



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

**CENTRO ACADÉMICO Y DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS,
SOCIALES Y TECNOLÓGICAS DE LA AGROINDUSTRIA Y LA
AGRICULTURA MUNDIAL**

EL SECTOR LÁCTEO EN VERACRUZ, MÉXICO: UN ANÁLISIS SISTÉMICO Y ESTRATÉGICO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE

TESIS

Que como requisito parcial

para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN PROBLEMAS ECONÓMICO

AGROINDUSTRIALES

Presenta:

MARIO ANTONIO HERNANDEZ VELASQUEZ

Bajo la supervisión de:

DIRECTOR: FERNANDO CERVANTES ESCOTO, DOCTOR

CODIRECTORA: ANGÉLICA ESPINOZA ORTEGA, DOCTORA



Chapingo, Estado de México, febrero 2026



**EL SECTOR LÁCTEO EN VERACRUZ, MÉXICO: UN ANÁLISIS SISTÉMICO Y
ESTRATÉGICO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE**

Tesis realizada por **Mario Antonio Hernandez Velasquez**, bajo la dirección del
Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial
para obtener el grado de:

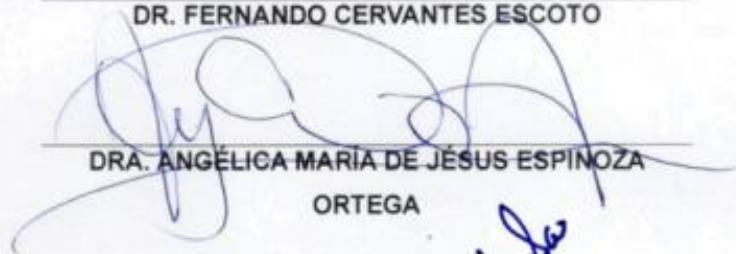
DOCTOR EN CIENCIAS EN PROBLEMAS ECONÓMICO AGROINDUSTRIALES

DIRECTOR



DR. FERNANDO CERVANTES ESCOTO

CODIRECTORA



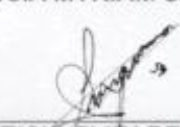
DRA. ANGÉLICA MARIA DE JESUS ESPINOZA
ORTEGA

ASESOR



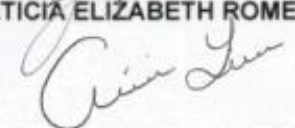
DRA. LETICIA MYRIAM SAGARNAGA VILLEGAS

ASESOR



DRA. LETICIA ELIZABETH ROMERO GARCÍA

LECTOR EXTERNO



DRA. AMÉRICA LINA PATIÑO DELGADO

CONTENIDO

LISTA DE CUADROS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
RESUMEN GENERAL	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo general	8
1.2.2 Objetivos específicos	8
1.3 Preguntas de investigación	9
1.4 Hipótesis	9
1.5 Estructura de la tesis	10
1.6 Literatura citada	12
2 MARCO TÉORICO – CONCEPTUAL	18
2.1 Teoría general de sistemas	18
2.2 Teoría de la complejidad	21
2.3 Teoría de los sistemas complejos	22
2.4 Pensamiento sistémico	20

2.5	Dinámica de los sistemas alimentarios.....	31
2.6	Metodologías para el análisis de sistemas alimentarios	32
2.7	Diagramas de bucles causales y arquetipos sistémicos.....	25
2.8	Literatura citada	37
3	ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN VERACRUZ: UN ENFOQUE DESDE LA ESTRATEGIA DE ACOMPañAMIENTO TÉCNICO (EAT).....	41
3.1	Introducción	43
3.2	Materiales y métodos.....	46
3.2.1	Área de estudio	46
3.2.2	Origen de los datos	46
3.2.3	Clasificación de los sistemas.....	49
3.2.4	Validación del agrupamiento y representación gráfica	49
3.2.5	Análisis estadístico	50
3.3	Resultados y discusión	50
3.3.1	Análisis de clúster.....	51
3.3.2	Análisis canónico discriminante.....	52
3.3.3	Dimensión social	54
3.3.4	Dimensión económica	56
3.3.5	Dimensión productiva	59
3.3.6	Dimensión técnica	63
3.4	Conclusiones	67
3.5	Agradecimientos.....	68

