



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS PUEBLA

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE CONEJO EN EL VALLE DE PUEBLA Y TLAXCALA, MÉXICO

NEFTALI CANSINO JUAREZ

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

PUEBLA, PUEBLA

2019



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS
CAMPECHE-CÓRDOBA-MONTECILLO-PUEBLA-SAN LUIS POTOSÍ-TABASCO-VERACRUZ

SUBDIRECCIÓN DE EDUCACIÓN
CAMPUS PUEBLA

CAMPUE- 43-2-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe **Neftali Cansino Juarez**, alumno de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **Dr. Samuel Vargas López**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **Análisis socioeconómico y ambiental de la producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México**, y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, México, 28 de junio del 2019.

Neftali Cansino Juarez

Vo. Bo. Profesor Consejero

Dr. Samuel Vargas López

La presente tesis, titulada: **Análisis socioeconómico y ambiental de la producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México**, realizada por el alumno: **Neftali Cansino Juarez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. SAMUEL VARGAS LÓPEZ

ASESOR:



DR. ANGEL BUSTAMANTE GONZÁLEZ

ASESOR:



DR. CLEMENTE LEMUS FLORES

ASESOR:



DR. JAVIER CRUZ HERNÁNDEZ

ASESOR:



DR. JOSÉ LUIS JARAMILLO VILLANUEVA

Puebla, Puebla, México, 28 de junio del 2019

ANÁLISIS SOCIOECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA PRODUCCIÓN DE CONEJO EN EL VALLE DE PUEBLA Y TLAXCALA, MÉXICO

Neftali Cansino Juarez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2019

Se analizó la relación de aspectos socioeconómicos y ambientales con los sistemas y la eficiencia de producción de conejo en la Sierra Nevada y Valle de Libres, estado de Puebla, y en el municipio de Yauhquemehcan, estado de Tlaxcala. La información se obtuvo con una encuesta aplicada a 77 productores de conejos, la revisión de registros de producción y observación participante. Se registró información de variables sociales, económicas y de sostenibilidad ambiental. Los datos se analizaron con estadística descriptiva, varianza, conglomerados, modelos de frontera estocástica y regresión lineal con el paquete estadístico SAS® 9.4. Los sistemas identificados son de traspatio semi-intensivo (35%), traspatio (23.4%), traspatio tecnificado (24.7%) y granjas tecnificadas (16.9%). Las variables significativas ($p < 0.05$) del modelo de frontera estocástica fueron el costo anual de la alimentación y tamaño del conejar. Los sistemas con mayor eficiencia fueron el de traspatio (0.72 ± 0.04) y traspatio semi-intensivo (0.72 ± 0.03). La eficiencia fue explicada por la utilización de forrajes y granos en la alimentación del conejo. En los sistemas menos eficientes fue significativa la pertenencia a una organización, el tipo de mercado y la escolaridad del productor. Los valores de uso de agua, energía y emisiones de contaminantes son más altos en el sistema tecnificado, en tanto que el sistema de traspatio es el más eco-eficiente. La producción de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala se clasifica como una actividad funcional a nivel de traspatio y va escalando hasta un nivel empresarial, con lo cual se incrementan los beneficios a la unidad de producción, pero disminuye la eficiencia económica y la ecológica.

Palabras clave: Crianza de conejo, eco-eficiencia, eficiencia, indicadores ecológicos, frontera estocástica.

SOCIOECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF RABBIT PRODUCTION IN THE VALLEY OF PUEBLA AND TLAXCALA, MEXICO

Neftali Cansino Juarez, MC.

Colegio de Postgraduados, 2019

The relationship of socioeconomic and environmental aspects with the systems and efficiency of rabbit production in the Sierra Nevada and Valle de Libres, Puebla State, and in the municipality of Yauhquemehcan, Tlaxcala state, was analyzed. The information was obtained with a survey applied to 77 rabbit producers, the review of production records and participant observation. Information on social, economic and environmental sustainability variables was recorded. Data were analyzed with descriptive statistics, variance, conglomerates, stochastic frontier models and linear regression with the statistical package SAS® 9.4. The identified systems are semi-intensive backyard (35%), technified backyard (24.7%), backyard (23.4%), and technified farms (16.9%). The significant variables ($p < 0.05$) of the stochastic frontier model were the annual cost of feeding and the size of the rabbit. The most efficient systems were backyard (0.72 ± 0.04) and semi-intensive backyard (0.72 ± 0.03). The efficiency was explained by the use of forages and grains in rabbit feeding. In less efficient systems, membership in an organization, the type of market and the education of the producer were significant. The values of water use, energy and pollutant emissions are higher in the technified system, while the backyard system is the most eco-efficient. The production of rabbits in the Valley of Puebla and Tlaxcala is classified as a functional activity at backyard level and escalates to a business level, which increases profits but decreases economic and ecological efficiency.

Key words: Rabbit raising, eco-efficiency, efficiency, ecological indicators, stochastic frontier.

AGRADECIMIENTOS

Al Colegio de Posgraduados Campus Puebla, por darme la oportunidad en mi formación académica.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca como estudiante de maestría.

Al consejo particular por todos sus aportes y sus conocimientos brindados para la realización y culminación de la tesis.

A las familias productoras de conejo de la Sierra Nevada de Puebla, Valle de Puebla y Centro de Tlaxcala.

Al productor Miguel Ángel Aranda por ayudarnos a contactar a productores de conejo en el Valle de Puebla.

A mi esposa por brindarme su apoyo incondicional para realizarme personal y académicamente con el posgrado de Maestría en Ciencias.

A mi familia y a la familia de mi esposa por el continuo apoyo otorgado durante esta travesía académica.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo inicialmente a mi esposa quien me apoyó e impulsó para continuar estudiando, aquella mujer que ha sido uno de los pilares que me mantuvo en pie en los altibajos que ocasionalmente se presentan en las actividades para obtener el grado de Maestría en Ciencias.

A mi familia y a la familia de mi esposa por haberme apoyado durante el periodo de la maestría, gracias por todo lo que me ayudaron permitiéndome culminar mi desarrollo sobre el posgrado.

De igual forma dedico este esfuerzo a mi abuelo Lorenzo Juárez quien perdió la vida durante mi segundo año del posgrado y quien me enseñó dos grandes oficios, uno de ellos la agricultura, que citándolo le digo hasta pronto:

“Ver el amanecer cada mañana mientras cultivas las tierras, es la satisfacción más hermosa que Dios nos puede dar”.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS	4
2.1. Planteamiento del problema	4
2.2. Objetivos	5
2.3. Hipótesis	6
III. REVISIÓN DE LITERATURA	7
3.1. Sistema de producción de conejo	7
3.1.1. Infraestructura y equipo	7
3.1.2. Tipos de alimentación	8
3.1.3. Manejo de la crianza	8
3.1.4. Manejo de deyecciones	9
3.2. Las teorías socio-ecológicas y eco-eficiencia	9
3.2.1. El enfoque socio-ecológico	10
3.2.2. El enfoque de eco-eficiencia	12
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	16
4.1. Áreas de estudio	16
4.2. Tamaño de muestra y registro de información	16
4.3. Análisis de datos	24
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
5.1. La producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala	27

5.1.1. El productor de conejos	27
5.1.2. Infraestructura y equipo	29
5.1.3. Prácticas de manejo	31
5.1.4. Productividad de los conejos	33
5.1.5. Principales productos	36
5.1.6. Mercado y comercialización	36
5.2. La orientación técnica-económica de la producción de conejo	37
5.2.1. Eficiencia de la producción	41
5.2.2. Indicadores de eco-eficiencia	45
VI. CONCLUSIONES	48
VII. LITERATURA CITADA	50

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. El ciclo de vida del conejo en la región del Valle de Puebla y Tlaxcala, México.	19
Figura 2. Ocupación de los productores de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala.	27
Figura 3. Escolaridad de los productores de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala.	29
Figura 4. Tipo de instalaciones y alojamiento de las diferentes unidades de producción.	30
Figura 5. Bebederos automáticos hechos por el productor.	32
Figura 6. Clasificación de las unidades de producción de conejo por su orientación técnica y económica en el Valle de Puebla y Tlaxcala.	38
Figura 7. Contribución de las variables sociales, de insumos y productivas en los sistemas de producción de conejo en el valle de Puebla y Tlaxcala.	39

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Información registrada de la producción de conejo en la región del Valle de Puebla y Tlaxcala, México.	18
Cuadro 2. Principales gases emitidos por el estiércol de conejo.	23
Cuadro 3. Características de los productores de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala.	28
Cuadro 4. Actividades en la crianza de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala.	32
Cuadro 5. Productividad de las unidades de producción de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala.	35
Cuadro 6. Relación de precios de conejos vendidos en las zonas de estudio.	37
Cuadro 7. Modelo de frontera estocásticas de la producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala.	43
Cuadro 8. Factores explicativos de la ineficiencia de las unidades de producción de conejo en el valle de Puebla y Tlaxcala.	44
Cuadro 9. Emisiones e indicadores de eco-eficiencia de la producción de conejo.	46

I. INTRODUCCIÓN

En México la producción de conejo es una actividad de las zonas periurbanas y rurales (Lukefahr y Cheeke, 1991; Mendoza, 2001), desarrollada en pequeños espacios (Rivera *et al.*, 2005; López y Pérez, 2005). Bajo estas condiciones, la infraestructura y las prácticas de manejo, se adaptan a las condiciones socioeconómicas del productor (Szendrő y Zotte, 2011). La producción se orienta al autoconsumo y a la venta en el mercado local (Oseni y Lukefahr, 2014).

En la cría de conejo, la alimentación es a base de alimento comercial y en ocasiones se complementa con forrajes y granos disponibles en la unidad de producción (López y Pérez, 2005). Generalmente, no se cubren los requerimientos nutricionales del conejo y es común la escases de forrajes en la época seca del año (Gutiérrez *et al.*, 2000; Mekasha *et al.*, 2001); estos tipos de alimentación determinan el periodo de engorda, consumo de alimento, la tasa de conversión alimenticia y la ganancia de peso (Leinonen *et al.*, 2014).

Las propuestas para incrementar la eficiencia en la producción, incluyen el uso integral y múltiple de los recursos locales disponibles, sobre todo para reducir el uso de insumos externos, la contaminación del ambiente y dar estabilidad económica a la unidad de producción de conejo (Sánchez Escobar, 2015; Jiménez-Ferrer *et al.*, 2008). La integración de factores económicos y un menor impacto en el medio ambiente, requiere de planteamientos metodológicos que relacionen la productividad, el uso de insumos externos y el impacto ambiental; un enfoque factible para medir de manera integral estos factores hacia una producción eficiente, es la eco-eficiencia.

La eco-eficiencia está definida como la capacidad de un sistema que pueda cumplir una función, al mismo tiempo que se minimizan los impactos totales que se emiten sobre el medio ambiente (Basset-Mens *et al.*, 2009). En esta definición se hace referencia a la producción de un kilogramo de carne de conejo en función de la alimentación, el uso energético eficiente y el impacto ambiental, medido como las emisiones por unidad de

producto. Por lo anterior, la evaluación de la eco-eficiencia de las granjas cunícolas requiere de un enfoque cuantitativo y holístico, que evalúe la eficiencia de los sistemas de producción y su impacto en el medio ambiente. En el impacto ambiental, Calvet *et al.* (2008) mencionan que la emisión de gases de efecto invernadero se debe a la ineficiencia del aprovechamiento de nutrientes por parte de los animales. Como consecuencia se aumentan los costos de producción, además de contribuir a la contaminación ambiental. La producción de conejo de engorda es considerada una actividad contaminante debido a las emisiones de metano, óxido nitroso, amoníaco y fósforo para cada categoría de animal, donde existe poca literatura con relación a este sector de la producción (Cesari *et al.*, 2018).

El método de evaluación del impacto ambiental más utilizado por las principales empresas productoras de carne y huevo es el de ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés) (Leinonen *et al.*, 2014). Este método considera y predetermina las entradas y salidas del ciclo de producción de un sistema, es decir, toma en cuenta la extracción y proceso de materias primas, producción, transporte, distribución, uso, reutilización, mantenimiento, reciclado y disposición final de un determinado producto (Puig Vidal, 2007).

El método LCA, puede combinarse con el método de Análisis Envolvente de Datos (DEA por sus siglas en inglés) para la evaluación de múltiples entradas y salidas para un gran número de empresas. Es un método no paramétrico que estima la eficiencia de las unidades de producción y sus valores óptimos (Malana y Malano, 2006). El método DEA se emplea para medir la eco-eficiencia en diferentes sectores y sobre el desempeño ambiental del sector agropecuario (Gadanakis *et al.*, 2015). Estudios recientes han comenzado a utilizar la combinación de ambos métodos, con el fin de tener una perspectiva de mejorar la eficiencia operativa, ambiental y económica de las unidades de producción (Payandeh *et al.*, 2017; Mohammadi *et al.*, 2015; Vázquez-Rowe *et al.*, 2010). Con este procedimiento se ha evaluado la eco-eficiencia en la producción de cultivos, en sistemas integrados y en la producción de leche (Gadanakis *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2018; Basset-Mens *et al.*, 2009), sin embargo, dentro de la literatura no se ha informado sobre los sistemas y la eficiencia en la producción de conejo, por ello, en esta

investigación se caracterizó a los sistemas de producción de conejo, se determinó la eficiencia económica y la eco-eficiencia para la producción familiar de carne de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Planteamiento del problema

En México los sistemas de producción de conejo a nivel familiar representan el 95% de la producción total, el resto pertenece a sistemas semi-tecnificados y tecnificados (Olivares *et al.*, 2009). En consecuencia los datos presentados en la producción de conejos no son precisos, ya que el sistema a nivel familiar no cuantifica la producción debido a que está destinada al autoconsumo (Pacheco y Espinoza, 2012; Xiccató y Trocino, 2007).

La producción de conejos enfrenta un proceso de intensificación de la producción (Undi *et al.*, 2001; Mohamad *et al.*, 2017). El tipo de alimentación de los conejos depende de alimento comercial y en ocasiones se utilizan insumos de la unidad de producción como granos de cereales, forrajes secos, sobrantes de cocina y residuos hortícolas (López y Pérez, 2005). La alimentación a base de ingredientes de la unidad de producción es de bajo contenido nutricional y tiene un elevado costo, lo que limita al productor satisfacer las necesidades nutricionales de los conejos, obliga al uso de alimentos y concentrados comerciales (Gutiérrez *et al.*, 2000; Mekasha *et al.*, 2001). Bajo esta circunstancia, los productores tienen limitados conocimientos de la alimentación del conejo, lo que origina que el impacto ambiental aumente (Aulbert *et al.*, 2010).

En los principales nutrientes indicados en el requerimiento de los conejos se ha mencionado a las proteínas, fibra, grasa, almidón, calcio, fósforo, magnesio, sodio, potasio y zinc (SiMoNoVá *et al.*, 2010); por lo que se debe optimizar el nivel proteico del alimento de acuerdo a la etapa de crecimiento del conejo (De Blas y Mateos, 2010). De los nutrientes mencionados anteriormente, son utilizados para el mantenimiento del animal y la formación de producto (carne), mientras que el resto es excretado en la orina y heces (Peyraud y Astigarraga, 1998).

Las medidas de productividad como la tasa de conversión alimenticia y la eficiencia energética, influyen en el impacto ambiental (Bengtsson y Seddon, 2013), dado que el excedente de nutrientes excretados se vuelve una fuente de contaminación medioambiental (Toledo *et al.*, 2014). Con base al consumo de los conejos (238 a 260 g/día), se debe ofrecer una alimentación equilibrada y ajustada a las necesidades óptimas del animal en cada etapa del ciclo productivo y así disminuir los costos de alimentación (70-80% del costo total) e impacto ambiental (Nicodemus, 2018).

