediante frecuencias y porcentajes. Se formaron cuatro grupos según el tipo de EI (biodigestor, calentador solar, captación de agua y celdas solares) y se describió el proceso de implementación de cada una. Se propuso la evaluación de tres fases (comunicación, transferencia y adopción) y sus etapas mediante una escala de Likert de cinco puntos para cada EI. Las diferencias entre grupos se analizaron mediante una prueba de Kruskal-Wallis ( $P < 0.05$ ). **Resultados.** Ningún productor conocía el término *eco-innovación*. El 67% se enteró de las EI implementadas por conocidos, 76% requirió apoyo económico, 86% los motivó el ahorro económico y 62% mencionaron el desconocimiento como la principal limitante. El proceso de implementación fue distinto para las cuatro EI y existieron diferencias significativas en su difusión, información, accesibilidad, capacitación, apropiación y recomendación. **Implicaciones.** La propuesta de evaluación para implementar EI puede aplicarse para diversas tecnologías y contextos

† Submitted March 31, 2023 – Accepted June 30, 2023. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4873>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = Carlos Galdino Martínez-García, <http://orcid.org/0000-0001-9924-3376>

ya que considera etapas comunes, aunque cada innovación tenga su propio proceso. **Conclusiones.** El conocimiento y la evaluación de la percepción del proceso de implementación de EI, permite identificar mejoras para la adopción de innovaciones útiles en los SPLPE.

**Palabras clave:** Producción de leche; sistemas familiares; transferencia tecnológica; eco-tecnología.

## INTRODUCCIÓN

La eco-innovación (EI) incluye nuevas tecnologías y modificaciones que mejoran el desempeño ambiental de un proceso (Chistov *et al.*, 2023). El marco teórico en torno a las EI se ha enriquecido desde un enfoque organizacional, diferenciándolas de conceptos similares como son las ecotecias, innovaciones sostenibles y tecnologías verdes (Ben Rejeb *et al.*, 2022). Diversas definiciones consideran que las EI reducen daños ambientales y contribuyen al desarrollo sostenible, tomando en cuenta todo el ciclo de vida de un producto o proceso productivo (Araújo y Franco, 2021; Schiedering *et al.*, 2012). En este trabajo definimos la eco-innovación como un elemento, proceso o sistema percibido como nuevo y que tiene un impacto favorable, intencional y directo para el ambiente, además de efectos económicos y sociales.

Diversas tecnologías enfocadas en producir beneficios ambientales y económicos se han implementado en sistemas de producción de leche y en contextos tan heterogéneos como son las unidades de producción familiar o en pequeña escala (Luqman and Al-Ansari, 2021), caracterizados en el centro de México por extensiones de terreno menor a 5 hectáreas, mano de obra principalmente familiar, un tamaño de hato entre tres y treinta vacas con sus reemplazos (Hernández-Morales *et al.*, 2013). De estos sistemas familiares dependen cerca de 900 millones de personas y son producciones que destacan en los países en desarrollo donde hasta 90% de la leche se genera en sistemas de producción en pequeña escala (FAO, 2021). En México los sistemas familiares representan cerca del 80% de las unidades dedicadas a la producción de leche y aportan desde un 20% hasta un 37% de la producción nacional (Robledo-Padilla, 2020; Arriaga-Jordán *et al.*, 2014). Las EI implementadas apuntan a disminuir impactos ambientales y aprovechar responsablemente los recursos naturales. Por ejemplo, los biodigestores a partir del estiércol de 10 bovinos generan biogás equivalente a 60 kilos de gas LP al mes, y un efluente suficiente para fertilizar 300 m<sup>2</sup> a razón de 160 unidades de nitrógeno/ha (Varnero, 2012). Por otra parte, se han implementado tecnologías para captar energía solar en sistemas de producción de leche. Guzmán-Hernández *et al.* (2017) documentaron el uso de sistemas termosifónicos que aportan el 70% de la energía necesaria para elevar la temperatura del agua (de 24 °C a 59 °C) para diversos usos domésticos. Zhang *et al.* (2017) evaluaron el uso de sistemas fotovoltaicos para lograr un ahorro energético de 0.254 kW y la reducción de 1.4 kg de emisiones de CO<sub>2</sub> por

cada kilo de leche. Sin embargo, la adopción de innovaciones en sistemas de producción de leche en pequeña escala (SPLPE) es poca y se asocia con un bajo nivel tecnológico en las unidades de producción, falta de servicios de extensión, comunicación y difusión de las tecnologías (Rathod *et al.*, 2018).

La innovación tecnológica se ha desarrollado mediante diversos esquemas, considerando procesos de generación, adopción, implementación, monitoreo y evaluación de las tecnologías. Además, resulta fundamental tomar en cuenta el contexto socio-ecológico específico con la finalidad de que la adopción de tecnologías tenga mayor probabilidad de éxito y adaptabilidad a las características del territorio, de los productores y de sus necesidades específicas (Gavito *et al.*, 2017). El estudio de la EI requiere desarrollar métodos e indicadores que delimiten la innovación, consideren su naturaleza y escala de uso, sus impulsores y barreras, así como sus efectos (Kemp *et al.*, 2019). El presente estudio propone una evaluación del proceso de implementación de EI que contempla tres fases básicas, que corresponden a procesos de innovación y sugiere considerar la llegada de la tecnología, su transmisión y aceptación (Cadena-Iñiguez *et al.*, 2018; Zhai *et al.*, 2017). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue identificar y evaluar el proceso de implementación de cuatro EI en SPLPE del centro de México.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en 13 comunidades del Municipio de Aculco, Estado de México (Fondo, Arroyo Zarco, Las Lajas, El Colorado, Gunyo, Santa Ana Matlat, Tixhiñu, La Concepción, El Azafrán, Jurica, Encinillas, San Lucas y San Jerónimo Ejido). Aculco pertenece a la cuenca lechera del altiplano central mexicano. Aproximadamente 9,800 hectáreas en Aculco se destinan al uso pecuario. El ganado vacuno productor de leche es el primero en importancia (Martínez-Borrego, 2009). Aculco es reconocido por la elaboración artesanal de quesos, siendo la producción y procesamiento de leche una actividad tradicional realizada por generaciones y cuya fuerza de trabajo es principalmente familiar, en sistemas que tienen menos de 35 vacas y extensiones menores a 10 hectáreas donde el principal cultivo es el maíz y con uso variable de tecnologías agrícolas y pecuarias (Castañeda-Martínez *et al.*, 2009). La producción de leche y quesos es una actividad que ha cobrado fuerza en Aculco, y

muestra de ello es que la producción láctea se duplicó en la última década. Actualmente se producen poco más de 85,000 litros diarios (SIAP, 2019), lo cual se vio favorecido por la implementación de innovaciones en la unidad de producción, enfocadas en mejorar la alimentación del ganado a través de praderas para corte, pastoreo y la incorporación de forrajes conservados como el ensilado de maíz (Martínez-García *et al.*, 2015).