3.6	Literatura citada	68
4	DESAFÍOS DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN LA REGIÓN CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO: UN ENFOQUE SISTÉMICO.....	78
4.1	Introducción	80
4.2	Materiales y métodos.....	82
4.2.1	Recopilación de información	82
4.2.2	Análisis de datos	84
4.3	Resultados y discusión	86
4.3.1	Estructuras causales del sistema: bucles y dinámicas internas ..	88
4.4	Conclusiones	102
4.5	Agradecimientos	103
4.6	Literatura citada	103
5	CONCLUSIONES GENERALES	109

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Variables utilizadas en el agrupamiento (n=140) de productores de leche en la región centro de Veracruz, México	51
Cuadro 2. Matriz de estructuras el análisis canónico discriminante.....	52
Cuadro 3. Valores promedio ($\pm$ error estándar) de indicadores de la dimensión social de productores de leche de la región centro de Veracruz, México	55
Cuadro 4. Valores promedio ($\pm$ error estándar) de indicadores de la dimensión económica de productores de leche de la región centro de Veracruz, México .	57
Cuadro 5. Valores promedio ($\pm$ error estándar) de indicadores de la dimensión productiva de productores de leche de la región centro de Veracruz, México ..	59
Cuadro 6. Valores promedio ($\pm$ error estándar) de indicadores de la dimensión técnica de productores de leche de la región centro de Veracruz, México	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la tesis	11
Figura 2. Componentes y relaciones dentro del sistema alimentario	28
Figura 3. Vinculación entre producción de alimentos, sistemas alimentarios y calidad de los productos	30
Figura 4. Dendograma de las UPP bovino-leche de la región centro de Veracruz, México	51
Figura 5. Distribución de las 140 UPP bovino-leche de la región centro de Veracruz, México, analizadas mediante análisis discriminante.....	54
Figura 6. Ubicación de los municipios seleccionados Fuente: Elaboración propia	83
Figura 7. Bucle causal: disponibilidad de alimento, arquetipo de límite al crecimiento.....	85
Figura 8. Diagrama de bucles causales en la cadena de valor de productos lácteos en la región centro de Veracruz, México	87
Figura 9. Bucle 1: Integración a centros de acopio (éxito para los exitosos)	88
Figura 10. Bucle 2: Productividad y tecnificación (éxito para los exitosos)	90
Figura 11. Factores determinantes de la rentabilidad en la producción de leche en el centro de Veracruz	92
Figura 12. Bucle 3 – Infraestructura de transporte (límite al crecimiento).....	94
Figura 13. Factores determinantes de la cantidad de Unidades de Producción Pecuaria (UPP).....	95
Figura 14. Bucle 4 – Escasez hídrica y costos (límite al crecimiento).....	97
Figura 15. Bucle 5 – Importaciones y demanda (desplazamiento de la carga). 99	
Figura 16. Impactos de la importación de leche en polvo	100

DEDICATORIAS

A mis padres, por el apoyo constante, la confianza y los valores que han guiado cada una de mis decisiones.

A mis hermanos, por su compañía, aliento y presencia a lo largo de este camino.

A mi familia, por ser raíz, sostén y motivación en los momentos de mayor exigencia personal y académica.

Y a mi esposa, por haber compartido conmigo una etapa importante de este proceso; por lo vivido, lo aprendido, el apoyo brindado y todos los aportes para ayudarme a ser mejor persona.

Finalmente, a mis compañeros y amigos del CIESTAAM, que a lo largo de cuatro años compartimos buenos momentos, risas y aprendizajes. Que la vida recompense su esfuerzo también.

Este trabajo es reflejo de un camino construido con esfuerzo, disciplina y cambios profundos, y que hoy finalmente se concreta como un logro académico y personal.

A veces, la vida recompensa de maneras que aún no termino de comprender. . .

Con todo mi afecto,

Mario

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a Dios y a la vida, por todos los buenos momentos. Por permitirme llegar a este punto culminante de mi formación académica.

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Centro Académico y de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), por la oportunidad de tener una educación de calidad y por todo lo brindado en mi proceso de formación.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo financiero otorgado para el desarrollo de mis estudios de posgrado.