En el presente estudio se planteó la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo contribuyen los aspectos socioeconómicos y ambientales en los sistemas y la eficiencia de producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México?

2.2. Objetivos

El objetivo general del estudio fue:

Analizar la relación de los aspectos socioeconómicos y ambientales con los sistemas y la eficiencia de producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México.

Los objetivos específicos del trabajo fueron:

- Caracterizar la producción de conejo a nivel familiar en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México.
- Identificar la influencia de los factores económicos, productivos y ambientales en la eficiencia de la producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México.

2.3. Hipótesis

La hipótesis general que guio el presente trabajo fue la siguiente:

En las unidades de producción de conejos los factores socioeconómicos y ambientales determinan los sistemas y la eficiencia de producción en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

Las hipótesis específicas planteadas fueron:

- El sistema de producción de conejos está relacionado con el tipo de productor, parámetros reproductivos y el uso de insumos para la alimentación en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México.
- El ingreso neto, el tipo de insumo en la alimentación y el manejo de desechos del sistema de producción de conejo explican la eficiencia del proceso de producción.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Sistema de producción de conejo

Los sistemas de producción de conejo comúnmente se describen en la literatura por el tamaño de la unidad de producción y su nivel de intensificación. Por el tamaño de la granja se clasifican en pequeña, mediana o gran escala (Corrent, 2003; Lukefahr, 2004). Por el nivel de intensificación las unidades de producción se agrupan en extensivas, semi-intensivas e intensivas (Barrueta y Bautista, 2002; El-Raffa, 2004).

En México, los sistemas de producción de conejo se encuentran clasificados en tres tipos, familiar o de traspatio, empresarial-comercial y semi-empresarial (Olivares *et al.*, 2009; Mendoza, 2001). El sistema de producción de conejo más común es el familiar, el cual se localiza en su mayoría en áreas rurales y semi-urbanas, se orienta a la producción de carne, y se destina para el autoconsumo y venta local (Martínez *et al.*, 2004); el 90% de la producción de conejo se produce a nivel familiar (Pacheco y Espinoza, 2012).

C3.1.1. Infraestructura y equipo

La cría de conejo puede llevarse a cabo en cualquier tipo de local, siempre que cumplan con las exigencias que permitan a los conejos una vida sana y altamente productiva (Szendrő y Zotte, 2011). Morton *et al.* (2005) citan que a los conejos se les priva de un hábitat de confort, por lo que es imprescindible brindar satisfacción de su bienestar como es la orientación de la conejera, circulación constante de aire, temperaturas de 10 a 26 °C y humedad del 50-60 %. Para las jaulas, Matics *et al.* (2014) mencionan que hay diferencias en la producción, tipo de canal y calidad de la carne de conejos producidos en jaulas (2 conejos por jaula) o en corrales; lo que muestra que el tipo de jaula influye en la producción de conejo. En los nidos se utilizan distintos materiales como la madera, la cual mantiene el calor, pero son de difícil desinfección y los animales las pueden roer; los de lámina galvanizada, que se desinfectan fácilmente pero son fríos; los nidos de

plástico, duraderos, con dificultad para desinfectar y mantienen la temperatura (Szendrő y McNitt, 2012).

3.1.2. Tipos de alimentación

La alimentación es la forma de cómo se suministra el alimento, es decir, si el alimento es ofrecido a libre acceso o controlado (Birolo *et al.*, 2016). La dieta para conejo debe ser equilibrada, de calidad y de alto contenido de fibra que es el componente químico principal (320-360 y 50-90 g/kg de fibra soluble e insoluble, respectivamente), grasa (15-25 g/kg) y contenido de proteína de 140 a 180 g/kg (De Blas y Mateos, 2010).

La alimentación de los conejos para la producción de carne, se basa exclusivamente en alimento comercial, generando un costo por la alimentación y esto depende de la cantidad ofrecida, lo que origina que los principales factores para mejorar la rentabilidad de la producción sean el racionamiento de alimentos (Maertens y Gidenne, 2016; Xiccato y Trocino, 2010; Birolo *et al.*, 2016). En este sentido, Tazzoli *et al.* (2015) y Knudsen *et al.* (2014) señalaron que el aumento en los niveles de energía y el aumento de fibra en el alimento ofrecido (> 400 g/kg), son las formas más comunes para mejorar la eficiencia alimenticia. La eficiencia alimenticia, se define como el índice de conversión alimenticia, la cual es un indicador para determinar el desempeño financiero, productivo y ambiental de la producción pecuaria (Gidenne *et al.*, 2017).

En las producciones de traspatio y con pocos conejos la alimentación es a base de fuentes alternativas e insumos disponibles en el área local, comúnmente son forrajes (alfalfa, maíz, malezas silvestres, pastos), subproductos de cosecha (mazorcas, zacates, hortalizas, legumbres, tubérculos, yuca), frutas (tejocote, manzana, papaya), granos (maíz, avena, trigo) y concentrados balanceados (Edgar y Mullan, 2011).

3.1.3. Manejo de la crianza

El manejo de la crianza comienza a partir del parto, donde el periodo de gestación dura en promedio 30 días (Castellini *et al.*, 2010). Rebollar *et al.* (2009) Mencionaron dos tiempos de lactancia, 25 días periodo corto y 35 días periodo largo, al finalizar este tiempo

se realiza el destete, que consiste en separar los gazapos de la madre, con un peso que oscila entre 600-700 gramos, momento en que son seleccionadas las camadas según el fin productivo requerido (engorda y remplazos) (Alfonso-Carrillo *et al*, 2014; Xiccato *et al.*, 2004). La cría post-destete se realiza hasta que los conejos alcanzan su madurez sexual, lo cual ocurre entre los 5-6 meses de edad para los conejos que son remplazos (Harcourt-Brown, 2017; García-Tomás *et al.*, 2009). Mientras que para la engorda, el periodo productivo comienza a partir del destete hasta la venta en canal o en pie, donde los conejos alcanzan un peso promedio de 2000 g, en un periodo de 70 a 90 días (Pla, 2008; Peiretti *et al.*, 2013; Dal Bosco *et al.*, 2014).

3.1.4. Manejo de deyecciones

El manejo de las deyecciones se realiza en fosas. Las fosas superficiales con declives, que se deben limpiar a diario; las fosas semi-profundas y profundas que deben ser vaciadas cada 3 ó 4 meses; y las fosas con sistemas mecánicos que realizan la extracción de las deyecciones de manera más sencilla. El estiércol de los conejos puede ser utilizado en la horticultura y la lombricultura, para poder transformar los residuos orgánicos en humus que es utilizado en la agricultura (Capra y Blumetto, 2014).

3.2. Las teorías socio-ecológicas y eco-eficiencia

Los cambios económicos, ambientales y sociales en el medio rural obligan a adoptar un enfoque de desarrollo sostenible. Los conceptos que relacionan una interacción entre la sociedad y la naturaleza, se encuentran en algunas bases teóricas conceptuales, donde se sustenta la investigación a partir de un enfoque denominado sistemas socio-ecológicos, en el cual se buscan patrones de transformación y su redistribución en la sociedad (Baños-González *et al.*, 2014). Dentro de los sistemas socio-ecológicos la interacción se aplica en dos formas, la primera es mediante la intervención y actividad de carácter cultural, social y económico, los cuales producen cambios en el ambiente y la naturaleza; la segunda forma son las dinámicas de los ecosistemas que influyen sobre la cultura, sociedad y actividades económicas (Salas-Zapata *et al.*, 2012).

Para explicar las interacciones y las relaciones hombre-naturaleza en el marco socio-ecológico dentro de este proyecto, se realizarán aproximaciones a partir del primer enfoque, el cual se centra en el análisis de la influencia y la evolución entre los elementos ecológicos y sociales que intervienen en los sistemas de producción de conejo (Ríos-Núñez *et al.*, 2013).

En los aspectos económicos, los estudios de rentabilidad y competitividad de las unidades de producción son comúnmente utilizados para determinar la capacidad productiva (Barrera-Rodríguez *et al.*, 2011). Un factor económico que integra los recursos naturales es la eco-eficiencia, que es la capacidad de un sistema para cumplir una función al tiempo que minimiza sus impactos totales sobre el medio ambiente. En este enfoque, los impactos ambientales de un producto se evalúan mediante la cuantificación y evaluación de los recursos consumidos adicionando las emisiones sobre el medio ambiente, desde la extracción de recursos hasta la producción y el uso de materias primas, del producto en sí, su uso y la reutilización, reciclaje o disposición final (Basset-Mens *et al.*, 2009).

3.2.1. El enfoque socio-ecológico

En la literatura existen conceptos que analizan la relación entre la sociedad y la naturaleza (Sánchez Escobar, 2015). Uno de estos enfoques son los sistemas socio-ecológicos, que estudian las relaciones entre los sistemas sociales y el sistema ecológico desde una perspectiva de la complejidad y son utilizados para describir los procesos naturales y antrópicos (Baños-González *et al.*, 2014). La teoría de los sistemas socio-ecológicos sugiere que las decisiones y comportamiento humano, en interacción con influencias biofísicas, tienen el potencial de analizarse a través de partes o de todo el sistema y así generar impactos en diferentes escalas temporales y espaciales; esto permite la recuperación después de un disturbio (Morehouse *et al.*, 2008). El concepto de sistema socio-ecológico se emplea como una unidad bio-geo-física compleja, donde los actores sociales asociados e instituciones, interactúan de manera adaptativa para producir resultados (Brown *et al.*, 2016). Es así como los sistemas socio-ecológicos describen los procesos naturales y antropológicos que se manifiestan en la escala

espacio-temporal, para establecer valores, normas e instituciones sociales que orientan el comportamiento humano (Baños-González *et al.*, 2014).

El enfoque socio-ecológico reafirma que muchos de los ecosistemas de la tierra están dominados directamente por la humanidad, y ningún ecosistema local o regional en la superficie de la tierra está libre de la influencia humana, aunque hay variación en las tasas, escalas, tipos y combinaciones de cambios (Becker, 2012). La comprensión de las escalas espaciales y temporales en las que operan los servicios de los ecosistemas y las perturbaciones humanas, son esenciales para el desarrollo de planes de conservación y ordenación del territorio a nivel de paisaje, incorporando una mayor comprensión de cómo las personas y la naturaleza interactúan en sistemas adaptativos complejos y esto podría ser la base para planificar y gestionar intencionalmente la adaptabilidad (Petrosillo *et al.*, 2010). Este marco conceptual tiene como base la interacción entre elementos ecológicos y socioeconómicos dentro de una producción.

El sistema socio-ecológico se encuentra asociado con cuatro propiedades ecológicas que permiten delimitar el estudio: resiliencia, vulnerabilidad, capacidad de adaptación y emergencia (Sánchez Escobar, 2015). La resiliencia se define como la magnitud de la perturbación que puede ser absorbida antes de que el sistema redefina su estructura, cambiando las variables y los procesos que controlan el comportamiento (Morehouse *et al.*, 2008). En tanto, Brunner y Grêt-Regamey (2016) la definen como la capacidad adaptativa de un sistema para hacer frente a perturbaciones externas, conservando las mismas funciones, identidad y estructura para fortalecer la propia dinámica de los sistemas naturales y así evitar cambios hacia direcciones no deseadas. La resiliencia socio-ecológica exige que se eviten los disturbios ecológicos y económicos, buscando finalmente como los conocimientos de los productores pueden contribuir a la resiliencia y su adaptación a los diversos cambios ambientales y sociopolíticos que los afectan (Farley y Voinov, 2016).

Para la vulnerabilidad, se hace referencia a que tan sensible es un sistema y los daños que este recibe, como son los impactos debido a la exposición y la sensibilidad a los mismos, lo que resulta en una capacidad adaptativa de los sistemas (Brown *et al.*, 2016).

Dentro de la vulnerabilidad el concepto base es la capacidad adaptativa y transformación, lo cual representa la habilidad de un sistema para cambiar con el objeto de mantener sus características deseables y a la eliminación de las no deseables. El concepto de emergencia, se refiere a la capacidad del sistema para autoorganizarse sin el condicionamiento de una dirección externa (Glaser *et al.*, 2012).

3.2.2. El enfoque de eco-eficiencia

Un enfoque factible para medir la sostenibilidad a nivel individual es la eficiencia económica o más bien eco-eficiencia. Para Bonfiglio *et al.* (2017), una mejora de la eco-eficiencia se puede deber al aumento de la producción, a un nivel dado de insumos o a una disminución de la entrada y un nivel dado de productos; aunque, un cambio en la eco-eficiencia no refleja necesariamente un cambio correspondiente en términos de sostenibilidad global.

Para Ehrenfeld (2005) la importancia práctica y teórica del concepto eco-eficiencia radica en su capacidad para combinar el comportamiento a lo largo de dos de los tres ejes del desarrollo sostenible, el medio ambiente y la economía. La noción de que el desarrollo económico creciente tendría que correlacionarse con la reducción del impacto ambiental no es un concepto nuevo. La eco-eficiencia es fundamentalmente una tasa de alguna medida de valor económico añadido a alguna medida de impacto ambiental.

La eco-eficiencia busca disminuir la sobreexplotación de los recursos naturales y la contaminación emitida durante los procesos de producción, además de maximizar el rendimiento del uso de los recursos naturales. De este modo, se mantiene la sostenibilidad en términos de no exceder la capacidad de carga, así las elecciones más eco-eficientes siempre deben ser preferidas sobre las opciones que causen daños al ambiente y en este sentido, la eco-eficiencia puede ser una herramienta útil para los estrategas y los tomadores de decisiones políticas (Leal, 2005; Ehrenfeld, 2005).

La eco-eficiencia propone que se deben de crear más bienes y servicios, utilizando pocos recursos naturales, jugando un papel importante al expresar la eficiencia de la actividad económica con respecto a los bienes y servicios de la naturaleza. Con esta expresión,

Zhang *et al.* (2008), propusieron que la eco-eficiencia se mida como la relación entre el valor (agregado) de lo que se ha producido (ingresos, bienes y servicios de alta calidad, empleo, PIB, etc.) y los impactos ambientales del producto o servicio; de este modo al mejorar la eficiencia entre las relaciones del valor con lo que se produce, se reducen las presiones ambientales, además de mejorar y facilitar las políticas que restringen la actividad económica.

Para medir la eco-eficiencia en las unidades de producción se han aplicado las metodologías del análisis del ciclo de vida, análisis envolvente de datos y la combinación de estas dos metodologías. El método de evaluación del ciclo de vida (LCA, por sus siglas en inglés), se aplica para evaluar las cargas ambientales relacionadas a un producto, proceso o actividad; de manera que se cuantifica la energía, los materiales utilizados y las emisiones que se liberan al ambiente (Audsley *et al.*, 1997). La Organización de Normas Internacionales (ISO), en su edición sobre “Gestión ambiental-Evaluación de ciclo de vida” (ISO 14040, 14044), establecen que LCA es un método que realiza un inventario de los insumos y productos relevantes de un sistema, evalúa los impactos ambientales potenciales asociados al inventario realizado e interpreta los resultados obtenidos.

El método LCA identifica las principales fuentes de impacto ambiental, evaluando los posibles cambios existentes dentro de las granjas. El método LCA se ha utilizado en la producción de huevos para estudiar los rendimientos, la eco-toxicidad terrestre y en agua dulce (Abín *et al.*, 2018). Por su parte, González-García *et al.* (2014) y Pelletier (2008) evaluaron los impactos ambientales basados en el método LCA, teniendo como unidad funcional la producción de carne de pollo.

El Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés) es una técnica lineal no paramétrica, la cual permite medir y evaluar las eficiencias relativas de las unidades de toma de decisión (DMU), a partir de entradas y salidas múltiples (Guo y Tanaka, 2001). El DEA deriva la eficiencia relativa de cada unidad de producción, respecto a una frontera de posibilidad, utilizando la programación lineal (Heidari *et al.*, 2011).

El método DEA fue propuesto por Charnes *et al.* (1978), quienes utilizaron una forma de optimización conocido como CCR (por Charnes, Cooper y Rhodes), en las que se presentan rendimientos constantes a escala. Inicialmente los trabajos se enfocaban al desarrollo de métodos de solución algorítmica para llevar a cabo los análisis observados, sin embargo, se encontró que los enfoques estándar de programación lineal no pueden utilizarse en el método DEA (Cooper *et al.*, 2001). Por lo que se ha encontrado que el método DEA clásico propicia evaluar el rendimiento de forma diferente dentro de la producción agrícola; con la obtención de resultados indeseables permiten que DEA sea un método con el cual se pueda evaluar la eco-eficiencia (Scheel, 2001; Coli *et al.*, 2011).

En investigaciones recientes se ha buscado combinar el método DEA con diferentes métodos, así por ejemplo, Berre *et al.* (2015) mencionan que DEA con el método de frontera eficiente aplicado, aporta un puntaje de eco-eficiencia multidimensional, es decir, la eco-eficiencia puede relacionarse con todos los sistemas del modelo de granja (económicos, estructurales, agronómicos, zootécnicos y factores ambientales). Bonfiglio *et al.* (2017) presentaron con el método DEA el nivel de eco-eficiencia y eco-eficiencia específica de granjas con relación al uso de fertilizantes y pesticidas utilizados en la producción de cultivos en zonas rurales.

Los estudios relacionados a la eficiencia muestran ventajas sobre el uso de combinar los métodos evaluación del ciclo de vida (LCA) con el análisis envolvente de datos (DEA), ya que evalúan conjuntamente diferentes entradas y salidas para determinar la eficiencia técnica y el desempeño ambiental (Kouchaki-Penchah *et al.*, 2017). Por lo que la metodología LCA + DEA propone la combinación sinérgica entre LCA y DEA, la cual pueda ser una herramienta que evalúe la situación operativa y ambiental de múltiples unidades de decisión, permitiendo verificar la eficiencia ecológica y evitando el uso de datos de inventario promedio, es decir, evitan desviaciones estándar (Iribarren, 2010; Iribarren *et al.*, 2010).

El uso combinado de LCA y DEA integra los impactos ambientales derivados de LCA y los resultados económicos en una única puntuación de eco-eficiencia a través de un

sistema de estimación de ponderaciones basado en DEA (Rybczewska-Błażejowska y Masternak-Janus, 2018).

En estudios recientes aplicaron el enfoque LCA + DEA para mejorar la eficiencia operativa, ambiental y mejorar el desempeño económico de la producción agrícola y ganadera (Payandeh *et al.*, 2017; Mohammadi *et al.*, 2015; Vázquez-Rowe *et al.*, 2012).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Áreas de estudio

El estudio se realizó en las regiones de la Sierra Nevada y en el Valle de Libres en el estado de Puebla y en el municipio de Yauhquemehcan en el estado de Tlaxcala.

En la Sierra Nevada se trabajó en las comunidades de San Martín Texmelucan, San Juan Tuxco, Chiautzingo, San Juan Tetla, Calpan y Huejotzingo. Estas comunidades se localizan al centro-oeste del estado de Puebla, en las cuales se produce conejo a nivel familiar (Suárez, 2016). La altitud promedio es de 2500 msnm. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano (época de mayor humedad) y en el resto del territorio es de clima templado subhúmedo con lluvias en verano y de humedad media. La temperatura anual tiene un rango de 14 a 16°C. La precipitación anual tiene un rango de 800 a 1000 mm (INEGI, 2016).

En el Valle de Libres se trabajó en el municipio de Libres Puebla. Esta región se seleccionó por contar con una organización de cunicultores que han formado parte del sistema producto conejo en el estado de Puebla. La temperatura media anual de la zona es de 18°C y precipitación total anual inferior a 600 mm. El clima es semi-seco templado con lluvias en verano y escasas a lo largo del año.

Para el estado de Tlaxcala se trabajó en el municipio de Yauhquemehcan, el cual se ubica a una altitud de 2,420 msnm, situado en las coordenadas geográficas 19° 24' de latitud norte y 98° 11' de longitud oeste. En el municipio prevalece el clima templado subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura promedio anual registrada es de 22.6°C. La precipitación media anual del municipio es de 817.6 mm.

4.2. Tamaño de muestra y registro de información

En el estudio se registró información en 77 unidades de producción de conejos, se utilizó un muestreo dirigido a productores que estaban produciendo conejos y mostraron

disposición para participar en el estudio. La información registrada fue de tipo social, productiva y económica como lo indicaron Costa *et al.* (2018). La información de la unidad de producción de conejos se registró mediante observación participante (Chambers, 1994), entrevista a profundidad y consulta de los registros del productor.

En el Cuadro 1 se describe la información registrada para cada aspecto estudiado. En el aspecto social se registró información de las características del productor, mano de obra, apoyo técnico y autoabasto de carne de conejo a la familia. En el aspecto económico se registraron datos de tamaño del conejar, la infraestructura, la disponibilidad de equipo, costos e ingresos.

Para determinar la funcionalidad del sistema de producción se consideró la información relacionada con los aspectos de alimentación, sanidad, producción de carne, costos, ingresos y la organización para comercializar la carne en un ciclo productivo (Figura 1). Para los servicios se registró el uso de agua, electricidad y combustibles, utilizados dentro de la producción de conejo (Luo y Kelliher, 2014). En los estudios económicos la rentabilidad y competitividad de las unidades de producción son comúnmente utilizadas para determinar la capacidad de generar ingresos y mantenerse en la actividad. En este trabajo se utilizó el concepto de rentabilidad, que es la capacidad de una empresa de transformar insumos en bienes y servicios con calidad específica y así incrementar la eficiencia, con el fin de tener ganancias a un corto y largo plazo (Barrera-Rodríguez *et al.*, 2011). Se tuvo acceso a los registros del productor y cuando los productores no contaban con registros los datos se calcularon junto con el productor para un ciclo productivo. Para el trabajo con los productores se obtuvo el permiso a las autoridades de las comunidades y de la asociación de cunicultores del Valles de Libres, Puebla.

Cuadro 1. Información registrada de la producción de conejo en la región del Valle de Puebla y Tlaxcala, México.

Dimensión	Factores de estudio	Información registrada
Social	Características del productor	Edad (años), género, escolaridad (años), gusto por la cría de conejos.
	Mano de obra	Integrantes de la familia (número), familiares que ayudan al manejo (número, hijos, esposa) o calificada.
	Apoyo técnico	Obtención de conejos (proyecto, conejo silvestre, otro), asistencia técnica (veces al mes), pertenencia a sociedad cunícola (si, no).
	Consumo de conejo	Consumo kg/persona; frecuencia (días/semana, mes, año)
Económicos	Datos productivos	Total de conejos (número), raza de conejos, hembras (número), machos (número), reemplazos (número), pariciones (% de hembras), peso canal (kg), vida útil del pie de cría (años), tasa de reposición (%), peso al sacrificio (kg), rendimiento en canal (%), venta de productos (conejos en pie, canales, comida preparada) y subproductos (piel, patas, colas), precio de venta (\$).
	Costos	Alimento comercial (\$), granos (\$), forrajes (\$), amortización de infraestructura (\$), mano de obra (\$), asesoría técnica (\$), medicinas (\$), agua (\$), luz (\$).
	Ingresos	Venta de carne (\$), venta de piel (\$), venta de otros productos (\$), venta de estiércol (\$).

Dimensión	Factores de estudio	Información registrada
Ambiental	Optimización de insumos externos y propios. Energía utilizada. Manejo de excretas.	Tipo de alimentación (alimento comercial, forraje silvestre, forraje propio y granos), periodo en que ofrece el alimento, tipo de agua ofrecida (llave, almacenada), físicos (aditivos, suplementos, saborizantes, otros). Fósiles (gas, diésel, gasolina), luz eléctrica Recolección de excretas (heces, orín), emisión de gases (% de gases emitidos) y uso de excretas (compostaje, biogás, directo a terreno).

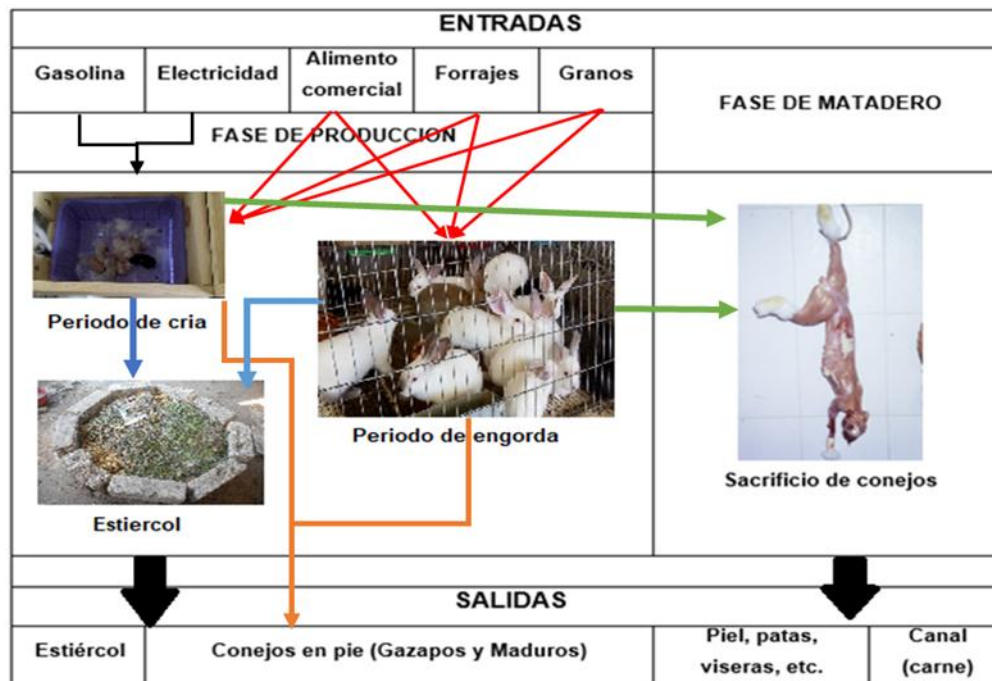


Figura 1. El ciclo de vida del conejo en la región del Valle de Puebla y Tlaxcala, México.

En la dimensión ambiental se registró información del autoabasto de alimentos e insumos externos para los conejos. Para la dimensión ambiental se utilizó el concepto de eco-eficiencia. Este caso se entiende como una perspectiva integral de análisis y se define como la capacidad del sistema para cumplir su función optimizando el uso de insumos alimenticios, mientras se minimizan los impactos sobre el medio ambiente. A partir de este enfoque se determinaron los posibles impactos ambientales de productos, evaluándose mediante la cuantificación de los recursos consumidos y las emisiones al medio ambiente, durante un ciclo productivo de la producción de carne de conejo (Leal, 2005). Los datos para determinar la eco-eficiencia se expresan en kilogramo de conejo en pie producido en función de los alimentos (producidos o comprados) y ofrecidos a los conejos.

Dentro de los datos de inventario indirectos se cuantificó el consumo y precio del combustible, electricidad y capital en la región (Wells, 2001). Para obtener los indicadores de eco-eficiencia de la producción de carne de conejo, se utilizó la fórmula de la United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), como lo indicaron Müller y Sturm (2001):

$$\text{Ecoeficiencia} = \frac{\text{Influencia Ambiental}}{\text{Valor Neto del Producto o Servicio}}$$

Según Müller y Sturm (2001) el valor agregado neto se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Valor Agregado Neto} = \text{Ingresos} - \text{Costos de producción} - \text{Depreciación}$$

Donde los ingresos son todas las ganancias obtenidas a partir de la venta de conejo en pie, en canal y otros productos. Los costos de producción se encuentran definidos por todos los gastos que se realizan para la compra de insumos y el manejo de la crianza del conejo. La depreciación hace referencia a la disminución de precio de instalaciones y equipo de acuerdo a la vida útil en la producción de conejo. Los cálculos se realizaron para un año de producción de conejos.

Sturm (2004) presentó una propuesta sobre el modelo de la UNCTAD para el cálculo de los indicadores de eco-eficiencia, además de que permite realizar comparaciones entre diferentes empresas (unidades de producción) y se puede realizar la operación a pesar de tener poca información de inventario. El modelo propone cuatro eco-indicadores para la eco-eficiencia, el cual se obtiene a partir de los siguientes cálculos:

i. Consumo de agua por unidad de valor agregado neto:

$$Ecoeficiencia = \frac{\text{Consumo de agua}}{\text{Valor neto agregado}}$$

En el consumo de agua se considera a la que beben los conejos, a la utilizada en la limpieza y desinfección de la conejera durante un año de producción. La unidad de medida fue el consumo de agua en m³.

ii. Requerimientos energéticos por unidad de valor agregado neto:

$$Ecoeficiencia = \frac{\text{Requerimientos energéticos}}{\text{Valor neto agregado}}$$

El indicador tiene relación con los impactos relacionados con el uso y el suministro de energía, la tecnología y la fuente utilizada. Para los requerimientos energéticos se considera el consumo de energía eléctrica en las instalaciones de los conejos y el consumo de energía fósil utilizada para el transporte de los productos al mercado y el traslado de insumos alimenticios (alimento balanceado, forrajes y granos).

Las unidades de conversión energética se tomaron a partir de la base de datos que presenta la SENER (2010). La cantidad de litros de gasolina utilizada en un año de producción se convirtió a kilovatio hora (kWh).

$$1 \quad \text{L de gasolina} = 9.28 \text{ kWh}$$

El total de energía requerida (RE) fue resultado de la energía de la gasolina y la electricidad:

$$RE = \text{kWh electricidad} + \text{kWh de gasolina}$$

iii. Contribución al calentamiento global por unidad de valor agregado neto.

La contribución al calentamiento global (CCG) está representada por las emisiones de bióxido de carbono (CO₂) producidas por la quema de combustibles (fósiles y biológicos) y el uso de la energía eléctrica. En este indicador se consideró a las emisiones en la producción de energía eléctrica utilizada por la bomba de agua, uso de focos dentro del conejar, el uso de automóviles para trasladar los conejos para venta e insumos.

Por cada kWh de electricidad tiene factor de emisión de 0.385 kg CO₂ e:

$$CCG_{\text{Electricidad}} = \text{kWh} * 0.385 \text{ kg CO}_2 \text{ e/kWh}$$

Para el cálculo de la emisión de CO₂ por el consumo de gasolina se utilizó la fórmula:

$$ECO_2 = VC * PC * FE_{CO_2}$$

Dónde, ECO₂ son las emisiones de bióxido de carbono en kg, VC es el consumo de combustible (gasolina) al año en litros, PC es el poder calorífico del combustible [MJ/l] y FE es el factor de emisión de cada kg de gasolina [kg/MJ], estos datos se tomaron a partir de los datos de la RENE (2015).

$$Ecoeficiencia = \frac{\textit{Contribución al calentamiento global}}{\textit{Valor neto agregado}}$$

iv. Residuos sólidos generados por unidad de valor agregado neto:

$$Ecoeficiencia = \frac{\textit{Residuos solidos generados}}{\textit{Valor neto agregado}}$$

Los residuos sólidos son los desechos involucrados de manera secundaria, como es la basura. Los plásticos, como el costal del alimento comercial, son reciclados en la misma unidad de producción. En tanto, que los plásticos utilizados para la venta del conejo en

canal se utilizan bolsas adquiridas en supermercados, mercados y tiendas de autoservicios. En la basura se desechan envases de fármacos irregularmente, por lo que no fueron considerados en el análisis.