### Selección de productores

Los 21 productores participantes fueron seleccionados a través de un muestreo no probabilístico por intención (Vogt y Burke, 2016). El criterio de selección fue que los productores tuvieran un tamaño de hato de 3 a 35 vacas más sus reemplazos, y además que utilizaran una o varias EI en su unidad de producción. Las EI consideradas para este estudio fueron: biodigestor (BIO), calentador solar (CAL), captación de agua (CAP) y celdas solares (CES). Estas EI se han mantenido en los SPLPE por más tiempo, además de relacionarse con el cuidado ambiental. Algunos productores no aceptaron participar en el estudio o sus EI estaban en desuso, por ello se realizó un segundo muestreo a través de la técnica de bola de nieve (Vogt y Burke, 2016), en el cual, los productores refirieron a otras personas que tenían EI. De esta manera se determinó una muestra final de 21 productores.

### Colecta de datos

Se aplicó un cuestionario a 21 productores de leche en pequeña escala entre mayo y agosto del 2021. Las preguntas se enfocaron en el conocimiento del concepto de EI. Sobre las EI implementadas, se preguntó acerca del tiempo de uso, forma de difusión y adquisición, cambios para su implementación, principal limitante, principal motivación, desuso y sugerencias. El trabajo integró conceptos de Oldenburg y Glanz (2008), y propone un proceso de implementación que considera las fases planteadas por Cadena-Iñiguez *et al.* (2018); y Zhai *et al.* (2017). Se definieron tres fases del proceso: comunicación, transferencia y adopción; cada una incluye cuatro etapas como se muestra en la Tabla 1. Asimismo, el cuestionario profundizó en las características de cada etapa del proceso para las cuatro EI y la percepción de los productores sobre cada etapa.

### Análisis de datos

Se empleó un análisis de frecuencias para determinar el porcentaje (Mendenhall *et al.*, 2010) de productores que contaban con conocimiento sobre el concepto de EI, tiempo de uso de las EI, forma de difusión y adquisición, cambios para su implementación, principal limitante, principal motivación, desuso y sugerencias. Se formaron cuatro grupos de acuerdo con

la EI implementada: 1) biodigestor (BIO), 2) calentador solar (CAL), 3) captación de agua (CAP) y 4) celdas solares (CEL). El proceso de implementación de cada innovación fue descrito aplicando el método de síntesis-análisis y se consideraron las tres fases como las partes de este proceso (difusión, transferencia y adopción) con sus respectivas etapas (Sánchez-Toledano *et al.*, 2013). Las doce etapas del proceso de implementación fueron evaluadas mediante una Escala de Likert de cinco puntos (1: muy mala, 2: mala, 3: regular, 4: buena, 5: muy buena) para conocer la apreciación de los productores sobre cada etapa. Las diferencias entre grupos para las doce etapas del proceso de implementación de las eco-innovaciones se identificaron mediante la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis (Field, 2013), ya que debido a la naturaleza de los datos no contaban con distribución normal. Las diferencias entre los cuatro grupos se identificaron mediante la prueba de comparación múltiple de pares (Field, 2013), considerando diferencias significativas si  $P < 0.05$ . La mediana y el rango intercuartil (RIC) se utilizaron como medidas de tendencia central y de dispersión. Los datos se analizaron con el programa estadístico SPSS Versión 22.

**Tabla 1. Fases y etapas del proceso de implementación de eco-innovaciones (EI) por productores de leche en Acapulco, Estado de México.**

Fases y etapas	Descripción
Comunicación	
Difusión	Uso de medios para dar a conocer y promover.
Información	Calidad de la información recibida.
Participación	
Aceptación	
Transferencia	Interés por recibir más información.
Accesibilidad	
Introducción	Respuesta ante la información recibida.
Capacitación	
Seguimiento	
Adopción	Facilidad de acceso.
Utilidad	Manera en la que se introdujo o instaló.
Facilidad	
Apropiación	Preparación recibida al inicio.
Recomendación	Acompañamiento periódico en el funcionamiento.
	Uso cotidiano en el sistema de producción.
	Sencillez en su uso.
	Adaptación al sistema de producción.
	Opinión y sugerencia a otras personas.

Fuente: Cadena-Iñiguez *et al.* (2018); Oldenburg y Glanz, (2008); Zhai *et al.* (2017).

## RESULTADOS

### Proceso de implementación de eco-innovaciones

Todos los productores participantes desconocieron el término *eco-innovación*. Al explicar el concepto, los productores encuestados consideran al biodigestor (100%), las celdas solares (100%), la captación de agua (90%) y al calentador solar (81%) como tecnologías novedosas que se usan en la región desde hace 8 años o menos. El menor porcentaje se observó para el uso de calentadores solares y captación de agua, lo que indica que no todos los productores las consideran novedosas; sin embargo, fueron las tecnologías más difundidas en la zona o con mayor tiempo de uso.