Al Dr. Fernando Cervantes Escoto, por su amistad y valiosos aportes, tiempo y consejos para el desarrollo de la investigación. Un abrazo fraterno.

A la Dra. Angélica Espinoza Ortega, por sus observaciones puntuales y contribuciones al fortalecimiento del documento.

A la Dra. Leticia Myriam Sagarnaga Villegas, por su atención, asesoría y aportes durante toda mi estancia en el CIESTAAM.

A la Dra. Leticia Elizabeth Romero García, por su dedicación, acompañamiento y rigurosa revisión de los avances de este trabajo.

A la Dra. América Lina Patiño Delgado, por sus comentarios y participación como lector externo de esta tesis doctoral.

DATOS BIOGRÁFICOS

Mario Antonio Hernández Velásquez nació en San Pedro Tapanatepec, Oaxaca, el 17 de agosto de 1995. Concluyó sus estudios universitarios en el año 2017, obteniendo el título de Ingeniero Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo (cédula profesional 11522310). Posteriormente, cursó la Maestría en Ciencias en Estrategia Agroempresarial en el Centro Académico y de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), donde se graduó con mención honorífica en 2021 (cédula profesional 12797780).



En el ámbito de la investigación, ha colaborado en los proyectos “Rescate y valorización de los quesos artesanales en México”, durante los años 2023 y 2024, contribuyendo al fortalecimiento del sector lácteo y la mejora de los sistemas productivos rurales a través del análisis socioeconómico y agroindustrial.

Su experiencia profesional incluye actividades como asesor en la Estrategia de Acompañamiento Técnico en leche del Programa Producción para el Bienestar, brindando asistencia técnica y acompañamiento a productores en Oaxaca, Veracruz y Puebla. Ha diseñado e impartido cursos y talleres de elaboración de derivados lácteos y formación de proyectos, orientados a la modernización y competitividad de pequeñas y medianas queserías.

Ha participado como ponente en diversos congresos nacionales e internacionales de ciencias agronómicas, presentando trabajos relacionados con la valorización de la leche, los modelos de negocio en queserías tradicionales y los costos de producción en unidades lecheras. Su producción académica incluye un capítulo de libro y un artículo científico arbitrado, además de colaborar como revisor de publicaciones especializadas en temas agroindustriales.

RESUMEN GENERAL

EL SECTOR LÁCTEO EN VERACRUZ, MÉXICO: UN ANÁLISIS SISTÉMICO Y ESTRATÉGICO DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE¹

Los sistemas alimentarios son complejos y están en constante cambio, por lo que su estudio requiere enfoques integrales que favorezcan su sostenibilidad. En México, la producción de leche es fundamental para la seguridad alimentaria y la economía rural; sin embargo, presenta grandes contrastes en tecnología, productividad, organización y condiciones socioeconómicas. Esto limita el posible impacto de las políticas públicas, particularmente en la región centro de Veracruz, donde los sistemas lecheros enfrentan baja tecnificación, escasa infraestructura, dificultades para la comercialización y limitaciones en los recursos disponibles. El objetivo de esta investigación es analizar la dinámica del sistema alimentario lácteo regional desde la perspectiva de los sistemas complejos, con el fin de generar herramientas metodológicas que contribuyan al diseño de políticas públicas sensibles a la interdependencia y la no linealidad del sistema. Para ello, se caracterizaron las unidades de producción de leche beneficiarias de la Estrategia de Acompañamiento Técnico del Programa Producción para el Bienestar, utilizando estadística multivariada (clúster y discriminante), así como un análisis sistémico, sustentado en la identificación de bucles causales, dinámicas internas y arquetipos del sistema. Los resultados permitieron distinguir tres tipos de sistema productivo: i) especializado, ii) semiespecializado y iii) extensivo; con diferencias significativas en eficiencia y adopción tecnológica. Asimismo, se identificaron factores críticos como la disponibilidad de forrajes, la integración a centros de acopio, la calidad de la infraestructura y la dependencia de insumos importados. Se concluye que las políticas diferenciadas, la organización de los productores, la tecnificación pertinente y la mejora de la infraestructura son elementos clave para fortalecer la competitividad y la resiliencia del sector en la región. Este estudio aporta un enfoque sistémico poco explorado en el análisis de la lechería mexicana, integrando herramientas de análisis cualitativo y cuantitativo que permiten entender mejor la complejidad estructural y funcional del sistema lácteo regional.