Para los desechos sólidos biológicos (estiércol), se calculó el eco-indicador de los gases emitidos tomando en cuenta los factores de emisión estipulados por el IPCC (2007), Varnero (2011) y la SEDEMA (2013), como son el metano (CH₄), Nitrógeno total (N), Pentaóxido de difósforo (P₂O₅) y Óxido de Potasio (K₂O), que se producen a partir del almacenamiento y el tratamiento del estiércol antes de ser utilizado. En el Cuadro 2 se presentan los principales gases emitidos y contenidos en el estiércol. Sin embargo, no se tomó en cuenta el mantenimiento de la infraestructura, ni los fármacos utilizados en la cría de conejo para la parte ambiental (Pelletier *et al.*, 2014).

Cuadro 2. Principales gases emitidos por el estiércol de conejo.

Gas emitido	Autor	Unidad de medida	Factor de emisión
Metano (CH ₄)	SEDEMA (2013)	kg cabeza ⁻¹ año ⁻¹	0.08
Nitrógeno (N)	IPCC (2007)	kg N cabeza ⁻¹ año ⁻¹	8.1
Pentaóxido de difósforo (P ₂ O ₅)	Varnero (2011)	% en el estiércol	1.4
Óxido de Potasio (K ₂ O)	Varnero (2011)	% en el estiércol	2.1

Cabe señalar que los modelos antes descritos y propuestos por la UNCTAD pueden ser aplicados a cualquier empresa, de igual forma se establece que si el eco-indicador no se requiere calcular se puede omitir y que puede utilizar otros elementos como eco-indicadores.

4.3. Análisis de datos

Los análisis estadísticos de la información se realizaron con el programa SAS® 9.4 para ambiente Windows. Los análisis estadísticos realizados fueron de estadística descriptiva, análisis de conglomerados y modelos de frontera estocástica. Las agrupaciones de las unidades de producción se utilizó la edad del productor (años), mano de obra (\$/año), superficie del conejar (m^2), valor de instalaciones (\$), jaulas (número), estiércol producido (kg/año), conejos pie de cría (número), ingreso de venta de conejos (\$/año), consumo de concentrado (kg/año), consumo de agua ($m^3/año$), electricidad (kWh/año) y forrajes (kg/año). Con el procedimiento CLUSTER del SAS se construyó un diagrama de árbol, con lo cual se realizó una comparación entre las agrupaciones por las distancias de agrupamiento determinada con el método Ward. La descripción de las tipologías de las unidades de producción se realizó con análisis de varianza, con el procedimiento GLM del SAS.

Para el análisis econométrico se utilizó el modelo de frontera estocástica con el procedimiento QLIM del SAS para datos de corte transversal como lo describen Meeusen y van den Broeck (1977). El modelo estadístico para la estimación de una frontera para la producción de conejos en la los Valles de Puebla y Tlaxcala se define por:

$$\ln Y_t = \beta_0 + \ln x_{1t} \beta_1 + \ln x_{2t} \beta_2 + \ln x_{3t} \beta_3 + \ln x_{4t} \beta_4 + \varepsilon_i$$

$$t = 1, 2, \dots, 77.$$

Donde el subíndice t denota a las 77 unidades de producción de conejos del estudio;

En el modelo $\beta_0 - \beta_4$ son parámetros desconocidos. La variable dependiente de la función de producción Y_t es el logaritmo del valor agregado neto en la producción de conejos (\$) de un año, que se obtuvo sumando los ingresos netos de las ventas de conejo finalizado, pie de cría, conejo en canal, subproductos y la depreciación del pie de cría e instalaciones durante 2018. Las variables explicativas de los factores de la producción fueron: x_{1t} es

el logaritmo del valor de las instalaciones y equipo en un año, se calculó sumando los costos de las instalaciones y equipos dividida entre la vida útil; x_{2t} es el logaritmo del costo de mano de obra en un año; x_{3t} es el logaritmo del costo de alimentos en un año, se obtuvo sumando los costos de alimentos balanceados, forrajes y granos consumidos en la granja; y x_{4t} es el logaritmo del tamaño del conejar (cantidad de conejos del pie de cría durante el año). Los resultados de las variables explicativas se estiman en forma de logaritmo. En el análisis de frontera estocástica de la producción, el error está compuesto de dos partes ($\varepsilon_i = v_i - u_i$), v_i es un error aleatorio que incorpora a los errores de las medidas y otros factores que determinan la producción, y u_i está compuesto por la ineficiencia técnica y sólo asume valores positivos.

Para explicar la eficiencia técnica en la producción de conejos en los Valles de Puebla y Tlaxcala, se utilizó un modelo de regresión lineal múltiple, como a continuación se define:

$$Eficiencia = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \beta_4 x_{4i} + \beta_5 x_{5i} + \beta_6 x_{6i} + \beta_7 x_{7i} + \beta_8 x_{8i} + \varepsilon_i$$

$$i = 1, 2, \dots, 77.$$

Donde, el subíndice i denota las 77 unidades de producción de conejos del estudio;

La variable dependiente es la eficiencia técnica que fue determinada con el modelo estocástico. Como variables explicativas de la eficiencia de las unidades de producción de conejos se utilizó a x_1 es el logaritmo natural de la edad del productor en años, x_2 es el logaritmo natural de la escolaridad (años de estudio), x_3 es el logaritmo natural de la experiencia en la crianza de conejos (años), x_4 es el logaritmo natural del largo del ciclo de producción de los conejos (días), x_5 es el acceso a asistencia técnica (no 0, si 1), x_6 es la pertenencia a una organización (no 0, si 1), x_7 es el tipo de mercado (local 0, regional 1), x_8 existencia de autoconsumo de carne de conejo en la unidad de producción (no 0, si 1), x_9 si se proporciona forraje a los conejos (no 0, si 1) y x_{10} se proporciona grano para la alimentación de los conejos (no 0, si 1). En el modelo $\beta_0 - \beta_{10}$

son parámetros desconocidos en el modelo de regresión. En tanto, e_i son los errores aleatorios del modelo.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se agruparon en tres temas, en el primero se caracterizó a la producción de conejos, en el segundo se analizó la clasificación de las unidades de producción de conejos por su orientación técnica y económica, y en el tercero se presentó la eficiencia económica y ecológica (eco-eficiencia) de las unidades de producción.

5.1. La producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala

5.1.1. El productor de conejos

La cunicultura es una fuente alternativa de ingresos en 67.5% de las unidades de producción y se combina con otras actividades económicas, como es la venta de fuerza de trabajo, el comercio y el ejercicio profesional. En tanto, para el 32.5% de los productores la crianza de conejos es complementaria a la agricultura y ganadería, donde el 25% de los mismos tiene a la cría de conejo como única fuente de ingresos (Figura 2).

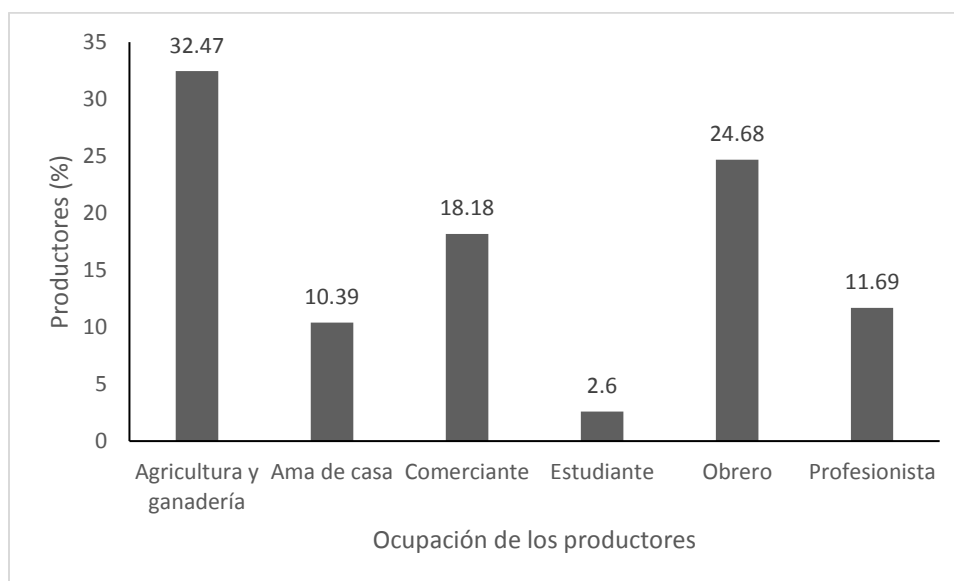


Figura 2. Ocupación de los productores de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

Los titulares de las unidades de producción de conejos son mujeres (24.7%) y hombres (75.3%), lo que indica que la crianza de la especie es responsabilidad del género masculino, similar a lo que indican González *et al.* (2012), en el sentido de que la cunicultura es una actividad realizada por los hombres. La experiencia en la crianza de conejo es de 2 a 7 años (Cuadro 3).

Cuadro 3. Características de los productores de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

Variable	%
Mujeres	24.68
Hombres	75.32
Ocupación:	
Agricultores y ganaderos	32.47
Obreros asalariados	27.27
Comerciantes	18.18
Otras actividades	11.70
Amas de casa	10.39
Años criando conejos:	
1 año	2.60
2 años	20.78
3 años	22.08
4 años	15.58
5 años	11.69
6 años	5.19
7 o más años	22.10

Los productores de conejo tienen en promedio 39 años de edad. En la distribución de la edad se encontró que 37.7% de los productores son adultos jóvenes, 27.3% son jóvenes (16-30 años), 10.4% son adultos (41-50 años) y 24.7 % son productores mayores de 50

años. La escolaridad de los productores es de nivel secundaria, preparatoria y licenciatura (Figura 3), resultados similares obtuvieron González *et al.* (2012) y Aguilar *et al.* (2012), quienes hacen referencia a una producción de conejo a cargo de personas menores a 50 años, con escolaridad de nivel primaria, secundaria, preparatoria y licenciatura.

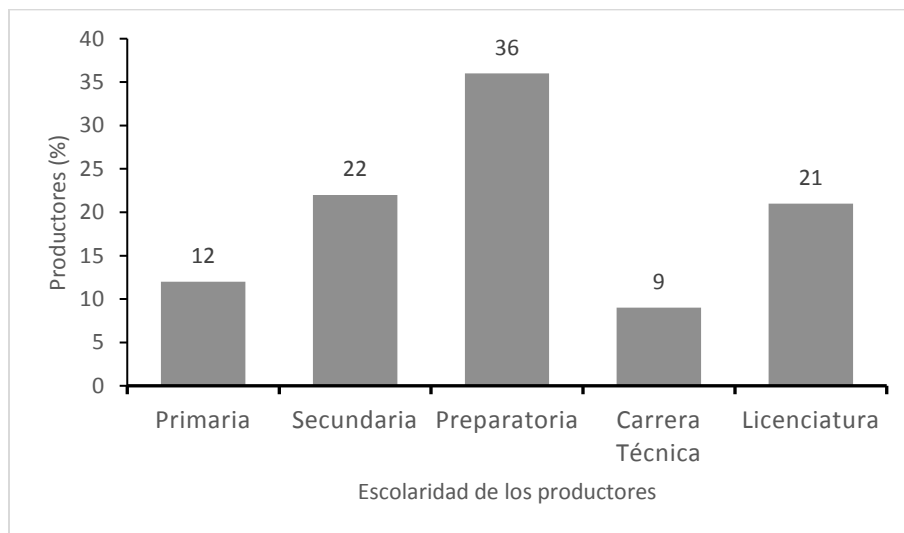


Figura 3. Escolaridad de los productores de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

5.1.2 Infraestructura y equipo

La infraestructura utilizada para la cría de conejo son las instalaciones y el equipo. El nivel de tecnificación de la infraestructura se relaciona con las condiciones de vida del productor, 85.7% de las unidades de producción tienen instalaciones construidas de materiales de desecho, donde las jaulas se encuentran al aire libre, bajo un tejado o en instalaciones ya existentes (alojamiento para otras especies animales Figura 4a); 10.4% tienen una construcción con las especificaciones técnicas para la especie, las jaulas se encuentran bajo techo y con materiales de construcción (Figura 4b y 4c); las construcciones donde el productor invirtió para tener su empresa para la cría de conejo es del 3.9% (Figura 4d). En este sentido, Serem *et al.* (2013) mencionaron que la

construcción de las instalaciones y equipo depende del uso de materiales disponibles en cada región.



Figura 4a



Figura 4b



Figura 4c



Figura 4d

Figura 4. Tipo de instalaciones y alojamiento de las diferentes unidades de producción.

Los productores utilizan jaulas en batería e individuales (61%), el 37.7% tiene jaulas individuales hechas por el mismo productor con madera, varilla y malla de acero; son pocos los productores que crían a los conejos en corral (1.3%). Los nidos son de diferente tipo de material, comúnmente elaborados con madera (49.4%), envases de plástico o cajas para frutas (45.4%) y sólo 5.2% de los productores utiliza nidos comerciales. El 51%

de los productores utilizan comederos hechos de material de desecho y en el 49% de los casos son comederos comerciales para conejos. Los resultados concuerdan con Chah *et al.* (2017), quienes mencionan que es común que los cunicultores utilicen diferentes materiales para elaborar nidos, comederos, bebederos y jaulas para la cría. En el área de estudio los productores mencionaron que para evitar el desgaste de dientes, por roer los bebederos y comederos, es mejor utilizar recipientes de barro.

5.1.3 Prácticas de manejo

En el manejo del conejar los productores utilizan en promedio dos horas al día. El tiempo se utiliza para proporcionar alimento y agua, revisar los nidos, limpiar y desinfectar las conejeras. El responsable del cuidado de los conejos son los familiares (63.6%), el jefe de familia (31.2%) y personal asalariado (5.2%).

En las prácticas de alimentación (Cuadro 4), los productores ofrecen alimento una vez (46.7%) y dos veces por día (53.3%). El alimento ofrecido es controlado (57.1%) y a libre acceso (42.9%). El alimento más utilizado es el comercial (88.3%), pero solo 37.7% de los productores lo ofrecen como único alimento y el resto lo combina con granos (maíz, trigo, cebada) y forrajes (alfalfa, plantas silvestres, cebada, pajas y zacates); esta forma de alimentación es común en la crianza de conejos en traspatio (Aguilar *et al.*, 2012).

En el suministro de agua, 32.5% de los productores proporcionan más de un litro de agua una vez al día y dos veces al día (55.8%) en bebederos con capacidad de 0.75 litros. Sólo 11.7% de los productores tienen bebederos automáticos comerciales o bebederos automáticos realizados por ellos mismos (Figura 5). La fuente de agua es la de uso doméstico (92.2%) y en 7.8% se utiliza agua de pozo.



Figura 5. Bebederos automáticos hechos por el productor.