En la Tabla 2, se observan las generalidades del proceso de implementación de las EI y el porcentaje de productores que participó en el estudio. La difusión de las EI se realizó en más de la mitad de productores (67%) a través de otros productores, conocidos, amigos, familiares; mientras que el 24% y 9% de los productores se enteró por actores externos como instituciones y proveedores, respectivamente. Para la adquisición de las EI, el 76% requirieron algún subsidio o apoyo económico por parte de instituciones gubernamentales o privadas. Casi la mitad de los productores participantes (48%) indicaron que el principal cambio para la implementar las EI, fue la adecuación de las instalaciones requeridas por la tecnología. El 86% de los productores mencionó que la principal motivación para el uso de las EI fue el ahorro económico; mientras que el 62% indicó que la

principal limitante fue el desconocimiento para su uso. El 43% de productores mencionó que dejó de usar la EI en algún momento (desde seis meses, hasta dos años), debido a reparaciones requeridas, tiempo destinado al uso y mantenimiento de la eco-innovación, cambio de residencia, una baja eficiencia para usos específicos, así como la escasa disponibilidad de agua en los últimos dos años para el caso de los biodigestores. El 47% de los productores sugirió mejorar la eficiencia y diversificar las aplicaciones de las EI analizadas. Otras respuestas dadas por los productores se muestran en la Tabla 2. Las respuestas se clasificaron y ordenaron de acuerdo a su frecuencia.

La Tabla 2 muestra algunas similitudes en la introducción de las cuatro EI analizadas, las razones para su implementación, las razones para su abandono y las recomendaciones en torno a las tecnologías. Sin embargo, las cuatro EI también tuvieron diferencias en el proceso de su implementación, impulsado y desarrollado por actores y bajo esquemas distintos. A continuación, se sintetiza y describe el proceso de implementación de las cuatro tecnologías trabajadas en el municipio de Aculco, para cada una de las fases de comunicación, transferencia y adopción.

### Proceso de implementación del biodigestor en sistemas de producción de leche en pequeña escala

#### Comunicación

La difusión de información, se realizó principalmente mediante reuniones informativas e invitación por

**Tabla 2. Características generales sobre el proceso de implementación de eco-innovaciones (EI) de acuerdo con los productores de leche en pequeña escala en Aculco, Estado de México.**

Preguntas sobre la implementación de EI	Respuestas sobre la implementación de EI y porcentajes de productores						
		% <sup>1</sup>		% <sup>1</sup>		% <sup>1</sup>	Total %
Tiempo de uso	Menos de 3 años	29	Entre 3 y 4.9 años	52	Entre 5 y 8 años	19	100
Forma de difusión	Otros productores	67	Instituciones	24	Proveedores	9	100
Forma de adquisición	Subsidio/apoyo	76	Financiamiento	14	Compra de contado	10	100
Cambios para la implementación	Instalaciones	48	Hábitos	43	Creencias	9	100
Principal limitante	Desconocimiento	62	Altos costos	33	Pocos proveedores	5	100
Principal motivación	Ahorro económico	86	Impacto ambiental	9	Mejorar procesos	5	100
Motivos de desuso	Reparación/mantenimiento	43	Falta tiempo/cambio sitio	43	Baja eficiencia	14	100
Sugerencias	Más aplicaciones y eficiencia	47	Funcionamiento	29	Materiales	24	100

%<sup>1</sup>= Porcentaje de productores que emitieron la respuesta.

autoridades, actores externos y proveedores. La información se compartió inicialmente en reuniones con los productores, la cual se basó en el funcionamiento del sistema del biodigestor; así mismo, la información se transmitió entre conocidos. La participación fue mayor en las comunidades de Gunyo, Santa Ana Matlavat, El Azafrán, y Jurica, lo cual es acorde con experiencias previas de programas similares y con la convocatoria de actores clave. La aceptación de la EI fue buena, principalmente por el interés de ahorrar dinero en la compra de gas LP y fertilizante.

### **Transferencia**

Todos los productores accedieron inicialmente a la EI mediante apoyo económico de dependencias gubernamentales (aportación del 50%) y financiamiento del proveedor (pagos mensuales). Para su introducción se requirió elegir el sitio idóneo para instalarse, realizar una zanja y reunir determinada cantidad de agua y estiércol. La capacitación para su uso se inició en reuniones informativas y se complementó de forma personalizada durante la instalación. Se realizó un seguimiento a través de dos o tres visitas técnicas durante el primer año de uso.

### **Adopción**

El biodigestor permitió el uso de estiércol de animales y generar un abono líquido (biol) para diversos cultivos, además de biogás que se empleó en la cocina y el baño, incluso para procesar la leche. El ingreso diario o regular de estiércol y agua al biodigestor es necesario, seguida de una agitación y revisión de accesorios en la línea del biogás, lo cual fue considerado como un proceso fácil. Los usuarios se han adaptado al uso de parrillas y quemadores especiales para biogás, también han adecuado formas de colección y esparcimiento del fertilizante líquido. La recomendación se basa principalmente en el ahorro de gas LP y aprovechamiento del estiércol.

### **Proceso de implementación del calentador solar en sistemas de producción de leche en pequeña escala**

#### **Comunicación**

La difusión de información se dio principalmente entre usuarios y se complementó con la que dan los proveedores. El tiempo de uso del calentador solar facilitó la comunicación de información entre conocidos y familiares. Por lo general, se hace referencia al tamaño del calentador y a la cantidad de agua que puede procesar diariamente. La participación para conocer la EI fue impulsada por referencias de otras personas e iniciativa propia. La aceptación se relaciona con la confianza en quien recomienda la EI y el acceso cada vez más fácil (más proveedores y

precios menores), aunado a la oportunidad de disponer de agua caliente.

#### **Transferencia**

La accesibilidad resultó de la participación en labores municipales y apoyos de gobierno que aportan los equipos gratuitamente o con descuentos que van de 30% en adelante, o bien, de la compra directa a proveedores con opciones de financiamiento. La introducción de la EI involucró cambios en el sitio de instalación y el determinar la ubicación adecuada. La capacitación fue dada por proveedores y técnicos que ofrecieron el servicio de instalación, además del seguimiento que consideró revisiones periódicas (una o dos veces al año) y servicio de mantenimiento.

#### **Adopción**

El calentador solar se usa principal es en la unidad familiar para disponer de agua caliente en el baño para ducharse; sin embargo, también cobra importancia para el lavado de ordeñadoras portátiles, así como para el lavado de utensilios que se utilizan en la elaboración de quesos. El funcionamiento es sencillo pues el productor no tiene que realizar un manejo diario, sólo requiere revisiones periódicas. La apropiación se dio mediante la adaptación de instalaciones para aprovechar agua caliente que antes no se tenía, así como la dinámica de uso del agua según la hora del día. La recomendación se basa en el ahorro de gas LP a largo plazo.