Palabras clave: Sistema alimentario lácteo, sistemas complejos, producción de leche, pensamiento sistémico, análisis multivariado, desarrollo rural

¹Tesis de Doctorado en Ciencias en Problemas Económico-Agroindustriales, Centro Académico y de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), Universidad Autónoma Chapingo

Autor: Mario Antonio Hernandez Velasquez

Director de tesis: Dr. Fernando Cervantes Escoto

Codirectora: Dra. Angélica Espinoza Ortega

ABSTRACT

THE DAIRY SECTOR IN VERACRUZ, MEXICO: A SYSTEMIC AND STRATEGIC ANALYSIS OF MILK PRODUCTION²

Food systems are complex and constantly changing; therefore, studying them requires a comprehensive approach that promotes their sustainability. In Mexico, for example, milk production is fundamental to food security and the rural economy. However, significant contrasts exist in terms of technology, productivity, organization and socioeconomic conditions. This limits the potential impact of public policies, particularly in the central region of Veracruz, where dairy systems face low levels of technological advancement, poor/insufficient/lack of infrastructure, difficulties for commercialization and limitations in the availability of resources. This research aims to analyze the dynamics of the regional dairy food system from a complex systems perspective, so that methodological tools can be generated to design public policies sensitive to the system's interdependence and non-linearity. To this end, the milk production units that benefited from the Technical Support Strategy of the Production for Welfare Program were characterized using multivariate statistics (clustering and discriminant analysis), as well as a systemic analysis based on identifying causal loops, internal dynamics and system archetypes. The results allowed us to identify three types of production systems, characterized by their significant differences in efficiency and technology adoption: i) specialized; ii) semi-specialized; and iii) extensive. Critical factors were also identified, including the availability of fodder, integration with collection centers, quality of the infrastructure, and dependence on imported inputs/supplies. It is concluded that differentiated policies, organization of producers, relevant technification and improvement of infrastructure are key elements to strengthen the competitiveness and resilience of the sector in the region. This study provides a systemic approach to the analysis of the Mexican dairy farming, a theme that has received little attention to date, by integrating qualitative and quantitative analysis tools to provide a better understanding of the structural and functional complexity of the regional dairy system.

Keywords: Dairy food system, complex systems, milk production, systems thinking, multivariate analysis, rural development

² Doctoral thesis of Science in Agroindustrial Economic Problems, Centro Académico y de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM), Universidad Autónoma Chapingo

Author: Mario Antonio Hernández Velásquez

Supervisor: Dr. Fernando Cervantes Escoto

Co-supervisor Dra. Angélica Espinoza Ortega

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

En los sistemas agrícolas y alimentarios del mundo, los formuladores de políticas y la población mundial enfrentan una serie de desafíos que van desde los riesgos asociados con el cambio climático, la volatilidad de precios internacionales y las tensiones económicas y sociales que afectan tanto la producción primaria como el acceso a los alimentos (Haynes & Alemna, 2022; Sandhu, 2021). A pesar de ellos, los sistemas alimentarios tienen el potencial de proporcionar alimentos nutritivos, contribuir con la salud humana y apoyar la sostenibilidad ambiental, aspectos que son fundamentales para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Willett et al., 2019).

Generar y proveer alimentos a una población mundial en crecimiento mediante sistemas alimentarios sostenibles es un desafío inmediato. La cuestión es si hoy en día los sistemas alimentarios y la agricultura son capaces de satisfacer las necesidades de una población mundial que, según las proyecciones, superará los 9 000 millones para mediados de siglo. En este contexto, en los últimos años se ha reconocido a los sistemas alimentarios como ejes principales para lograr el desarrollo sostenible. En particular, el Objetivo del Desarrollo Sostenible (ODS) dos. “Hambre cero”, establece como una meta, lograr duplicar los ingresos y la productividad de los pequeños productores de alimentos (Stefanovic et al., 2020).