Cuadro 4. Actividades en la crianza de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

Actividad	Frecuencia	% de cunicultores
Frecuencia de alimentación	Una vez al día	46.7
	Dos veces al día	53.3
Frecuencia de agua de bebida	Una vez al día	32.4
	Dos veces al día	55.9
	Bebederos automáticos	11.7
Uso que le da al estiércol	Composteo	48.1
	Se incorpora a las parcelas	44.2
	Estercolero	1.3
	Se regala a vecinos	6.5
Tipo de composta	Apilado	68.4
	Bio-bolsa	2.6
	Lombricomposta	29.0
Utilización de fármacos	Si	35.5
	No	64.5

La limpieza de las instalaciones se lleva a cabo de forma semanal en el 58.4% de las unidades de producción. La desinfección de las instalaciones es realizada por el 77.9% de los productores. El 64.5% de los productores aplican antibióticos y desparasitantes, y el 35.5% aplica al menos un fármaco o sustituto. El estiércol producido tiene múltiples usos, según el tipo de productor, el composteo es la principal finalidad (48.1%), seguido del esparcimiento en las tierras agrícolas (44.2 %), regalo a otros agricultores (6.5%) y en el 1.3% tienen un estercolero, donde se producen bioles para las tierras de cultivo (Cuadro 4). Actualmente, el composteo del estiércol es lo más común, aunque se continua dejando en montones en 68.4% de las unidades de producción, 29% de las granjas producen lombricomposta y 2.6% comercializan el estiércol composteado en bolsas. Según Maiani (1990), el manejo de deyecciones se realiza por composteo en fosa (estercolero) y con la separación de heces y orina, lo cual difiere con lo encontrado en este estudio, ya que los productores no separan la orina del estiércol, aunque se coincide en el composteo de las heces para uso agrícola. Por otra parte, se coincide con Rivera *et al.* (2016), quienes indican que cada productor improvisa y adapta la forma en que realiza el manejo del estiércol de su granja, con base a la región y recursos, en donde el composteo es la práctica más común.

5.1.4. Productividad de los conejos

Las conejas utilizadas como pie de cría son seleccionadas de la unidad de producción (53.3%). Los criterios de selección que utilizan los productores son que las crías hembras proceden de madres con buena habilidad materna, tamaño corporal y número de gazapos vivos al parto. Estos criterios de selección para el reemplazo del pie de cría de acuerdo con Fernández *et al.* (2019), la habilidad materna y número de gazapos nacidos, son de alta heredabilidad, lo que indica un buen nivel de información técnica de los productores en la definición de los criterios de selección de las hembras de reemplazo. Para el caso del semental, menos de 25% de los productores lo seleccionan en la unidad de producción y el resto los compra de otras explotaciones, para este caso los productores tienen mayor dificultad en definir los criterios de selección de machos.

El 92% de los criadores de conejo definen un plan de manejo reproductivo según el tipo de raza que tienen en la unidad de producción. El número de razas que manejan los productores varía de una hasta más de cinco. Las principales razas utilizadas son la Nueva Zelanda, California y Chinchilla por su alta productividad, similar a lo registrado por Kale *et al.* (2016) y Serem *et al.* (2013), quienes encontraron producciones de conejo donde las principales razas son la Nueva Zelanda y la Chinchilla.

Los productores tienen en promedio 32.1 conejas y 4.5 sementales, en ambos casos con una edad promedio de un año. La relación macho:hembra es baja y esta alta cantidad de machos tiene como propósito incrementar el número de hembras cubiertas o reemplazar continuamente al macho. El ciclo productivo del conejo es de 60 hasta los 120 días, el cual inicia con la cubrición de la coneja hasta la venta de conejo en pie o en canal (según el fin productivo), con promedio de 4.3 ciclos por año. Los machos realizan en promedio 64.7 montas por conejo al año, por lo que las hembras tienen en promedio 8 partos por año, lo que resulta en 17.1 días de descanso entre parto y monta. Al parto se obtienen en general 9.3 conejos por camada. El promedio es de 7.8 conejos destetados por camada por coneja. El destete se realiza en promedio a los 29.6 días de edad y el periodo de engorda es de 61.9 días (Cuadro 5). En este sentido, Rebollar *et al.* (2009) mostraron el efecto negativo de un sistema intensivo (35 días entre parto y parto) en comparación con un sistema semi-intensivo de 42 días entre parto y parto. Los datos obtenidos difieren de lo encontrado por Xiccato y Trocino (2007), quienes presentan menor promedio de partos por coneja por año (6.5 partos), con un periodo más largo al destete, en la engorda y en el ciclo productivo. En el estudio de Blumetto (2002) el destete se realizó a los 31 días, el periodo de engorda de 62 días, el intervalo parto-servicio de 11 días y siete partos por año; estos últimos datos indican que tienen un manejo más intensivo comparado con el que realizan los productores de la región en estudio. En el manejo sanitario, 22.1% de los productores utilizan suplemento vitamínico para prevenir enfermedades y una pronta recuperación en caso de que se presenten. El 50.7% de los productores mencionaron como principal problema sanitario a los parásitos intestinales y en 49.3% de los productores no realizan ningún control. En el 85.7% de las unidades de producción no se utilizan fármacos para prevenir enfermedades. En los productores que controlan

parásitos (20.8%), lo hacen con productos caseros y los que ocupan fármacos los utilizan en las conejas reproductoras.

Cuadro 5. Productividad de las unidades de producción de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

Variable	N	Media \pm e.e.	Mínimo	Máximo
Número de hembras	77	32.1 \pm 69.8	8	600
Número de machos	77	4.5 \pm 11.3	1	100
Vida útil de las hembras (años)	77	1.5 \pm 0.6	1	3
Vida útil de los machos (años)	77	1.4 \pm 0.4	1	2
Edad al primer servicio (días)	41	118.5 \pm 30.6	80	210
Partos (número/hembra/año)	77	8.0 \pm 1.4	5	10
Intervalo parto-monta (días)	77	17.1 \pm 8.8	10	60
Montas (número/macho/año)	77	64.7 \pm 24.8	18	150
Tamaño de camada (Gazapos/Parto)	77	9.3 \pm 0.9	7	11
Edad al destete (días)	77	29.6 \pm 5.8	20	60
Conejos destetados / coneja	77	7.8 \pm 1.9	2	10
Periodo de engorda (días)	77	61.9 \pm 9.2	40	90
Conejos en engorda (número)	77	2099.8 \pm 5507.3	348	48000
Edad gazapos vendidos (días)	39	34.0 \pm 6.8	20	50
Peso gazapos vendidos (g)	37	0.4 \pm 0.1	0.2	0.5
Edad conejos vendidos en pie (días)	76	85.3 \pm 10.5	60	120
Peso conejos vendidos en pie (kg)	76	2.4 \pm 0.3	0.9	3
Edad al sacrificio (días)	67	87.5 \pm 10.6	70	120
Peso vivo de conejos (kg pre-sacrificio)	69	2.4 \pm 0.3	2	3
Peso de la canal (kg)	69	1.9 \pm 0.2	1.6	2.4

N, Número de unidades de producción; e.e., Error estándar.

5.1.5. Principales productos

Los productos obtenidos de la crianza son conejos en pie, conejo en canal y estiércol. Como una forma de darle valor agregado al producto los productores venden el conejo cocinado. De los productores que sacrifican a los conejos, el 67.5% desecha la piel y el 74.0% desecha las patas; son pocos los productores que utilizan o venden estas partes del conejo.

5.1.6. Mercado y comercialización

El mercado del conejo se limita a tres formas de aprovechamiento, el autoconsumo, la venta local y la venta a intermediarios. El 15.6% de las unidades de producción son de autoconsumo y ocasionalmente tienen venta local con familiares y conocidos; el 42.8% tiene como finalidad el autoconsumo, la venta local de conejo en pie y escasa venta de canal; 9.1% de los productores realiza autoconsumo y vende a intermediario. El 24.7% de los productores comercializa conejos para pie de cría, gazapos y conejo en canal. En el 7.8% restante se ubican las granjas con mayor dimensión, en las cuales se vende a un intermediario y comercializa directamente. Los datos sobre la venta de conejo en pie y canal, tiene similitud a lo encontrado por Olivares *et al.* (2009), quienes encontraron que en los estados de Tlaxcala y México, la comercialización se realiza para un intermediario y empresas en específico, solo 9.5% de los productores diversifica la carne en productos y platillos, el resto es vendido en pie y canal. El precio en el mercado de los conejos varía según el destino, el lugar de venta y el tipo de producto (Cuadro 6).

Los principales problemas en la crianza de conejos son la escasa asistencia técnica y capacitación sobre prácticas de manejo. La demanda más común fue la necesidad de entrenamiento para el uso de medicinas para el tratamiento de enfermedades y parásitos.

Cuadro 6. Relación de precios de conejos vendidos en las zonas de estudio.

Variable	N	Media \pm e. e.	Mínimo	Máximo
Precio de conejas de desecho (\$)	40	142.0 \pm 35.7	100.0	280.0
Precio de conejos de desecho (\$)	37	133.5 \pm 23.0	80.0	200.0
Precio de hembras de recría (\$)	11	272.7 \pm 56.4	200.0	350.0
Precio de machos de recría (\$)	9	250.0 \pm 43.3	200.0	300.0
Peso de gazapos vendidos (g)	37	0.4 \pm 0.1	0.2	0.5
Precio de gazapos vendidos (\$)	39	31.5 \pm 8.2	20.0	50.0
Peso de conejos engorda (kg)	76	2.4 \pm 0.3	0.9	3.0
Precio por kilo de conejo en pie (\$)	26	36.2 \pm 5.9	30.0	60.0
Peso promedio conejos en canal (kg)	69	1.9 \pm 0.2	1.6	2.4
Precio en canal (\$)	71	104.3 \pm 16.7	80.0	200.0

N, número de observaciones; e.e., error estándar

5.2 La orientación técnica-económica de la producción de conejo

La clasificación de las unidades de producción por su orientación técnica-productiva se presenta en la Figura 6. Las unidades de producción son de traspatio tecnificado (24.7%), traspatio (23.4%), traspatio semi-intensivo (35%) y tecnificado (16.9%). En el caso del estudio en Nigeria de Oseni *et al.* (2008), su clasificación tomó en cuenta al número de hembras de cría.

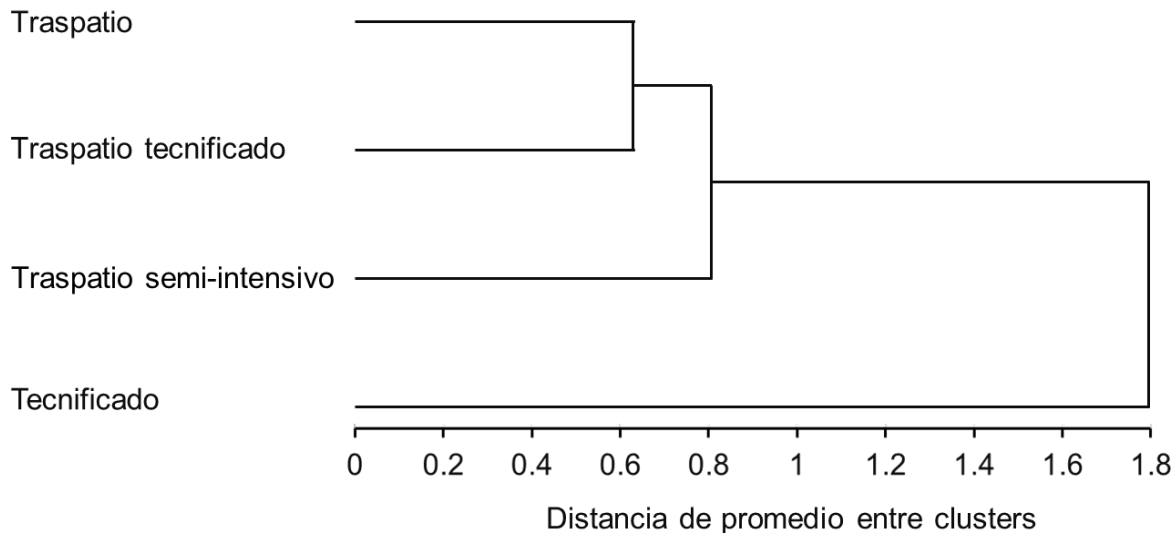


Figura 6. Clasificación de las unidades de producción de conejo por su orientación técnica y económica en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

A continuación se describen las características de los sistemas identificados en el área de estudio, como se presenta en la Figura 7:

Tecnificado. Son las explotaciones de tipo empresarial en la región de estudio. Los productores tienen 41.2 ± 13.2 años de edad y experiencia 10.5 ± 9 años en la cría de conejos. La superficie de las naves (216.5 ± 251.3 m²), número de jaulas (153.7 ± 154), comederos (153.7 ± 154) y bebederos (414 ± 1039.6) es mayor al resto de las demás explotaciones ($p < 0.05$). Las unidades de producción tienen el mayor número total de conejos para venta al año (7667.5 ± 12503.31) y hembras totales (108.2 ± 151.3), con respecto a las otras explotaciones. Las hembras tienen 8.2 ± 1.5 partos por coneja al año, en un ciclo de producción de 92.3 ± 11.0 días. Los insumos para la alimentación es alimento comercial (1344.6 ± 1886.6 kg/semana), forraje (320 ± 178.9 kg/semana) y granos (200 kg/semana). Los productos que se comercializan son conejos en pie (573.2 ± 1044.1 conejos/mes), conejos en canal (64.1 ± 43.1 conejos/mes) y abono (75.8 ± 83.7 kg semana). Se destinan al autoconsumo 6 ± 3.4 conejos/mes.

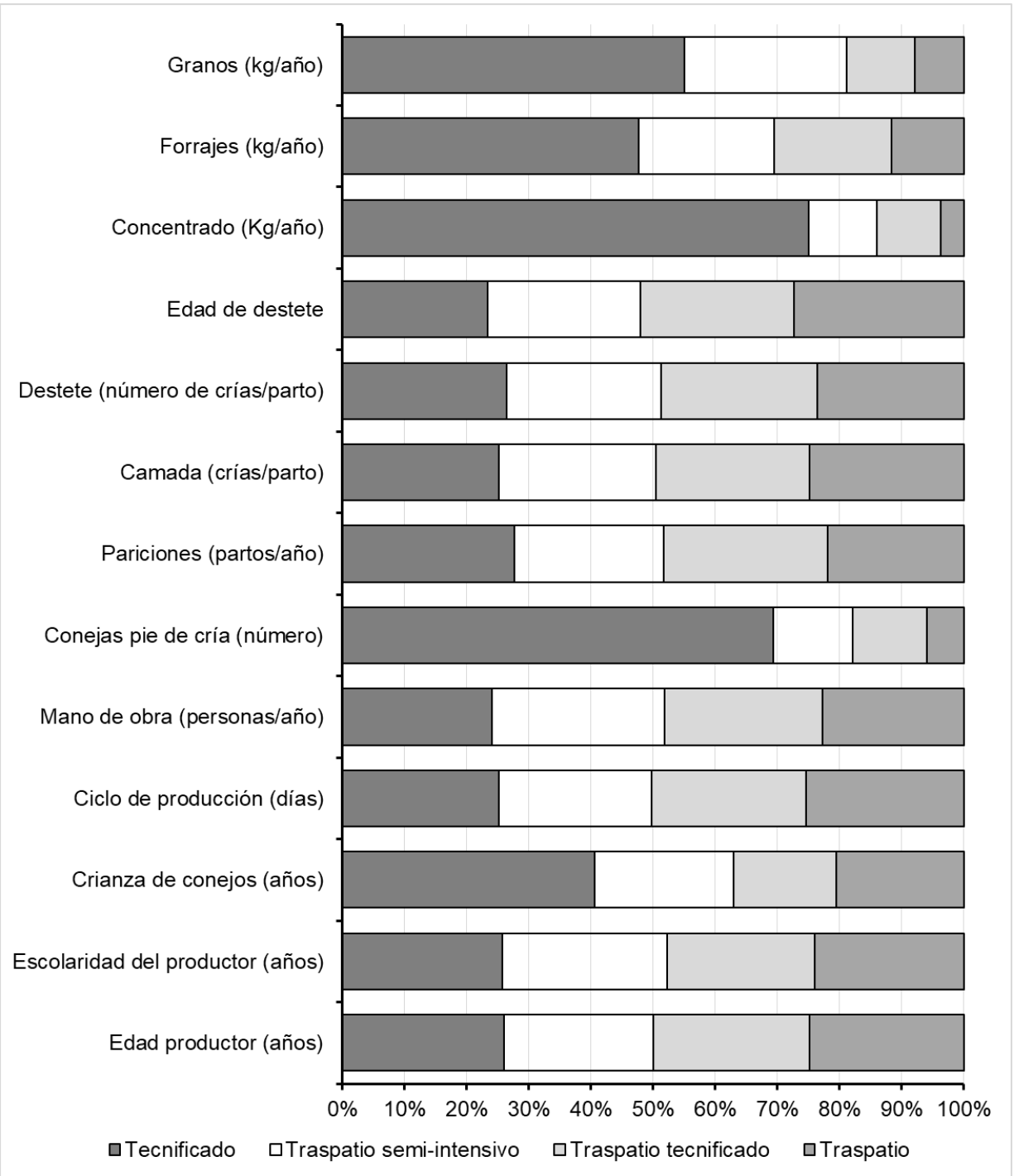


Figura 7. Contribución de las variables sociales, de insumos y productivas en los sistemas de producción de conejo en el valle de Puebla y Tlaxcala.