### **Proceso de implementación de captación de agua en sistemas de producción de leche en pequeña escala**

#### **Comunicación**

La difusión se dio entre productores, por autoridades e instituciones académicas que promueven la EI. La información se compartió entre productores y en capacitaciones ocasionales sobre diferentes formas de captación de agua (bordos y sistemas caseros), por parte de instituciones gubernamentales o académicas. La participación se dio por iniciativa propia o al ser invitados a pláticas. La aceptación de la EI estuvo asociada con la disponibilidad de agua, la cual se ha escaseado en los últimos años, dado que el nivel de agua de las presas que abastecen al municipio ha disminuido.

#### **Transferencia**

La construcción de bordos y compra de materiales se dio con apoyo del municipio. En otros casos, la inversión propia por los productores jugó un papel importante. Para la instalación o construcción, se debe considerarse un sitio especial y la adecuación de accesorios para canalizar y filtrar el agua. En la

mayoría de los casos se realiza por mano de obra familiar o se contrata personal. No hay gran capacitación ni seguimiento para su uso, únicamente lo que se comparte entre productores y en las pláticas organizadas por instituciones.

### **Adopción**

La utilidad radica en tener agua para uso agrícola y consumo de los animales, principalmente en época de estiaje. El uso es considerado como fácil, principalmente para quien ha visto su función o se le compartió la experiencia de otros productores, pues no requiere intervención diaria más allá de mantenimiento a lo largo de los años, además de ser un sistema sencillo que se basa en la captación y no tanto en la filtración o procesos posteriores. Los productores hacen adaptaciones para el óptimo aprovechamiento del agua como canaletas y formas de bombeo. La recomendación se basa en la contar con agua gran parte del año y no depender únicamente de la que abastece el municipio.

### **Proceso de implementación de celdas solares en sistemas de producción de leche en pequeña escala**

#### **Comunicación**

La difusión de la EI se realizó por medio de las experiencias compartidas entre productores. La información compartida sobre el uso de celdas solares fue limitada y basada en paneles para generar energía eléctrica en casa; sin embargo, existen otros usos como los cercos eléctricos y dispositivos con celdas de menor tamaño (lámparas). La participación y aceptación se observó en comunidades como Fondo y Gunyo, por la difusión que hacen los mismos productores y actores clave que ya usan celdas solares y la consideran como una fuente de energía renovable.

#### **Transferencia**

La implementación fue a partir de apoyos del municipio. En la comunidad de Fondo se instalaron lámparas solares públicas con un apoyo del 50% o hasta 100% del precio del equipo. La EI también se adquirió directamente con proveedores por interés propio. La instalación requiere seleccionar el sitio adecuado y, para el cerco eléctrico, la correcta colocación de postes e hilos. La capacitación la brindaron los proveedores al momento de la instalación, así como otros productores que ya usan la tecnología. Los proveedores ofrecieron servicio técnico y garantía el primer año.

### **Adopción**

El principal uso fue para tener luz en los patios, corrales y áreas de ordeña, mediante la instalación de

lámparas solares. Un sólo caso empleó celdas solares para el funcionamiento de un cerco eléctrico, utilizado para el pastoreo ocasional de los animales. En otro caso se utilizan las celdas solares para recargar aparatos eléctricos y tener luz en terrenos alejados de la unidad familiar. Se requieren revisiones cada seis meses para su correcto funcionamiento como cambio de batería. El cerco eléctrico se requiere manejo diario. La recomendación se basa en aprovechar la energía solar, tener luz donde antes no se contaba con ella, e implementar sistemas de pastoreo con un mejor manejo del terreno.

### **Fases y etapas del proceso de implementación de las eco-innovaciones**

La presencia de EI en la zona de estudio es heterogénea, de manera que fue difícil encontrar unidades de producción que tuvieran el mismo número y tipo de tecnologías. La EI con mayor número de usuarios fue el calentador solar (18), seguidos por el biodigestor (11), la captación de agua (8) y en último lugar, las celdas solares (5). La percepción sobre cada etapa del proceso de implementación de las cuatro EI se muestra en la Tabla 3, siendo las etapas que conforman la comunicación y adopción de los calentadores solares, más altas que en las otras tecnologías. Por otro lado, las etapas que componen la transferencia resultaron con mejores valores para el caso de los biodigestores, eco-innovación que requirió hasta tres visitas técnicas en su primer año de uso. Las innovaciones con menor número de usuarios en la zona de estudio fueron la captación de agua y las celdas solares, las cuales presentaron los valores más bajos en las etapas de comunicación. Los productores las conocen principalmente por iniciativa propia o difusión ocasional por instituciones y proveedores. En general, la etapa de participación se mostró de regular a mala haciendo referencia a que los productores no siempre asisten a las reuniones informativas o eventos donde se muestra y explica el funcionamiento de las EI. La adopción es similar en todas las innovaciones, la mayoría de los productores han realizado adaptaciones para su uso, además las encuentran útiles y fáciles de usar. Asimismo, la etapa de utilidad que considera el uso cotidiano de la EI en el sistema de producción presentó valores altos para todas las innovaciones.