Por lo anterior, surge una duda fundamental ¿se pueden lograr los aumentos de producción requeridos, incluso cuando se intensifican las presiones sobre los ya escasos recursos de tierra y agua y los impactos negativos del cambio climático?

La opinión de consenso es que los sistemas actuales probablemente sean capaces de producir suficientes alimentos; sin embargo, estos necesitan hacerlo de manera inclusiva y sostenible (FAO, 2017). Aunque el concepto de sistemas alimentarios no es nuevo, su interpretación y representación han ido evolucionando a lo largo del tiempo, cada vez con un mayor énfasis en la producción sostenible. Tradicionalmente, los sistemas alimentarios se han entendido como un conjunto de actividades “de la granja a la mesa”, lo que lo equipara a la cadena de suministro o cadena de valor (Stefanovic et al., 2020). No obstante, en la actualidad, ésta es solo una parte del “sistema”, ya que este también incluye factores sociales, ambientales, institucionales, económicos y territoriales.

Dentro de estos sistemas se encuentra el vinculado con la producción de leche, una de las actividades agropecuarias más relevantes a nivel global. Se estima que más de 150 millones de hogares participan en ella, principalmente en países en desarrollo, donde la lechería familiar representa una de las fuentes más importantes de ingresos y, además contribuyen a la seguridad alimentaria (FAO, 2023; Marín-Santana et al., 2023). Otro aspecto significativo de esta actividad es su capacidad para generar ingresos de circulación rápida, lo que la convierte en una fuente importante de liquidez (Gómez-Miranda et al., 2022). Sin embargo, el crecimiento mundial de este sector se estima en alrededor del 54 % durante las últimas dos décadas, debido principalmente a la expansión del hato, más que a mejoras en la productividad (Barkema et al., 2015; FAO, 2023).

En México, la producción lechera alcanzó un volumen estimado de 13.55 mil millones de litros en 2024 (SIAP, 2025). El país alberga cuatro sistemas de producción predominantes: especializado, semiespecializado, lechería familiar y de doble propósito. Esta distribución refleja una notable heterogeneidad productiva (Cuevas-Reyes et al., 2016). Aunque entidades como Jalisco, Coahuila y Durango concentran unidades intensivas, altamente tecnificadas, en el sur del país, específicamente en Veracruz, se observa una estructura diversa y estratégica dentro del sector.

En 2024, este estado aportó alrededor de 820 millones de litros, lo que representó el 6 % de la producción nacional (SIAP, 2025).

La región centro de la entidad, se caracteriza por una dinámica productiva particular: aunque solo concentra el 4% del inventario estatal de ganado lechero especializado, genera alrededor del 18% del volumen total producido (INEGI, 2023). Esta eficiencia relativa está asociada a un mosaico de razas, entre ellas Holstein, Jersey, Cebú y razas adaptadas al trópico como Brangus y Simmental (Vilaboa-Arroniz et al., 2009), así como a la coexistencia de prácticas intensivas y extensivas.

A pesar de su importancia económica y social, este sector enfrenta desafíos complejos, tales como bajos precios de venta, competencia con las importaciones de leche en polvo, degradación de las praderas, baja productividad, entre otros (Camacho-Vera et al., 2017; Sánchez et al., 2020; Sarabia-Salgado et al., 2023). Estos problemas se intensifican debido a la escasez de recursos hídricos, la desigualdad en el acceso a tecnología, la variabilidad en la calidad del forraje y la degradación ambiental (Álvarez Macías et al., 2024; Vargas-Bello-Pérez et al., 2024; Villavicencio-Gutiérrez et al., 2023).

Estos desafíos no son independientes entre sí, sino que poseen una naturaleza interconectada y sistémica, es decir, dependen de múltiples variables, lo que evidencia su complejidad. Algunas características son: retroalimentación, no linealidad y adaptación; elementos que no pueden comprenderse plenamente desde enfoques analíticos lineales y tradicionales. Por ello, el estudio desde la teoría de sistemas complejos, que incluye herramientas como los Diagramas de Bucles Causales (DBC), se presenta como un camino metodológico sólido para entender sus dinámicas internas, identificar cuellos de botella y proponer estrategias de intervención (Mackay-Smith et al., 2024; Rozhkov et al., 2025).