Traspatio. Son las unidades de producción más pequeñas para la crianza de conejos. En las explotaciones de traspatio los productores tienen edad promedio de 39.2 ± 12.1 años y experiencia de 5.3 ± 5.7 años en la cría de conejos. La superficie de las naves es de 15.3 ± 14.8 m², cuentan con 14.1 ± 1.6 jaulas en promedio, 14.1 ± 1.6 comederos y 14.1 ± 1.6 bebederos. El número de partos por año por coneja es de 7.8 ± 1.3 , con ciclos productivos de 93.0 ± 8.2 días. Para la alimentación se utiliza alimento comercial (65.9 ± 36.7 kg por semana), forraje (78.6 ± 46.0 kg/semana) y granos (28.7 ± 17.7 kg/semana). Se comercializan conejos en pie (26.6 ± 13.6 conejos/mes), la venta de conejos en canal (20.5 ± 7.6 conejos/mes) y estiércol (23.5 ± 25.6 kg/semana). En las unidades de producción tienen en promedio 587.9 ± 125.3 conejos para ventas al año y con un número total de 9.3 ± 0.6 hembras, con diferencia significativa con el tecnificado ($p < 0.05$). Al año se destinan 5.9 ± 3.8 conejos/mes para autoconsumo.

Traspatio semi-intensivo. En las explotaciones de traspatio semi-intensivo los productores son los más jóvenes tienen en promedio 37.9 ± 12 años de edad, sin diferencia significativa con el resto de las explotaciones. Este grupo tiene la mayor experiencia en la cría de conejos (5.8 ± 8.7 años). La superficie de las naves es de 33.8 ± 25.9 m², cuentan con jaulas (31.4 ± 22.4), comederos (31.4 ± 22.4) y bebederos (32.0 ± 22.0). Producen en promedio un total de 1293.4 ± 606.4 conejos para venta al año con 20.1 ± 8.6 hembras y 8.1 ± 1.5 partos por coneja al año y ciclos de producción de 90.2 ± 10.4 días. La alimentación es a base de alimento comercial (198.3 ± 101.6 kg por día), forraje (146.1 ± 1031 kg por día) y granos (94.4 ± 104.3 kg por día). La comercialización es de 69.3 ± 43.5 conejos en pie al mes, ventas de conejo en canal (34.3 ± 12.8 conejos al mes) y estiércol (38.8 ± 31.9 kg/semana). Se destinan al autoconsumo (9.1 ± 5.5 conejos al mes)

Traspatio tecnificado. En las explotaciones de tipo traspatio tecnificado, los productores tienen una experiencia en la cría de conejos de 4.3 ± 2.4 años. En este grupo están los productores más jóvenes con promedio de edad de 39.7 ± 10.9 años, no presentan diferencia significativa con el resto de las explotaciones. La superficie de las naves es de 38.6 ± 49.5 m², con equipamiento de jaulas (28.5 ± 15.1 jaulas), comederos (27.3 ± 15.8 piezas) y bebederos (28.6 ± 14.6 piezas). El número de conejas de pie de cría es de

18.7±8.9 hembras, con 8.0±1.1 partos por año por coneja y ciclo de producción del conejo de 91.3±5.5 días. El consumo de alimento comercial es de 184.7±139.0 kg por semana, el consumo de forraje es de 126.7±86.0 kg a la semana y de granos es 40 kg por semana. Las ventas son de conejos en pie (62.3±37.5 conejos al mes), conejo en canal (30.6±17.3 canales al mes) y estiércol (38.9±44.9 kg por semana). El número de conejos promedio para venta es de 1118.7±590.9 conejos al año. En este sistema se tienen el menor autoconsumo de carne (3.7±1.6 conejos al mes).

5.2.1. Eficiencia de la producción

La eficiencia económica se explicó con un modelo de frontera estocástica para estimar el valor de ineficiencia técnica y el modelo explicativo de la ineficiencia técnica para las unidades de producción de conejo.

Las variables que explican la función de producción (valor agregado neto) tuvieron efecto significativo ($p < 0.05$) el costo del consumo de alimento (concentrado) y el número de conejas y machos de cría (tamaño del conejar), lo que indica que un incremento de estas variables trae un incremento en el logaritmo del valor agregado neto (Cuadro 7). En tanto, que el uso de mano de obra y las instalaciones no tuvieron diferencia en explicar la eficiencia en la producción de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

En el sistema tecnificado las variables incluidas en el modelo fueron significativas ($p < 0.05$), el costo de las instalaciones y la mano de obra disminuyen por cada unidad que se incrementa el logaritmo del valor agregado neto; sin embargo, los costos de alimentación tuvieron un incremento positivo por cada unidad de logaritmo del valor agregado neto. Para los sistemas traspatio tecnificado, traspatio semi-intensivo y traspatio, el costo anual de la alimentación y el tamaño del conejar tuvieron diferencia significativa ($p < 0,05$), en tanto, el costo de instalaciones y el costo anual de mano de obra no tuvo diferencia significativa en los sistemas de producción de conejo. Sin embargo, aunque son a pequeña escala estos sistemas pueden ser más eficientes si aumentan su eficiencia energética, con el uso de una combinación de fertilizantes nitrogenados, uso de forraje, prácticas de manejo mejoradas, como lo indican para los sistemas de bovinos leche estudiados por Ledgard *et al.* (2003).

La hipótesis planteada en el análisis de frontera estocástica de que la producción de conejo es ineficiente, donde la varianza del error u_i es cero o con distribución simétrica se rechaza en el modelo general, traspatio tecnificado y traspatio, con lo cual existe evidencia de que la producción es eficiente. Sin embargo, para las unidades de producción tecnificadas y de traspatio semi-intensivo por el valor de la varianza del error u_i , no se rechaza la hipótesis de que las unidades de producción son ineficientes.

La eficiencia de producción promedio fue de 0.67 ± 0.02 en la muestra general de las unidades de producción de conejo. Los sistemas de producción más eficientes son el de traspatio (0.72 ± 0.04) y traspatio semi-intensivo (0.72 ± 0.03), con diferencia significativa con los sistemas tecnificado (0.69 ± 0.04) y traspatio tecnificado (0.55 ± 0.04).

En los factores que explican la eficiencia se encontró que en el sistema tecnificado las variables pertenencia a una organización y el tipo de mercado son significativas ($p < 0.05$). En el traspatio semi-intensivo la variable utilización de forrajes en la alimentación de los conejos fue la única que explicó la eficiencia ($p < 0.05$) y el resto de variables no tuvieron significancia. Para el traspatio tecnificado la eficiencia fue explicada por la escolaridad del productor ($p < 0.05$) y en el traspatio la eficiencia fue explicada por la utilización de forrajes y granos en la alimentación de los conejos ($p < 0.05$).

Cuadro 7. Modelo de frontera estocásticas de la producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala.

Variable	Modelo	Tecnificado	Traspatio	Traspatio	Traspatio
	General		Semi-Intensivo	Tecnificado	
	Estimador	Estimador	Estimador	Estimador	Estimador
	± e.e.	± e.e.	± e.e.	± e.e.	± e.e.
Modelo de frontera estocástica (Intercepto)	1.86±0.79	-0.93±20.61	1.72±12.42	-0.10±0.02	4.94±0.71
Costo de instalaciones (\$)	0.02±0.05	-0.13± 0.06 *	-0.08±0.10	0.16±0.19	-0.13±0.12
Costo anual de mano de obra (\$)	-0.06±0.08	-0.26± 0.11 *	0.02±0.10	0.25±0.20	0.04±0.04
Costo anual de la alimentación (\$)	0.66±0.06 ***	1.11± 0.16 ***	0.67±0.09 ***	0.74± 0.13 ***	0.23± 0.02 ***
Tamaño del conejar (Número de hembras y machos del pie de cría)	0.27± 0.08 ***	0.28± 0.12 *	0.21±0.10 *	-0.49± 0.21 *	0.65± 0.21 **
Sigma v	0.15±0.22	0.22± 0.04 ***	0.27±0.30	0.00	0.00
Sigma u	0.57±0.11 ***	0.00±25.76	0.01±15.42	0.57± 0.09 ***	0.33± 0.06 ***
AIC	71.38	11.06	20.06	18.28	-1.51
Criterio de Schwartz	87.79	15.01	29.13	23.94	3.84
Sigma	0.59	0.22	0.27	0.57	0.33
Lambda	3.78	0.00	0.05	54179322	31561949

Nivel de Significancia p < 0.05 (*); p < 0.01 (**); p < (***)

Cuadro 8. Factores explicativos de la ineficiencia de las unidades de producción de conejo en el valle de Puebla y Tlaxcala.

Variable	Modelo general	Tecnificado	Traspatio Semi-Intensivo	Traspatio Tecnificado	Traspatio
	Estimador ±e.e.	Estimador ±e.e.	Estimador ±e.e.	Estimador ±e.e.	Estimador ±e.e.
Intercepto	2.71±1.09*	1.91±4.13	2.85±1.15*	-2.66±3.28	3.48±1.91
Edad del productor (años)	-0.07±0.09	0.07±0.24	-0.04±0.11	0.36±0.22	-0.01±0.16
Escolaridad del productor (años)	0.05±0.09	-0.41±0.24	0.07±0.12	0.50±0.2*	-0.04±0.1
Experiencia en la crianza de conejos (años)	0.04±0.03	-0.09±0.09	0.06±0.08	-0.05±0.07	0.15±0.0***
Largo del ciclo de producción (días)	-0.43±0.2*	-0.09±0.72	-0.48±0.2*	0.18±0.65	-0.61±0.33
Asistencia técnica (no 0, 1 si)	-0.04±0.04	0.11±0.08	-0.07±0.06	-0.02±0.09	-0.04±0.06
Tipo de mercado (local, regional)	-0.07±0.07	0.17±0.08*	-0.17±0.13	-	-0.09±0.09
Autoabasto de conejos (no 0, 1 si)	0.03±0.04	-0.07±0.08	0.06±0.05	-0.14±0.09	0.03±0.05
Utiliza forrajes (no 0, 1 si)	0.13±0.04**	0.02±0.09	0.13±0.06*	0.15±0.09	0.20±0.06 ***
Utilizan grano (0, 1)	0.05±0.05	0.00	0.08±0.06	-0.03±0.11	-0.32±0.1***
Sigma	0.15±0.01***	0.09±0.02***	0.11±0.02***	0.14±0.02***	0.08±0.01***

Nivel de Significancia *p < 0.05, **p < 0.01; ***p < 0.001; los valores en cada columna corresponde al modelo general y para cada sistema

5.2.2. Indicadores de eco-eficiencia

Para los indicadores desarrollados por la United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) se menciona que tienen significancia en la contribución total de la empresa (unidad de producción) cuando la emisión es mayor al 1%. En el Cuadro 9 se muestran los indicadores de eco-eficiencia para la producción de conejo.

El sistema tecnificado tiene el mayor consumo de energía (2783 kWh/año) y agua (75 m³/año), así como las emisiones de contaminantes. Esto se relaciona con el mayor número de conejos y tamaño del conejar en el sistema tecnificado. Las aguas residuales emitidas por la limpieza de las instalaciones son desechadas en los patios de las casas con la consecuente contaminación de afluentes y mantos acuíferos.

En los gases de efecto invernadero que se emiten por la producción de conejo, se encuentra el metano (CH₄), el cual es mayor en el sistema de producción tecnificado (602.8 kg CH₄/año), con diferencia significativa ($p < 0.05$) con los otros tres sistemas. También, el Nitrógeno (N) emitido por las excretas de conejo fue mayor en los sistemas tecnificado (64726.2 kg/año), mientras que los otros sistemas no tuvieron diferencia.

Las emisiones de pentaóxido de difósforo (P₂O₅) y el óxido de potasio (K₂O), son mayores en el sistema tecnificado, con 755.3 y 37.6 kg/año, respectivamente. El contenido de las emisiones de gases de efecto invernadero en los sistemas de traspatio semi-intensivo y traspatio tecnificado no tuvieron diferencia significativa. En tanto, el sistema de traspatio es el que menos emisiones presenta y difiere del sistema de producción tecnificado (18.5 kg/año de P₂O₅ y 11.2 kg/año de K₂O).

Cuadro 9. Emisiones e indicadores de eco-eficiencia de la producción de conejo en el valle de Puebla y Tlaxcala.

	Tecnificado	Traspatio semi-intensivo	Traspatio tecnificado	Traspatio
Consumo total de energía (kWh/año)	2783 ^a	4983 ^a	1411 ^a	4383 ^a
Consumo de Agua (m ³ /año)	75.0 ^a	11.4 ^b	8.7 ^b	5 ^b
Emisión de Metano-CH ₄ (kg/año)	602.8 ^a	103.7 ^b	88.7 ^b	46.6 ^b
Emisión de Nitrógeno total-N (kg/año)	64726.2 ^a	1866.4 ^b	8794.4 ^b	4402.1 ^b
Emisión de P ₂ O ₅ (kg/año)	755.32 ^a	27.54 ^{ab}	28.44 ^{ab}	216.47 ^b
Emisión K ₂ O (kg/año)	37.55 ^a	120.66 ^{ab}	18.53 ^{ab}	11.17 ^b
INDICADORES DE ECO-EFICIENCIA				
Eco-eficiencia Uso del Agua (m ³ /)\$)	1.288 ^a	0.788 ^a	0.979 ^a	0.829 ^a
Eco-eficiencia Energéticos (kWh/\$)	0.0565 ^a	0.4241 ^a	0.1355 ^a	0.6131 ^a
ÍCCG Gasolina (kgCO _{2e} /\$)	0.01741 ^a	0.15184 ^a	0.06499 ^a	0.1772 ^a
ÍCCG Electricidad (kgCO _{2e} /\$)	0.00102 ^a	0.00198 ^a	0.00225 ^a	0.0004 ^a
Emisiones de Metano (kg CH ₄ /\$)	0.0068 ^a	0.0071 ^a	0.0096 ^a	0.0072 ^a
Emisiones N total (kg/\$)	0.0621 ^a	0.0608 ^a	0.0862 ^a	0.0631 ^a
Emisiones P ₂ O ₅ (kg/\$)	0.00097 ^a	0.00195 ^a	0.00343 ^a	0.00245 ^a
Emisiones K ₂ O (kg/\$)	0.0007 ^a	0.0014 ^a	0.0023 ^a	0.0017 ^a

Literales diferentes entre hileras indican diferencia significativa (p<0.05)

Siguiendo la normatividad de la UNCTAD, en el Cuadro 9 se observa que los indicadores de la eco-eficiencia, no son significativos entre sistemas de producción, aunque en el estudio el indicador de uso del agua en el sistema de producción tecnificado sobrepasa

el mínimo establecido (1.28) y el sistema de traspatio tecnificado es el más cercano al mínimo contable (0.97) del consumo, respecto al sistema de traspatio y traspatio semi-intensivo, los cuales presentan 0.83 y 0.79 de impacto, respectivamente.