En las tres fases y etapas de implementación de las cuatro EI, se observan diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ). Los biodigestores y calentadores solares presentaron diferencias estadísticas significativas ( $P < 0.05$ ) en comparación con las EI de captación de agua y celdas solares, para las etapas de difusión, información y accesibilidad, ya que su uso y funcionamiento se compartió en mayor medida entre los productores; así mismo, la información compartida para su implementación fue

**Tabla 3. Percepción de las fases y etapas del proceso de implementación de eco-innovaciones por productores de leche en Aculco, Estado de México.**

Fases y etapas	BIO <sup>1</sup> (n=11)		CAL <sup>2</sup> (n=18)		CAP <sup>3</sup> (n=8)		CES <sup>4</sup> (n=5)		Valor P <sup>6</sup>
	Mediana	RIC <sup>5</sup>	Mediana	RIC <sup>5</sup>	Mediana	RIC <sup>5</sup>	Mediana	RIC <sup>5</sup>	
Comunicación									
Difusión	4.0 <sup>a</sup>	1.0	4.0 <sup>a</sup>	1.0	2.0 <sup>b</sup>	2.0	2.0 <sup>b</sup>	2.0	<0.000
Información	4.0 <sup>a</sup>	0.0	4.0 <sup>a</sup>	0.0	2.5 <sup>b</sup>	1.0	3.0 <sup>b</sup>	1.0	<0.000
Participación	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	3.0	1.0	0.057
Aceptación	4.0	1.0	4.0	0.0	3.0	1.0	3.0	2.0	0.093
Transferencia									
Accesibilidad	4.0 <sup>a</sup>	0.0	4.0 <sup>a</sup>	0.0	3.0 <sup>b</sup>	1.0	2.0 <sup>b</sup>	2.0	<0.000
Introducción	4.0	0.0	4.0	0.0	3.5	1.0	4.0	1.0	0.137
Capacitación	4.0 <sup>a</sup>	1.0	3.0 <sup>b</sup>	0.0	3.0 <sup>b</sup>	1.0	4.0 <sup>a</sup>	1.0	<0.000
Seguimiento	4.0	1.0	3.0	0.0	3.0	2.0	4.0	2.0	0.094
Adopción									
Utilidad	4.0	1.0	5.0	1.0	4.5	1.0	5.0	1.0	0.366
Facilidad	4.0	2.0	4.0	1.0	4.0	1.0	4.0	2.0	0.184
Apropiación	4.0 <sup>a</sup>	1.0	4.0 <sup>a</sup>	0.0	3.0 <sup>b</sup>	1.0	4.0 <sup>a</sup>	1.0	<0.028
Recomendación	4.0 <sup>b</sup>	0.0	5.0 <sup>a</sup>	1.0	5.0 <sup>a</sup>	1.0	4.0 <sup>b</sup>	1.0	<0.035

Escala de Likert de cinco puntos para medir el proceso de implementación de las eco-innovaciones: 1: muy mala, 2: mala, 3: regular, 4: buena y 5: muy buena. <sup>1</sup>BIO: Biodigestor; <sup>2</sup>CAL: Calentador solar; <sup>3</sup>CAP: Captación de agua; <sup>4</sup>CES: Fococeldas solares. <sup>5</sup>RIC: Rango Intercuartil, <sup>6</sup>Valor de *P* de la prueba de Kruskal Wallis ( $P<0.05$ ), <sup>a,b</sup> Literales diferentes indican diferencias entre grupos de productores con la prueba de comparaciones múltiple de pares ( $P<0.05$ ).

considerada como buena por los usuarios. Lo mismo se observó en la etapa de accesibilidad, en la cual la principal forma de acceso fue mediante programas de gobierno. Por otro lado, se presentó una mejor capacitación técnica para la implementación de celdas solares y biodigestores. La recomendación de ambas innovaciones fue considerada como buena por los productores; sin embargo, la recomendación de calentadores solares y captación de agua fue considerada como muy buena. La EI que involucró menos adaptaciones o cambios para su uso, fue la captación de agua, ya que en la mayoría de los casos consistió en bordos que permiten al productor disponer de agua cuando se requiera, ya sea mediante acarreo o el uso de bombas, aun así, su apropiación fue regular en comparación con el resto de EI. Todas las innovaciones requieren de la disponibilidad de mano de obra, elegir estratégicamente el sitio para su instalación y hacer adecuaciones del lugar de acuerdo con cada tecnología.

## DISCUSIÓN

El concepto de eco-innovación se ha empleado escasamente en el ámbito agropecuario y entre los productores rurales de la zona de estudio, aun cuando tienen una gran oportunidad para el desarrollo de estrategias que contribuyan a mitigar los impactos ambientales y promuevan el uso responsable de los recursos naturales (Guzmán-Luna *et al.*, 2022). Fue posible profundizar en el entendimiento sobre eco-innovación y sostenibilidad mediante el diálogo con

los productores sobre prácticas y tecnologías que han implementado en sus unidades de producción y tienen efectos ambientales, económicos y sociales, ya que existen conceptos que los productores identifican hasta que son ejemplificados pues gran parte del conocimiento que tienen es un conocimiento tácito adquirido por la experiencia (Sánchez-Olarte *et al.*, 2015). Los conceptos de EI enfatizan en lo 'novedoso' y el 'cuidado del ambiente', los productores relacionaron la innovación con el tiempo de uso y su expansión en la región, la cual resultó variada entre comunidades, ya que tecnologías difundidas en una localidad resultaron poco o nada conocidas en otras comunidades cercanas, lo que confirma que una tecnología puede percibirse novedosa en un lugar y no necesariamente en otro, además que la proximidad y esquemas similares de difusión no determinan su transmisión y adopción, debido a diferentes necesidades de los productores que se ven afectadas también por estructuras sociales y económicas (Maulu *et al.*, 2021).

El proceso de innovación de una tecnología puede variar en una misma región, el trabajo de Dehinet *et al.* (2014), muestra que 50% de los productores adoptaron tecnologías como servicios veterinarios e inseminación artificial, forrajes y semillas, no únicamente por el proceso de difusión ideado para la zona, sino que influyó el tamaño de la familia, capacitación y experiencia agrícola, accesibilidad a instituciones de ahorro, ingresos por la venta de leche y lácteos, edad, actividad fuera de la unidad de

producción y servicios de extensión. En Aculco, la mayoría de los productores (95%) conocieron las EI por medio de familiares, amistades y autoridades locales quienes sugirieron introducirlas por sus beneficios económicos, siendo fundamental las creencias respecto a la tecnología y la presión social de referentes destacados durante el proceso de adopción por los productores de leche en pequeña escala (Martínez-García *et al.*, 2016). La comunicación entre usuarios fue importante para todas las EI; sin embargo, las autoridades locales y las empresas presentaron una mayor promoción entre los productores para la implementación de biodigestores y calentadores solares, lo que acrecienta el interés de los productores si existen facilidades para introducir la tecnología en su unidad familiar o productiva. De acuerdo con Meriggi *et al.* (2021), subsidios del 25% al 45% en sistemas de biogás incentivaron con éxito las etapas iniciales de su adopción, la cual sólo se completó con una selección de adoptantes que otorgan valor a la tecnología y tienen las condiciones apropiadas para su implementación.