1.1 Planteamiento del problema

El sistema alimentario mexicano presenta múltiples problemáticas, desde la producción hasta la distribución y elección de alimentos por los consumidores. Este hecho ha sido abordado por diferentes organizaciones, las cuales enfatizan que la falta de estructuras para el flujo de información y/o retroalimentación entre los actores del sistema causa problemas (FAO, 2019). Gran parte de estos, están vinculados con la falta de acceso al mercado teniendo como principales causas la dificultad en la comercialización, falta de transporte y/o almacenamiento, carencia de información sobre los precios de los productos, y la desorganización de la producción.

Por otra parte, la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA) realizada por el INEGI, sostiene que las principales problemáticas observadas en el sector agropecuario, durante el ejercicio 2019 son: altos costos de insumos y servicios, dificultad para la comercialización debido a los precios bajos, falta de capacitación y asistencia técnica, pérdida de fertilidad del suelo y dificultad para la comercialización debido al excesivo intermediarismo, que reduce los márgenes de ganancia para los productores. Estos factores interactúan de forma compleja y generan un entorno productivo altamente vulnerable.

Dentro de este contexto, el sector lechero mexicano constituye un caso representativo de dichas tensiones estructurales. De acuerdo con Álvarez et al. (2024) el Sistema Productivo de Lácteos (SPL) en México posee un peso económico y social considerable, debido a que la leche es un alimento básico para la población y se vincula a la seguridad alimentaria nacional. Sin embargo, presenta una marcada polarización tecnológica y socioeconómica, donde coexisten unidades altamente tecnificadas, principalmente ubicadas en regiones áridas del norte del país, junto con sistemas familiares y de doble propósito que operan con bajos niveles de tecnificación, escaso acceso a insumos y alta dependencia de mano de la obra familiar.

Esta heterogeneidad productiva, genera profundas brechas en productividad, costos y acceso al mercado. Mientras que los sistemas intensivos pueden superar los 9,000 litros por lactancia, los familiares van entre 2,500 y 4,000 litros, y los de doble propósito apenas entre 1,200 y 3,600 litros. Estas diferencias reflejan no sólo factores tecnológicos, sino también desigualdad estructural, limitada disponibilidad de asistencia técnica y dependencia de intermediarios en la comercialización (Álvarez et al., 2024). En los sistemas campesinos de producción de leche es más grave todavía, porque el producto constituye el ingreso fundamental del hogar. De acuerdo con Espinoza-Ortega et al. (2005) las familias con menos recursos presentan ingresos per cápita tan bajos que si dependieran exclusivamente de la actividad lechera, caerían en pobreza alimentaria o patrimonial, y sólo los productores más especializados lograrían colocarse fuera de los umbrales de pobreza.

A estas limitaciones estructurales, se suma una creciente presión sobre los sistemas de producción, no solo de leche sino de cualquier alimento; el cambio climático, la volatilidad de los precios internacionales, insumos más caros y la creciente demanda de alimentos. Algunos estudios prospectivos señalan que, aunque se espera un incremento moderado en la producción nacional de leche hacia 2030, los sistemas pequeños y medianos seguirán enfrentando riesgos significativos relacionados con los precios, los costos crecientes y la eficiencia productiva (Rogers-Montoya et al., 2024).

Asimismo, los esquemas de costos en los sistemas pequeños muestran que la dependencia creciente de insumos externos y mano de obra contratada puede volver económicamente inviable la producción. Un análisis de optimización económica demuestra que la rentabilidad de estas unidades se sostiene debido a que más del 90% de los insumos forrajeros son producidos en la propia unidad y entre 80% y 95% de la mano de obra es familiar; cualquier incremento en la dependencia de insumos comprados condiciona negativamente la viabilidad económica del sistema (Salinas-Martínez et al., 2020).