El índice de eco-eficiencia de la energía es mayor en el sistema tecnificado (0.06), debido a su mayor valor agregado neto, contrario se observó en los sistemas de traspatio, lo que indican que se deben mejorar las prácticas agronómicas en los sistemas a pequeña escala, como lo señalaron para otras condiciones Carberry *et al* (2013). Con respecto a la contribución al calentamiento global de la gasolina (CCG CO₂ gasolina) su escaso uso hace que no tenga alto impacto ambiente, sin embargo, el sistema de producción de traspatio y traspatio semi-intensivo son menos eco-eficientes por usar más esta fuente de energía; por lo que la revisión del uso de estos recursos propondrán enfoques sólidos para elevar la eco-eficiencia, como fue señalado por Keating *et al.* (2010) para los sistemas agrícolas. En tanto, las emisiones de nitrógeno, metano, pentaóxido de difósforo y óxido potásico son escasas las emisiones que tienen los sistemas locales de producción de conejo.

VI. CONCLUSIONES

Con respecto a la hipótesis del trabajo “En las unidades de producción de conejos los factores socioeconómicos y ambientales determinan los sistemas y la eficiencia de producción en el Valle de Puebla y Tlaxcala”. Con base a esta hipótesis las conclusiones se establecen para cada uno de los objetivos específicos que se mencionan a continuación:

1. Para el primer objetivo específico “Caracterizar la producción de conejo a nivel familiar en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México”. Con los resultados del análisis de varianza de las bases de datos de las unidades de producción de conejos la hipótesis planteada “El sistema de producción de conejos está relacionado con el tipo de productor, parámetros reproductivos y el uso de insumos para la alimentación en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México”, no se rechaza. En la producción de conejos tienen escasa participación las mujeres y la ocupación principal del productor es la agricultura y el servicio. En la crianza existe escasa experiencia, participan los jóvenes y predominan los titulares de la unidad de producción con escolaridad de nivel medio. En la parte reproductiva y productiva en la crianza de conejos, esta actividad se ve favorecida por la prolificidad y tasa de crecimiento de la especie. Para la alimentación se utiliza alimento balanceado, sólo las granjas de menor tamaño utilizan granos y forrajes que se producen en las parcelas para la alimentación del conejo.

Por el perfil del productor, los parámetros productivos y tipo de insumos en la alimentación, la producción de conejos tiene diferente función en el sistema social del área de estudio, existen unidades de producción de traspatio con una escasa tecnología de manejo pero con importancia en el autoabasto de carne de conejo y la venta a nivel local. En el nivel más intensivo de producción se encontró al sistema tecnificado, que está más orientado al mercado y la generación de ingresos, en este sistema la crianza de conejos se convierte en la única fuente de

ingresos para el productor. Existen escalas intermedias de producción, que son también de traspatio pero con un uso diferenciado de tecnología.

2. En relación al segundo objetivo: "Identificar la influencia de los factores económicos, productivos y ambientales en la eficiencia de la producción de conejo en el Valle de Puebla y Tlaxcala, México". Con los resultados del modelo de frontera estocástica, ineficiencia y eco-eficiencia la hipótesis "El ingreso neto, el tipo de insumo en la alimentación y el manejo de desechos del sistema de producción de conejo explican la eficiencia del proceso de producción" no se rechaza. Para el modelo de frontera estocástica con el logaritmo del valor agregado neto de la producción de conejos en un año, como variable de respuesta, se encontró que el costo anual de alimentación y el valor de las instalaciones tuvieron efecto significativo en el modelo. Con estos análisis se determinó que los sistemas de producción más eficientes son el de traspatio y traspatio semi-intensivo. En la explicación de la ineficiencia la utilización de forrajes y granos tuvieron efecto significativo en el modelo. Para la eco-eficiencia el valor de los indicadores dependieron de la cantidad del valor agregado neto de la unidad de producción. Las explotaciones más eco-eficientes son las que menos utilizan insumos comerciales.

Como conclusión general, la hipótesis del trabajo no se rechaza. Los sistemas de producción de conejos en el Valle de Puebla y Tlaxcala tienen diferente nivel de productividad, eficiencia y eco-eficiencia. La aplicación de estos resultados en planes de desarrollo son básicos para promover a los sistemas que respondan a las demandas sociales, mejoren la eficiencia y también que promuevan la reducción de la emisión de contaminantes.

VII. LITERATURA CITADA

- Abín, R., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. 2018. Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. *Journal of Cleaner Production*, 179, 160-168.
- Aguilar, G. I. R., Ayala, E. E., Pérez, L. B., Castilla, H. A. S., & Molina, O. M. 2012. Competitividad del sistema agroalimentario localizado productor de carne de conejo de la zona sur oriente del estado de México. In 13er. Congreso Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaria. pp. 625. Consultado el 19 de junio de 2019. https://www.researchgate.net/profile/Octavio_Barrera-Perales/publication/273693452_13_Congreso_Socioeconomia_Ambiental_Pecuaria/links/5508934a0cf26ff55f836248/13-Congreso-Socioeconomia-Ambiental-Pecuaria.pdf
- Alfonso-Carrillo, C., García-Rebollar, P., De Blas, C., Ibáñez, M. A., & García-Ruiz, A. I. 2014. Effect of late weaning and use of alternative cages on performance of does, suckling and fattening rabbits under extensive reproductive management. *Livestock Science*, 167, 425-434.
- Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G. & Pearce, D. 1997. Harmonisation of environmental life cycle assessment for agriculture. Final Report, Concerted Action AIR3-CT94-2028. European Commission, DG VI Agriculture, 139.
- Aulbert, C., Greffard, B., Ammand, G., & Ponchant, P. 2010. La cría de conejos y su impacto ambiental: legislación y molestias. *Cunicultura*, 35(204), 42-49.
- Baños-González, I., Martínez-Fernández, J., & Esteve-Selma, M. Á. 2014. Simulación dinámica de sistemas socio-ecológicos: sostenibilidad en Reservas de la Biosfera. *Ecosistemas*, 22(3), 74-83.
- Barrera-Rodríguez, A. I., Jaramillo-Villanueva, J. L., Escobedo-Garrido, J. S., & Herrera-Cabrera, B. E. 2011. Rentabilidad y competitividad de los sistemas de producción de vainilla (*Vanilla planifolia* J.) en la región del Totonacapan, México. *Agrociencia*, 45(5), 625-638.

- Barrueta, H., & Bautista, E. 2002. Sistemas de producción cunicula en el Estado Táchira Venezuela. *Revista Científica*, XII(2), 422-424.
- Basset-Mens, C., Ledgard, S., & Boyes, M. 2009. Eco-efficiency of intensification scenarios for milk production in New Zealand. *Ecological Economics*, 68(6), 1615-1625.
- Becker, E. 2012. Social-ecological systems as epistemic objects. *Human-Nature Interactions in the Anthropocene: Potentials of Social-Ecological Systems Analysis*. London: Routledge. pp 37-59.
- Bengtsson, J., & Seddon, J. 2013. Cradle to retailer or quick service restaurant gate life cycle assessment of chicken products in Australia. *Journal of Cleaner Production*, 41, 291-300.
- Berre, D., Vayssières, J., Boussemart, J. P., Leleu, H., Tillard, E., & Lecomte, P. 2015. A methodology to explore the determinants of eco-efficiency by combining an agronomic whole-farm simulation model and efficient frontier. *Environmental Modelling & Software*, 71, 46-59.
- Birolo, M., Trocino, A., Zuffellato, A., & Xiccato, G. 2016. Effect of feed restriction programs and slaughter age on digestive efficiency, growth performance and body composition of growing rabbits. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 194-203.
- Blumetto, A. O. 2002. Nueva tecnología para la producción de conejos de carne. *Revista del Plan Agropecuario*, 102, 42-45.
- Bonfiglio, A., Arzeni, A., & Bodini, A. 2017. Assessing eco-efficiency of arable farms in rural areas. *Agricultural systems*, 151, 114-125.
- Brown, J. R., Kluck, D., McNutt, C., & Hayes, M. 2016. Assessing drought vulnerability using a socioecological framework. *Rangelands*, 38(4), 162-168.
- Brunner, S. H., & Grêt-Regamey, A. 2016. Policy strategies to foster the resilience of mountain social-ecological systems under uncertain global change. *Environmental Science & Policy*, 66, 129-139.
- Calvet, S., Estellés, F., Hermida, B., Blumetto, O., & Torres, A. G. 2008. Experimental balance to estimate efficiency in the use of nitrogen in rabbit breeding. *World Rabbit Science*, 16(4), 205-211.

- Carberry, P.S., W. Liang, S. Twomlow, D.P. Holzworth, J.P. Dimes, T. McClelland, N.I. Huth, F. Chen, Z. Hochman & Brian A. Keating. 2013. Scope for improved eco-efficiency varies among diverse cropping systems. *PNAS*, 110 (21) 8381–8386
- Capra, G. E., & Blumetto, O. 2014. Tecnología de producción de conejos para carne. Págs. 175. Consultado el 19 de junio de 2019. <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/3142/1/st-216-2014.pdf>
- Castellini, C., Dal Bosco, A., Arias-Álvarez, M., Lorenzo, P. L., Cardinali, R., & Rebollar, P. G. 2010. The main factors affecting the reproductive performance of rabbit does: a review. *Animal Reproduction Science*, 122(3-4), 174-182.
- Cesari, V., Zucali, M., Bava, L., Gislón, G., Tamburini, A., & Toschi, I. 2018. Environmental impact of rabbit meat: The effect of production efficiency. *Meat Science*, 145, 447-454.
- Chah, J. M., Uddin, I. O., Nnodim, W. E., & Ezeibe, A. B. C. 2017. Housing and Feed Management Practices among Rabbit Keepers in Enugu State, Nigeria. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 7(4), 81-87
- Chambers, R. 1994. The origins and practices of participatory rural appraisal. *World Development*, 22(7), 953-969.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.
- Coli, M., Nissi, E., & Rapposelli, A. 2011. Monitoring environmental efficiency: an application to Italian provinces. *Environmental Modelling & Software*, 26(1), 38-43.
- Cooper, W. W., Li, S., Seiford, L. M., Tone, K., Thrall, R. M., & Zhu, J. 2001. Sensitivity and stability analysis in DEA: some recent developments. *Journal of Productivity Analysis*, 15, 217-246.
- Corrent, E. 2003. Fotografía de la cunicultura en los países latinos. In XXVIII Symposium de cunicultura: 2, 3 y 4 de abril de 2003 Alcaniz (Teruel). Diputación General de Aragón. pp. 19-32.
- Costa, M. P., Schoeneboom, J. C., Oliveira, S. A., Viñas, R. S., & de Medeiros, G. A. 2018. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-

- livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1460-1471.
- Dal Bosco, A., Gerencsér, Z., Szendrő, Z., Mugnai, C., Cullere, M., Kovács, M., & Dalle Zotte, A. 2014. Effect of dietary supplementation of *Spirulina (Arthrospira platensis)* and Thyme (*Thymus vulgaris*) on rabbit meat appearance, oxidative stability and fatty acid profile during retail display. *Meat science*, 96(1), 114-119.
- De Blas, C., & Mateos, G. G. 2010. Feed Formulation. Nutrition of the rabbit. Edited by Carlos de Blas and Julian Wiseman. 2nd edition. pp 222-232.
- Edgar, J. L., & Mullan, S. M. 2011. Knowledge and attitudes of 52 UK pet rabbit owners at the point of sale. *Veterinary Record-English Edition*, 168(13), 353.
- Ehrenfeld, J. R. 2005. Ecoefficiency: Philosophy, Theory, and Tools. *Journal of Industrial Ecology*, 9(4), 6-8.
- El-Raffa, A. M. 2004. Rabbit production in hot climates. In *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress*. pp.1172-1180.
- Farley, J., & Voinov, A. 2016. Economics, socio-ecological resilience and ecosystem services. *Journal of Environmental Management*, 183, 389-398.
- Fernández, E. N., Martínez, R. D., Birchmeier, A., Ragab, M., & Baselga, M. 2019. Análisis de un programa de selección de larga duración en una línea maternal de conejos. *Veterinaria Argentina*, 32(323), 1-8.
- Gadanakis, Y., Bennett, R., Park, J., & Areal, F. J. 2015. Evaluating the sustainable intensification of arable farms. *Journal of Environmental Management*, 150, 288-298.
- García-Tomás, M., Sánchez, J., & Piles, M. 2009. Postnatal sexual development of testis and epididymis in the rabbit: Growth and maturity patterns of macroscopic and microscopic markers. *Theriogenology*, 71(2), 292-301.
- Gidenne, T., Garreau, H., Drouilhet, L., Aubert, C., & Maertens, L. 2017. Improving feed efficiency in rabbit production, a review on nutritional, technico-economical, genetic and environmental aspects. *Animal Feed Science and Technology*, 225, 109-122.