Se sugiere complementar la promoción de innovaciones con evaluaciones técnicas completas y con metodologías que integran indicadores de sostenibilidad como la propuesta de De Jesús *et al.* (2022) con el Sistema INOVA-tec, donde se analizó la factibilidad de la EI en relación con las ganancias económicas, aspectos legales, mejoras en las condiciones de trabajo, la promoción de políticas gubernamentales además de la mitigación de los impactos ambientales. Evaluar la implementación de EI involucra también conocer retos para su uso como desconocimiento, el requerimiento de estímulos económicos o ambientales, y los altos costos de las tecnologías (Cadena-Iñiguez *et al.*, 2018), a los cuales este estudio añade la falta de proveedores locales, la carencia de adaptaciones necesarias y la ausencia de seguimiento técnico en el uso. Otro factor importante es la adaptación de tecnologías en entornos donde predominan los sistemas familiares y existen desafíos relacionados con creencias sociales, costo-beneficio, eficiencia y accesibilidad (Jelinski *et al.*, 2020). En estos sistemas, las EI se han implementado con dificultad, han tenido poco uso, o su aplicación no ha sido evaluada y esto influye negativamente en la percepción de nuevos posibles usuarios, limita la recopilación de datos técnicos, además de su mejora o el desarrollo de opciones con mayor viabilidad en unidades de pequeña escala. Lai-Solarin *et al.* (2021) y Ge *et al.* (2017) encontraron que las unidades de producción diversificadas, con una alta demanda local de energía o condiciones adecuadas para la producción de energía renovable tienen más probabilidades de adoptar energías como la eólica, solar y de biomasa.

Los productores asignaron valores altos a la utilidad y facilidad de las cuatro EI evaluadas; así mismo las

perciben como una buena recomendación. Sin embargo, las dejaron de usar meses e incluso años, por fallas técnicas que ignoran cómo solucionar o no invierten tiempo para solucionarlas, por ejemplo, cambio de piezas o adaptaciones (uso de filtros y métodos para aumentar presión de biogás, reparación de parrillas, adecuada selección de batería y regulador para celdas solares, sistemas de bombeo) que mejoran la eficiencia de las tecnologías. Durante el muestreo de esta investigación se observó que las comunidades donde los mismos usuarios de EI han solucionado por sí mismos complicaciones técnicas, con el objetivo de seguir usándolas, es donde existen casos exitosos de adopción posiblemente relacionado con las interacciones sociales y su importancia en la unidad de producción (Chavas y Nauges, 2020). El desuso de las innovaciones y el poco o nulo seguimiento por parte de sus promotores, dificultó encontrar productores que las aprovechan, siendo importante el trabajo en conjunto con quienes desarrollan, impulsan y establecen estas innovaciones para lograr tecnologías adaptables a diversos contextos de las actividades pecuarias, respetando, comprendiendo y fomentando sus lógicas de adaptación ante cambios inevitables, que implican procesos de auto- subsistencia, resiliencia y reorganización (La O-Arias *et al.*, 2021).

El cambio y la innovación en sistemas de producción ha sido evaluado con propuestas que van desde indicadores enfocados en la disminución de gases de efecto invernadero, índices como el *Eco-Innovation Scoreboard* (Eco-IS), y encuestas específicas que para su aplicación en sistemas de producción de leche en pequeña escala han requerido adaptaciones, además del desarrollo de conceptos y mediciones con enfoque hacia el sector ganadero y los sistemas en pequeña escala (Park *et al.*, 2017; Kemp *et al.*, 2019). Este trabajo consideró tres fases y doce etapas para la implementación de EI, no obstante, es posible ampliar el referente conceptual en torno a la comunicación, transferencia y adopción de innovaciones, integrar conceptos y considerar modelos como el de Aceptación de Tecnología, la Teoría de la Difusión de la Innovación, la Teoría Unificada de Aceptación y Uso de Tecnología (Taherdoost, 2018), para ahondar en la implementación de EI, las cuales no necesariamente implican tecnologías complejas, sino estrategias que generen cambios en los SPLPE y permitan preservar estos sistemas considerados esenciales para el desarrollo sostenible (FAO *et al.*, 2021).

## CONCLUSIONES

La implementación de eco-innovaciones, se vio favorecido principalmente por la difusión de información entre los productores de leche en pequeña escala; así como por el acceso a subsidios y apoyos gubernamentales. La principal motivación que



percibieron los productores para su uso, estuvo asociada con el ahorro económico que brindan a la unidad familiar y a la unidad de producción. Por otra parte, el desconocimiento y los costos de implementación, fueron considerados como las principales limitantes para su uso; mientras que la reparación y mantenimiento, así como el cambio de ubicación de la EI, fueron considerados por los productores como las principales causas de desuso.

En las fases y etapas del proceso de implementación de las EI, se observó que la mejor comunicación de las tecnologías estaba asociada a la participación de instituciones y a la información que se compartió entre productores; mientras que la fase de transferencia mejoró al tener apoyo económico y acompañamiento técnico. En la fase de adopción de las EI, la utilidad y facilidad de uso, así como la apropiación, jugaron un papel importante para que los productores pudieran recomendar el uso de la tecnología. Por lo tanto, el conocimiento y la percepción de los productores sobre el proceso de implementación de las EI, permitió identificar áreas de oportunidad para introducir innovaciones que promuevan cambios favorables en los sistemas de producción de leche en pequeña escala, además de poder desarrollar estrategias novedosas en el sector pecuario para la mitigación de daños ambientales.

#### Acknowledgements

To all the farmers who agreed to participate in this project and who made it possible to carry out the field work.

**Funding.** The research was carried out thanks to the support of the *Universidad Autónoma del Estado de México* (UAEMéx, project code: 5032/2020CIF) and the *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACyT, project code: PN-2016-01-2323).

**Conflict of interest.** The authors declare that they have no conflict of interest.

**Compliance with ethical standards.** Informed consent was obtained from the producers participating in this study. Moreover, the research presents original data that are not submitted to the other journal at the same time.