Estos problemas han sido abordados por diferentes metodologías empero, lo que aún no se conoce con claridad es cómo interactúan entre sí y qué dinámicas emergen cuando se analiza el sistema en su conjunto. Para comprender fenómenos complejos como la dificultad para la comercialización de productos agropecuarios, la resiliencia, la toma de decisiones colectiva o la adaptación a cambios ambientales, es necesario modificar la perspectiva de solo analizar las partes del sistema a una visión de conjunto que considere sus conexiones internas, es decir, del reduccionismo al holismo (Calenbuhr, 2020). Los enfoques reduccionistas son útiles para comprender las partes de un sistema, es decir, los elementos de la economía, el medio ambiente y la sociedad. Sin embargo, cuando se trata de comprender las dinámicas complejas que resultan de la interacción entre estas partes, es necesario que tanto los investigadores como los encargados de formular políticas, cambien la perspectiva de estudiar sólo las partes, a sus interacciones en el sistema.

Este cambio de visión ha sido sugerido por Muflikh et. al., (2021) quienes han abordado el análisis de las cadenas de valor y las fluctuaciones de los precios de productos agrícolas, desde un enfoque de sistemas complejos, demostrando que dichos fenómenos trascienden más allá de las causas de mercado como oferta y demanda, y que dependen también de las relaciones entre actores, el entorno y otros elementos que influyen en la problemática agropecuaria.

Particularmente, en el sector lechero mexicano, se observa la necesidad de una comprensión sistémica más profunda, debido a la interacción de múltiples factores productivos, económicos, sociales y ambientales que no pueden analizarse de manera aislada. Esta complejidad se expresa en la coexistencia de distintos tipos de productores y subsistemas productivos, con niveles diferenciados de organización, acceso a tecnología, productividad y vinculación con los mercados, lo que hace necesario identificar y caracterizar dichas tipologías para comprender el comportamiento del sistema en su conjunto.

Si bien se han realizado esfuerzos por analizar estas problemáticas desde enfoques tradicionales, centradas en componentes específicos del sistema. No

obstante, diversos autores señalan que los sistemas alimentarios, por su propia naturaleza, deben entenderse como sistemas complejos (Gil, 2017; Mutonyi et al., 2018; Ramirez, Bernal, et al., 2018; Sgroi et al., 2020; Yang et al., 2018). En este sentido, aunque el enfoque reduccionista ha permitido avances importantes en la comprensión de procesos individuales, resulta limitado para explicar las dinámicas que emergen de la interacción entre los distintos actores y componentes del sistema, lo que ha motivado un creciente interés por la ciencia de sistemas (Jones et al., 2016).

En este contexto, la presente investigación adopta el enfoque de sistemas complejos, ya que permitirá no solo describir la problemática, sino comprender su dinámica subyacente, con el objetivo de proponer políticas de desarrollo que favorezcan un mejor funcionamiento del sector alimentario nacional. Si bien este enfoque ha sido utilizado en estudios previos (Camacho-Vera, 2016; Chen & Hu, 2021; Clarke et al., 2018; Gaitán-Cremaschi et al., 2019; Muflikh et al., 2021) su aplicación en el análisis integral del sector lechero mexicano aún es limitada.

Por lo anterior, el estado de Veracruz, especialmente la región centro, surge como un caso ideal para realizar un análisis sistémico y estratégico del sector lácteo, dada su diversidad productiva, relevancia económica y las tensiones estructurales que enfrenta. A pesar de la extensa literatura sobre producción lechera en México, existe un vacío de conocimiento respecto a un análisis integral, desde el enfoque de sistemas complejos. La mayoría de los estudios se concentran en aspectos productivos, económicos o ambientales por separado, lo que limita la comprensión de las interacciones, que realmente determinan el funcionamiento del sistema.

La importancia de este trabajo radica en atender ese vacío metodológico y conceptual, aportando una visión completa de la dinámica del sistema lácteo regional desde un enfoque sistémico. La tesis se propone generar conocimiento útil para la formulación de estrategias y políticas públicas que respondan a la naturaleza sistémica del sector. Este trabajo se encuentra alineado con el objetivo de la línea de investigación: “Análisis de sistemas agroindustriales, Redes de

valor y Modelos de negocio” del Centro Académico y de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM).

1.2 Objetivos

Considerando la complejidad del sector lácteo y la necesidad de abordarlo desde un enfoque sistémico, esta investigación se organiza a partir de un objetivo general y tres objetivos específicos, los cuales se alinean directamente con tres preguntas de investigación y tres hipótesis. Esta estructura, permite examinar el sistema no sólo desde sus componentes individuales, sino desde sus interacciones y dinámicas internas, en correspondencia con los principios de la teoría de la complejidad.