- Glaser, M., Ratter, B. M., Krause, G., & Welp, M. 2012. New approaches to the analysis of human–nature relations. *Human-Nature Interactions in the Anthropocene: Potentials of Social-Ecological Systems Analysis*. pp 1-12.
- González, O. A. P., Ayala, E. E., Pérez, L. B., & Vargas, A. C. 2012. La cunicultura familiar una herramienta para el desarrollo territorial. El caso de la región sur oriente del estado de México. In 13er. Congreso Nacional de Investigación Socioeconómica y Ambiental de la Producción Pecuaria. pp 619-624.
- González-García, S., Gomez-Fernández, Z., Dias, A. C., Feijoo, G., Moreira, M. T., & Arroja, L. 2014. Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study. *Journal of Cleaner Production*, 74, 125-134.
- Guo, P., & Tanaka, H. 2001. Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method. *Fuzzy Sets and Systems*, 119(1), 149-160.
- Gutiérrez, C. J. M., Martínez G., Ortiz C. T., 2000. Producción de carne de ovino en praderas de humedad residual en la zona templada de México. SAGAR-INIFAP. CIRCE. Campo experimental Valle de Toluca. Libro 2. Zinacatepec, Estado de México. pp. 148.
- Harcourt-Brown, F. M. 2017. Disorders of the reproductive tract of rabbits. *Veterinary Clinics: Exotic Animal Practice*, 20(2), 555-587.
- Heidari, M. D., Omid, M., & Akram, A. 2011. Using nonparametric analysis (DEA) for measuring technical efficiency in poultry farms. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, 13(4), 271-277.
- INEGI. 2016. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/mapas/topografia/>. Consultado el 17-sep-16.
- IPCC. 2007. 2.10.2 Direct Global Warming Potentials, en IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. Consultado el 19 de junio de 2019. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html
- Iribarren, D., Vázquez-Rowe, I., Moreira, M. T., & Feijoo, G. 2010. Further potentials in the joint implementation of life cycle assessment and data envelopment analysis. *Science of the Total Environment*, 408(22), 5265-5272.
- Iribarren, L. D. 2010. Life cycle assessment of mussel and turbot aquaculture: application and insights. Universidad de Santiago de Compostela. Págs. 264. Consultado el

https://minerva.usc.es/xmlui/bitstream/handle/10347/2812/9788498874204_content.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Jiménez-Ferrer, G., Velasco-Pérez, R., Uribe Gómez, M., & Soto-Pinto, L. 2008. Ganadería y conocimiento local de árboles y arbustos forrajeros de la selva Lacandona, Chiapas, México. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 333-337.
- Kale, P. C., Kitilit, J. K., & Kebeney, S. J. 2016. Rabbit production practices among smallholder farmers in Kenya. In *Fifth African Higher Education Week and RUFORUM Biennial Conference 2016, "Linking agricultural universities with civil society, the private sector, governments and other stakeholders in support of agricultural development in Africa, Cape Town", South Africa, 17-21 October 2016*. pp. 803-809.
- Keating, B.A., P.S. Carberry, P.S. Bindraban, S. Asseng, H. Meinke & J. Dixon. 2010. Eco-efficient Agriculture: Concepts, Challenges, and Opportunities. *Crop Sci.* 50:S-109–S-119.
- Knudsen, C., Combes, S., Briens, C., Coutelet, G., Duperray, J., Rebours, G., ... & Gidenne, T. 2014. Increasing the digestible energy intake under a restriction strategy improves the feed conversion ratio of the growing rabbit without negatively impacting the health status. *Livestock Science*, 169, 96-105.
- Kouchaki-Penchah, H., Nabavi-Pelesaraei, A., O'Dwyer, J., & Sharifi, M. 2017. Environmental management of tea production using joint of life cycle assessment and data envelopment analysis approaches. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 36(4), 1116-1122.
- Leal, J. 2005. Ecoeficiencia: marco de análisis, indicadores y experiencias. CEPAL - SERIE Medio Ambiente y Desarrollo, 105. Págs. 82.
- Ledgard, S.F., J.D. Finlayson, J. Gavin, M.B. Blackwell, R.A. Carran, M.E. Wedderburn & N.A. Jollands. 2003. Resource use efficiency and environmental emissions from an average Waikato dairy farm, and impacts of intensification using nitrogen fertiliser or maize silage. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 65: 185–189.

- Leinonen, I., Williams, A. G., & Kyriazakis, I. 2014. The effects of welfare-enhancing system changes on the environmental impacts of broiler and egg production. *Poultry Science*, 93(2), 256-266.
- López, J. E. y Pérez O. M. A. 2005. Crianza de conejos en un sistema de producción integral. *LEISA Revista Agroecologica*, 21(3), 11-13.
- Lukefahr, S. D. 2004. Sustainable and alternative systems of rabbit production. In Proc.: 8th World Rabbit Congress, Puebla, Mexico. pp. 7-10.
- Lukefahr, S. D., & Cheeke, P. R. 1991. Rabbit project development strategies in subsistence farming systems. *World Animal Review*, 68, 60-70.
- Luo, J., & Kelliher, F. 2014. Partitioning of animal excreta N into urine and dung and developing the N₂O inventory. Ministry for Primary Industries.
- Maertens, L., & Gidenne, T. 2016. Feed efficiency in rabbit production: nutritional, technico-economical and environmental aspects. In Proc. 11th World Rabbit Congress-Abstracts. pp. 15-18.
- Maiani, A. 1990. Las deyecciones del conejo: un fertilizante a valorar. *Cunicultura*, 15(87), 199-202.
- Malana, N. M., & Malano, H. M. 2006. Benchmarking productive efficiency of selected wheat areas in Pakistan and India using data envelopment analysis. *Irrigation and Drainage*, 55(4), 383-394.
- Martínez, F.; Becerril, P. C. M.; Pro, M. A.; García, D. G.; García, M. R. y Cuca G. M. 2004. Rabbit production in small rabbitries in Texcoco Mexico. *Proceedings 8th World Rabbit Congress*. pp 1208 -1210.
- Matics, Z., Szendrő, Z., Odermatt, M., Gerencsér, Z., Nagy, I., Radnai, I., & Dalle Zotte, A. 2014. Effect of housing conditions on production, carcass and meat quality traits of growing rabbits. *Meat Science*, 96(1), 41-46.
- Meeusen, W. y J. van den Broeck 1977. Efficiency estimation from cobb-douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18 (2): 435–444.
- Mekasha, Y., Tegegne A., Yami A., Umunna N. N., 2001. Evaluation of non-conventional agro-industrial by-products as supplementary feeds for ruminants: In vitro and metabolism study with sheep. *Small Ruminant Research*, 44, 25-35.

- Mendoza, B. 2001. Situación de la cunicultura en México. Ciclo internacional de conferencias en cunicultura empresarial. UACH.
- Mohamad, R. S., Cardone, G., Mimiola, G., Tittarelli, F., Al Bitar, L., & Ceglie, F. G. 2017. Analysis of Mediterranean organic greenhouse production economics and the impact of introducing agro-ecological practices. *Biological Agriculture and Horticulture*, 34(3), 154-172
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Dalgaard, T., Knudsen, M. T., & Hermansen, J. E. 2015. Joint Life Cycle Assessment and Data Envelopment Analysis for the benchmarking of environmental impacts in rice paddy production. *Journal of Cleaner Production*, 106, 521-532.
- Morehouse, B. J., Ferguson, D. B., Owen, G., Browning-Aiken, A., Wong-Gonzalez, P., Pineda, N., & Varady, R. 2008. Science and socio-ecological resilience: examples from the Arizona-Sonora Border. *Environmental Science & Policy*, 11(3), 272-284.
- Morton, D., Verga, M., Blasco, A., Cavani, C., Gavazza, A., Maertens, L., & Szendro, Z. 2005. The impact of the current housing and husbandry systems on the health and welfare of farmed domestic rabbits. Consultado el 19 de junio de 2019. <http://www.asfc-lapin.com/Docs/Activite/T-ronde-2011/Fichiers-pdf/Rapport-EFSA.pdf>
- Müller, K., & Sturm, A. 2001. Standardized eco-efficiency indicators. Consultado el 19 de junio de 2019. http://www.kaspar-mueller.ch/downloads/pdf/EcoEfficiency_Indicators_e.pdf
- Nicodemus, N. 2018. Nutrición del conejo. *Boletín de Cunicultura*, ISSN 1696-6074, N° 140, 2005. Pág. 42-53.
- Olivares, P. R., Gómez C. M. Á., Schwentesius R. R., & Carrera C. B. 2009. Alternativas a la producción y mercadeo para la carne de conejo en Tlaxcala, México. *Región y Sociedad*, 21(46), 191-207.
- Oseni, S. O., & Lukefahr, S. D. 2014. Rabbit production in low-input systems in Africa: situation, knowledge and perspectives—A review. In *World Rabbit Science*, 22(2), 147-160.
- Oseni, S.O., Ajayi B.A., Komolafe S.O., Siyanbola O., Ishola M., Madamidola G. 2008. Smallholder rabbit production in southwestern Nigeria: current status, emerging

issues and ways forward. in 9 th World Rabbit Congress – June 10-13, 2008 – Verona – Italy. Consultado el 19 de junio de 2019. <http://eprints.lmu.edu.ng/300/2/Journal%20Ajayi%208%20M-Oseni3.pdf>

- Pacheco, G. O. A., & Espinosa A. E. 2012. La cunicultura familiar una herramienta para el desarrollo territorial: el caso de la región suroriente del estado de México. Págs. 62.
- Payandeh, Z., Kheiralipour, K., Karimi, M., & Khoshnevisan, B. 2017. Joint data envelopment analysis and life cycle assessment for environmental impact reduction in broiler production systems. *Energy*, 127, 768-774.
- Peiretti, P. G., Gai, F., Rotolo, L., Brugiapaglia, A., & Gasco, L. 2013. Effects of tomato pomace supplementation on carcass characteristics and meat quality of fattening rabbits. *Meat Science*, 95(2), 345-351.
- Pelletier, N. 2008. Environmental performance in the US broiler poultry sector: Life cycle energy use and greenhouse gas, ozone depleting, acidifying and eutrophying emissions. *Agricultural Systems*, 98(2), 67-73.
- Pelletier, N., Ibarburu, M., & Xin, H. 2014. Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010. *Poultry Science*, 93(2), 241-255.
- Petrosillo, I., Zaccarelli, N., & Zurlini, G. 2010. Multi-scale vulnerability of natural capital in a panarchy of social–ecological landscapes. *Ecological Complexity*, 7(3), 359-367.
- Peyraud, J. L., & Astigarraga, L. 1998. Review of the effect of nitrogen fertilization on the chemical composition, intake, digestion and nutritive value of fresh herbage: consequences on animal nutrition and N balance. *Animal Feed Science and Technology*, 72(3-4), 235-259.
- Pla, M. 2008. A comparison of the carcass traits and meat quality of conventionally and organically produced rabbits. Institute for Animal Science and Technology, Polytechnic University of Valencia, Camino de Vera. ELSEVIER. *Livestock Science*, 115, 1-12.
- Puig Vidal, R. 2007. El análisis de ciclo de vida (LCA): herramienta de gestión ambiental.

- Rebollar, P. G., Pérez-Cabal, M. A., Pereda, N., Lorenzo, P. L., Arias-Álvarez, M., & García-Rebollar, P. 2009. Effects of parity order and reproductive management on the efficiency of rabbit productive systems. *Livestock Science*, 121(2-3), 227-233.
- RENE, 2015. Guía de usuario: Registro Nacional de Emisiones para el reporte de emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero de 2015. SEMARNAT. Consultado el 19 de junio de 2019. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/17188/2015_09_15_GUIA_RENE.pdf
- Ríos-Núñez, S. M., Coq-Huelva, D., & García-Trujillo, R. 2013. The Spanish livestock model: A coevolutionary analysis. *Ecological Economics*, 93, 342-350.
- Rivera Enríquez, M. J., Zarazúa, S., Martín, G., & Hernández Alvarado, M. J. 2016. El diseño estratégico aplicado a la gestión de residuos en granjas cunícolas. 21° Encuentro Nacional sobre Desarrollo Regional en México. Mérida, Yucatán del 15 al 18 de noviembre de 2016
- Rivera, J., López, M., Losada, H., Soriano, R., Arias, L., & Cortés, J. 2005. Backyard rabbit production as a sustainability system in the urban and peri-urban area of Xochimilco Region. In *Proceedings of the 8th World Rabbit Congress*, September 7-10, 2004, Pueblo, Mexico. World Rabbit Science Association (WRSA). pp. 1488-1494.
- Rybczewska-Błazejowska, M., & Masternak-Janus, A. (2018). Eco-efficiency assessment of Polish regions: Joint application of life cycle assessment and data envelopment analysis. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1180-1192.
- Salas-Zapata, W. A., Ríos-Osorio, L. A., & Castillo, Á. D. (2012). Marco conceptual para entender la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos. *Ecología Austral*, 22(1), 74-79.
- Sánchez Escobar, F. (2015). *Sistemas complejos: una aplicación para el análisis de los balances energéticos y económicos en el agrosistema de olivar de Estepa*. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla. Págs. 574.
- Scheel, H. (2001). Undesirable outputs in efficiency valuations. *European Journal of Operational Research*, 132(2), 400-410.

- SEDEMA, Secretaría del Medio Ambiente Gobierno del Distrito Federal. 2013. registró de emisiones de gases de efecto invernadero del Distrito Federal 2012. Primera edición. Consultado el 19 de junio de 2019. www.sedema.df.gob.mx/inventario_emisiones
- SENER, 2010. Cálculo de factores de conversión y calculadora energética ECOURBANO. Consultado el 19 de junio de 2019. http://www.ecourbano.es/calculadora_energetica.asp
- Serem, J. K., Wanyoike, M. M., Gachuiru, C. K., Mailu, S. K., Gathumbi, P. K., Mwanza, R. N., ... & Borter, D. K. 2013. Characterization of rabbit production systems in Kenya. *Journal of Agricultural Science and Applications*, 2(3), 155-159
- SiMoNoVá, M. P., Chrastinová, L., MoJto, J., Laukova, A., Szabóová, R., & Rafay, J. 2010. Quality of rabbit meat and phyto-additives. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(3), 161-167.
- Sturm, A. 2004. *A Manual for the Preparers and Users of Eco-efficiency Indicators*. United Nations Publications. Págs. 112.
- Suárez, V. L. 2016. Fomentan consumo de carne de conejo; alternativa para productores. Periódico, Regional Puebla. Consultado el 19 de junio de 2019 <http://www.regionalpuebla.mx/corredor-san-martin-texmelucan>
- Szendrő, Z., & D. Zotte, A. 2011. Effect of housing conditions on production and behaviour of growing meat rabbits: A review. *Livestock Science*, 137(1), 296-303.
- Szendrő, Z., & McNitt, J. I. 2012. Housing of rabbit does: group and individual systems: a review. *Livestock Science*, 150(1-3), 1-10.
- Tazzoli, M., Trocino, A., Birolo, M., Radaelli, G., & Xiccato, G. 2015. Optimizing feed efficiency and nitrogen excretion in growing rabbits by increasing dietary energy with high-starch, high-soluble fibre, low-insoluble fibre supply at low protein levels. *Livestock Science*, 172, 59-68.
- Toledo, J. B., Furlan, A. C., Pozza, P. C., Carraro, J., Moresco, G., Ferreira, S. L., & Gallego, A. G. 2014. Reduction of the crude protein content of diets supplemented with essential amino acids for piglets weighing 15 to 30 kilograms. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 43(6), 301-309.

- Undi, M., Kawonga, K. C., & Musendo, R. M. 2001. Nutritive value of maize stover/pasture legume mixtures as dry season supplementation for sheep. *Small Ruminant Research*, 40(3), 261-267.
- Varnero, M. 2011. Manual de biogás. FAO. Santiago, Chile. Consultado el 19 de junio de 2019. <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Vázquez-Rowe, I., Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. 2010. Combined application of life cycle assessment and data envelopment analysis as a methodological approach for the assessment of fisheries. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(3), 272-283.
- Vázquez-Rowe, I., Villanueva-Rey, P., Iribarren, D., Moreira, M. T., & Feijoo, G. 2012. Joint life cycle assessment and data envelopment analysis of grape production for vinification in the Rías Baixas appellation (NW Spain). *Journal of Cleaner Production*, 27, 92-102.
- Wells, D., 2001. Total energy indicators of agricultural sustainability: dairy farming case study. Technical Paper 2001/3. Ministry of Agriculture and Forestry, Wellington. Consultado el 19 de junio de 2019. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=99E1D5A34DE5078A936AFDF1B5C2C7FD?doi=10.1.1.15.692&rep=rep1&type=pdf>
- Xiccato, G., & Trocino, A. 2007. Italia, un sistema de producción cunícola integrada. In XXXII Symposium de Asescu. Asociación Española de Cunicultura (ASESCU). pp. 175-184.
- Xiccato, G., Trocino, A., Sartori, A., y Queaque, P. I. 2004. El efecto del orden de paridad y la edad de destete de la camada en el rendimiento y el balance de energía corporal del conejo lo hace. *Ciencia de la Producción Ganadera*, 85 (2-3), 239-251.
- Xiccato, G., y Trocino, A. 2010. Alimentación y consumo de energía en conejos y consecuencias en la eficiencia global de la granja. En Proc.: 6ta Conferencia Internacional sobre Producción de Conejos en Climas Calientes. pp. 1-4.
- Zhang, B., Bi, J., Fan, Z., Yuan, Z., & Ge, J. 2008. Eco-efficiency analysis of industrial system in China: a data envelopment analysis approach. *Ecological Economics*, 68(1), 306-316.