**Data availability.** Data are available with corresponding author Carlos Galdino Martínez García at: (cgmartinezg@uaemex.mx) upon reasonable request.

**Author contribution statement (CRediT).** Itzel Cortés-Fernández - Conceptualisation, research, data revision and their analysis and methodology, Carlos Manuel Arriaga-Jordán - Validation, visualisation, review and editing. Humberto Thomé-Ortiz -

Validation, visualisation, review and editing, Carlos Galdino Martínez-García - Conceptualisation, data analysis, fund acquisition, resources, supervision, review and editing.

#### REFERENCIAS

- Araújo, R. and Franco, M., 2021. The use of collaboration networks in search of eco-innovation: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127975. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127975>
- Ben Rejeb, H., Monnier, E., Rio, M., Evrard, D., Tardif, F., and Zwolinski P., 2022. From Innovation to Eco-Innovation: Co-Created Training Materials as a Change Driver for Research and Technology Organizations. *Procedia CIRP*, 105, pp. 98-103. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.017>
- Cadena-Iñiguez, P., Guevara-Hernández, F., Argüello-Aguilar, R.A. and Rendón-Medel, R., 2018. Proceso de comunicación, extensionismo y adopción de tecnologías. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9, pp. 851-864. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i4.1401>
- Castañeda-Martínez, T., Boucher, F., Sánchez-Vera, E. and Espinoza-Ortega, A., 2009. La concentración de agroindustrias rurales de producción de quesos en el noroeste del Estado de México: un estudio de caracterización. *Estudios Sociales*, 17, pp. 73-109. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41711502003>
- Chavas, J., and Nauges, C., 2020. Uncertainty, Learning, and Technology Adoption in Agriculture. *Applied Economic Perspectives and Policy*, pp. 42-53. <https://doi.org/10.1002/aep.13003>
- Chistov V., Carrillo-Hermosilla J., and Aramburu N., 2023. Open eco-innovation: Aligning cooperation and external knowledge with the levels of eco-innovation radicalness. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9, p. 100049. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100049>
- De Jesús, M.A.S., Aguiar-Dutra, A.R., Silva-Cirani, C.B.S., Evaristo-Jesús, K.R., Sobrosa-Neto, R.C., and Andrade-Guerra, J.B., 2022. Evaluación de la ecoinnovación de la tecnología de biodigestores: una aplicación en las industrias de procesamiento de yuca en el

- sur de Brasil, estado de Paraná. *Política Ambiental de Tecnología Limpia*, 24, pp. 931–948. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02232-7>
- Dehinenet, G., Mekonnen, H., Kidoido, M., Ashenafi, M., and Bleich, E.G., 2014. Factors influencing adoption of dairy technology on small holder dairy farmers in selected zones of Amhara and Oromia National Regional States, Ethiopia. *Discourse Journal of Agriculture and Food Sciences*, 2, pp. 126–135. [file:///Users/mac0455649/Downloads/Dehinet\\_et\\_al-1.pdf](file:///Users/mac0455649/Downloads/Dehinet_et_al-1.pdf)
- Díaz-García, C., González-Moreno, A. and Sáez-Martínez, F.J., 2015. Eco-innovation: insights from a literature review. *Innovation: Management, Policy and Practice*, 17, pp. 6–23. <http://dx.doi.org/10.1080/14479338.2015.1106011060>
- FAO (Food and Agriculture Organization). 2021. Gateway to dairy production and products: Production systems. <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/production-systems/en/> Accessed 08 March, 2023.
- Field, A. 2013. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*, 4th ed., London, Great Britain: SAGE Publications.
- Gavito, M.E., van der Wal, H., Aldasoro, E. M., Ayala-Orozco, B., Bullén, A. A., Cach-Pérez, M., Casas-Fernández, A., Fuentes, A., González-Esquivel, C., Jaramillo-López, P., Martínez, P., Mesara-Cerruti, O., Pascual, F., Pérez-Salicrup, D.R., Robles, R., Ruiz-Mercado, I. and Villanueva, G., 2017. Ecología, tecnología e innovación para la sustentabilidad: retos y perspectivas en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88, pp. 150–160. <https://doi.org/doi:10.1016/j.rmb.2017.09.001>
- Ge, J., Sutherland, L.A., Polhill, G.J., Matthews, J.K., Miller, D., and Wardell-Johnson, D., 2017. Exploring factors affecting on-farm renewable energy adoption in Scotland using large-scale microdata. *Energy Policy*, 107, pp. 548–560. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.025>
- Guzmán-Hernández, T.J., Araya-Rodríguez, F., Obando-Ulloa, J.M., Rivero-Marcos, M. and Castro-Badilla, G. 2017. Evaluación de sistemas térmicos y fotovoltaicos solares en unidades de producción agropecuaria, Región Huetaar Norte, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*, 28, pp. 535–548. <http://dx.doi.org/10.15517/ma.v28i3.26442>
- Guzmán-Luna, P., Mauricio-Iglesias, M., Flysjö, A., and Hospido, A., 2022. Analysing the interaction between the dairy sector and climate change from a life cycle perspective: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 126, pp. 168–179. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.001>
- Hernández-Morales, P., Estrada-Flores, J. G., Avilés-Nova, F., Yong-Angel, G., López-González, F., Solís-Méndez, A. D., and Castelan-Ortega, O. A., 2013. Tipificación de los sistemas campesinos de producción de leche del sur del estado de México. *Universidad y Ciencia*, 29, pp. 19–31. <https://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v29n1/v29n1a3.pdf>
- Jelinski, M. D., Kelton, D. F., Luby, C., and Waldner, C., 2020. Factors associated with the adoption of technologies by the Canadian dairy industry. *The Canadian Veterinary Journal*, 61, pp. 1065–1072. [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7488376/pdf/cvj\\_10\\_1065.pdf](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7488376/pdf/cvj_10_1065.pdf)
- Kemp, R., Arundel, A., Rammer, C., Miedzinski, M., Tapia, C., Barbieri, N. and McDowall, W., 2019. Measuring eco-innovation for a Green economy. *Wirtsch Blätter, Special Issue on Nachhaltigkeit/Sustainability*, 66, pp. 391–404. <https://www.inno4sd.net/uploads/originals/1/inno4sd-pub-mgd-02-2019-fnl-maastrich-manual-ecoinnovation.pdf>
- La O-Arias, M. A., Guevara Hernández, F., Rodríguez Larramendi, L. A., Pinto Ruiz, R., Nahed Toral, J., Ley de Coss, A., and Reyes Muro, L., 2018. Evolución de los sistemas de crianza de cabras Criollas Cubanas en el contexto de la conservación del genotipo. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 9, pp. 68–85. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i1.4400>
- Lai-Solarin, W.I., Wasilu Adelabu, A., and Samson Olayemi, S., 2021. Technology Adoption Capabilities of Small Farm Dairy Cattle Holders in Gwagwalada, Abuja: Effects of Asymmetric Information and Extension Approaches. *International Journal of*

- Agricultural Economics*, 6, pp. 320-328. <https://doi.org/10.11648/j.ijae.20210606.20>
- Läpple, D., Renwick, A. and Thorne, F., 2015. Measuring and understanding the drivers of agricultural innovation: Evidence from Ireland. *Food Policy*, 51, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2014.11.003>
- Luqman M., and Al-Ansaris T., 2021. A novel solution towards zero waste in dairy farms: A thermodynamic study of an integrated polygeneration approach. *Energy Conversion and Management*, 230, p. 113753. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113753>
- Martínez-Borrego, E., 2009. La lechería en el Estado de México: sistema productivo, cambio tecnológico y pequeños productores familiares en la región de Jilotepec. México: UNAM-Instituto de Investigaciones Sociales/Bonilla Artigas Editores.
- 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., 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Tropical Animal Health and Production*, 47, pp. 331-337. <https://doi.org/10.1007/s11250-014-0724-0>
- Martínez-García, C. G., Dorward, P. and Rehman, T., 2016. Factors influencing adoption of crop and forage related and animal husbandry technologies by small-scale dairy farmers in Central Mexico. *Experimental Agriculture*, 52, pp. 87-109. <https://doi.org/10.1017/S001447971400057X>
- Maulu, S., Hasimuna, O. J., Mutale, B., Mphande, J., and Siankwilimba, E., 2021. Enhancing the role of rural agricultural extension programs in poverty alleviation: A review. *Cogent Food and Agriculture*, 7, p. 1886663. <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1886663>
- Mendenhall, W., Beaver, R.J. and Beaver, B.M., 2010. Introducción a la probabilidad y estadística. 13 ed., México: Cengage Learning.
- Meriggi, N. F., Bulte, E., and Mobarak, A. M., 2021. Subsidies for technology adoption: Experimental evidence from rural Cameroon. *Journal of Development Economics*, 153, 102710. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4389577>
- Oldenburg, B. and Glanz, K., 2008. Diffusion of innovations. In: Glanz, K., Rimer, K.B., Viswanath, K. (eds). *Health Behavior and Health Education: Theory, Research and Practice*, Jossey-Bass. pp. 313-333.
- Park, M. S., Bleischwitz, R., Han, K.J., Jang, E.K. and Joo, J.H., 2017. Eco-innovation indices as tools for measuring eco-innovation. *Sustainability*, 9, p. 2206. <https://doi.org/10.3390/su9122206>
- Rasoulinezhad, E., 2020. Environmental impact assessment analysis in the Kahak's wind farm. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 22, 2250006. <https://doi.org/10.1142/S1464333222500065>
- Rathod, P., Chander, M., and Bardhan, D., 2018. Status of public agricultural research and extension in Asia: A case of missing links in Indian livestock sector. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 28, pp. 623-635. [file:///Users/mac0455649/Downloads/JAPSF\\_inalFullPaper.pdf](file:///Users/mac0455649/Downloads/JAPSF_inalFullPaper.pdf)
- Schiederig, T., Tietzer, F., & Herstatt, C., 2012. Green innovation in technology and innovation management – an exploratory literature review. *R&D Management*, 42, pp. 180-192. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2011.00672.x>
- Sánchez-Olarte, J., Argumedo-Macias, A., Álvarez-Gaxiola, J. F., Méndez-Espinoza, J. A., and Ortiz-Espejel, B., 2015. Conocimiento tradicional en prácticas agrícolas en el sistema del cultivo de amaranto en Tochimilco, Puebla. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 12, pp. 237-254. <https://www.scielo.org.mx/pdf/asd/v12n2/v12n2a7.pdf>
- Sánchez-Toledano, B. I., Zegbe-Domínguez, J. A. and Rumayor-Rodríguez, A.F., 2013. Propuesta para evaluar el proceso de adopción de las innovaciones tecnológicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, pp. 855-868. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n6/v4n6a3.pdf>
- Schiederig, T., Tietzer, F. and Herstatt, C., 2012. Green innovation in technology and innovation management – an exploratory

- literature review. *R&D Management*, 42, pp. 180–192. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2011.00672.x>
- SIAP, 2019. Sistema de Información Agropecuaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Boletín trimestral sobre la producción de leche de bovino: Panorama de la lechería en México. <https://www.gob.mx/siap/prensa/boletin-de-leche-155932> Accessed 08 March, 2023.
- Taherdoost, H., 2018. A review of technology acceptance and adoption models and theories. *Procedia Manufacturing*, 22, pp. 960-967. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.137>
- Varnero, M.T., 2012. Manual de Biogás. MINENERGIA / PNUD / FAO / GEF. Santiago, Chile. 119.
- Vogt, W.P. and Burke, J.R., 2016. *Dictionary of statistics and methodology: a non-technical guide for the social sciences*. 5th ed. California, United States of America. Sage Publications.
- Zhai, Y., Ding, Y. and Wang, F., 2017. Measuring the diffusion of an innovation: A citation analysis. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 69, pp. 368–379. <https://doi.org/10.1002/asi.23898>
- Zhang, C., Campana, P., Yang, J., Zhang, J. and Yan, J., 2017. Can Solar Energy be an Alternative Choice of Milk Production in Dairy Farms? A Case study of Integrated PVWP System with Alfalfa and Milk Production in Dairy Farms in China. *Energy Procedia*, 105, pp. 3953-3959. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.822>