1.2.1 Objetivo general

Analizar la dinámica del sistema alimentario lácteo en la región centro del estado de Veracruz mediante un enfoque de la teoría de la complejidad, para aportar elementos útiles en el diseño de estrategias de política pública que consideren la naturaleza sistémica del sector, más allá de la suma de sus partes.

1.2.2 Objetivos específicos

Objetivo 1: Identificar, caracterizar y clasificar a los productores de leche, así como los sistemas y subsistemas productivos presentes en la región centro de Veracruz, considerando las dimensiones: social, económica, productiva y técnica.

Objetivo 2: Analizar los desafíos y oportunidades del sistema de producción de leche en la región, desde un enfoque sistémico y de complejidad, identificando patrones de arquetipos.

Objetivo 3: Proponer lineamientos y estrategias de política pública, orientadas al fortalecimiento del sistema alimentario lácteo en la región.

1.3 Preguntas de investigación

1.- ¿Qué tipo de ganaderos, sistemas y subsistemas productivos conforman el sistema alimentario lácteo en la región centro de Veracruz, y cuáles son sus características sociales, económicas, técnicas y productivas?

2.- ¿Qué relaciones causales, bucles de retroalimentación, arquetipos y dinámicas emergentes pueden identificarse dentro del sistema alimentario lácteo regional desde la teoría de la complejidad?

3.- ¿Qué estrategias y lineamientos de política pública pueden proponerse para fortalecer el sistema alimentario lácteo de la región, considerando su comportamiento sistémico y sus dinámicas clave?

1.4 Hipótesis

Hipótesis general

El sistema alimentario lácteo en la región centro de Veracruz presenta dinámicas complejas caracterizadas por interdependencias, bucles de retroalimentación y comportamientos no lineales que explican sus principales problemas de productividad, desigualdad y vulnerabilidad, por lo que su comprensión requiere un enfoque sistémico.

Hipótesis 1.- Los ganaderos y sistemas de producción de leche en la región centro de Veracruz se agrupan en tipologías claramente diferenciadas por sus características sociales, técnicas, económicas y productivas, lo que genera brechas sistémicas de desempeño y acceso a recursos.

Hipótesis 2.- Los principales desafíos del sistema alimentario lácteo regional (baja productividad, vulnerabilidad económica, dependencia de insumos externos, desigualdad tecnológica, entre otros) se explican por la existencia de relaciones causales y bucles de retroalimentación.

Hipótesis 3.- El análisis sistémico permitirá identificar puntos de inflexión y arquetipos que sirven como base para proponer estrategias de política pública capaces de mejorar el desempeño y la sostenibilidad del sistema alimentario lácteo regional.

1.5 Estructura de la tesis

La tesis se organiza en cinco capítulos (Figura 1). El primero, presenta la introducción a la investigación, en la cual se expone el planteamiento del problema, las preguntas de investigación, los objetivos y las hipótesis.

El segundo, desarrolla los fundamentos teóricos, conceptuales y referenciales que orientan la investigación. Se abordan elementos relacionados con la teoría general de sistemas, los sistemas complejos, los sistemas alimentarios y la dinámica de sistemas, entre otros enfoques y herramientas conceptuales necesarios.

El tercero, contiene el primer artículo de investigación, centrado en la clasificación y caracterización de los sistemas de producción de leche en la región centro de Veracruz. Este análisis emplea métodos de estadística multivariada y se enfoca en cuatro dimensiones: social, económica, productiva y técnica.

El cuarto, contiene el segundo artículo científico, el cual analiza la dinámica del sistema alimentario lácteo desde un enfoque sistémico. En este apartado se destacan los desafíos a los que se enfrentan día con día los actores clave del sistema y se identifican patrones de comportamiento que subyacen a dichos desafíos.

Finalmente el quinto, expone las conclusiones generales de la investigación, considerando los objetivos y preguntas de investigación. Asimismo, incluye una reflexión sobre los retos, oportunidades y desafíos del sector lácteo en la región, así como las posibles líneas de investigación futura.

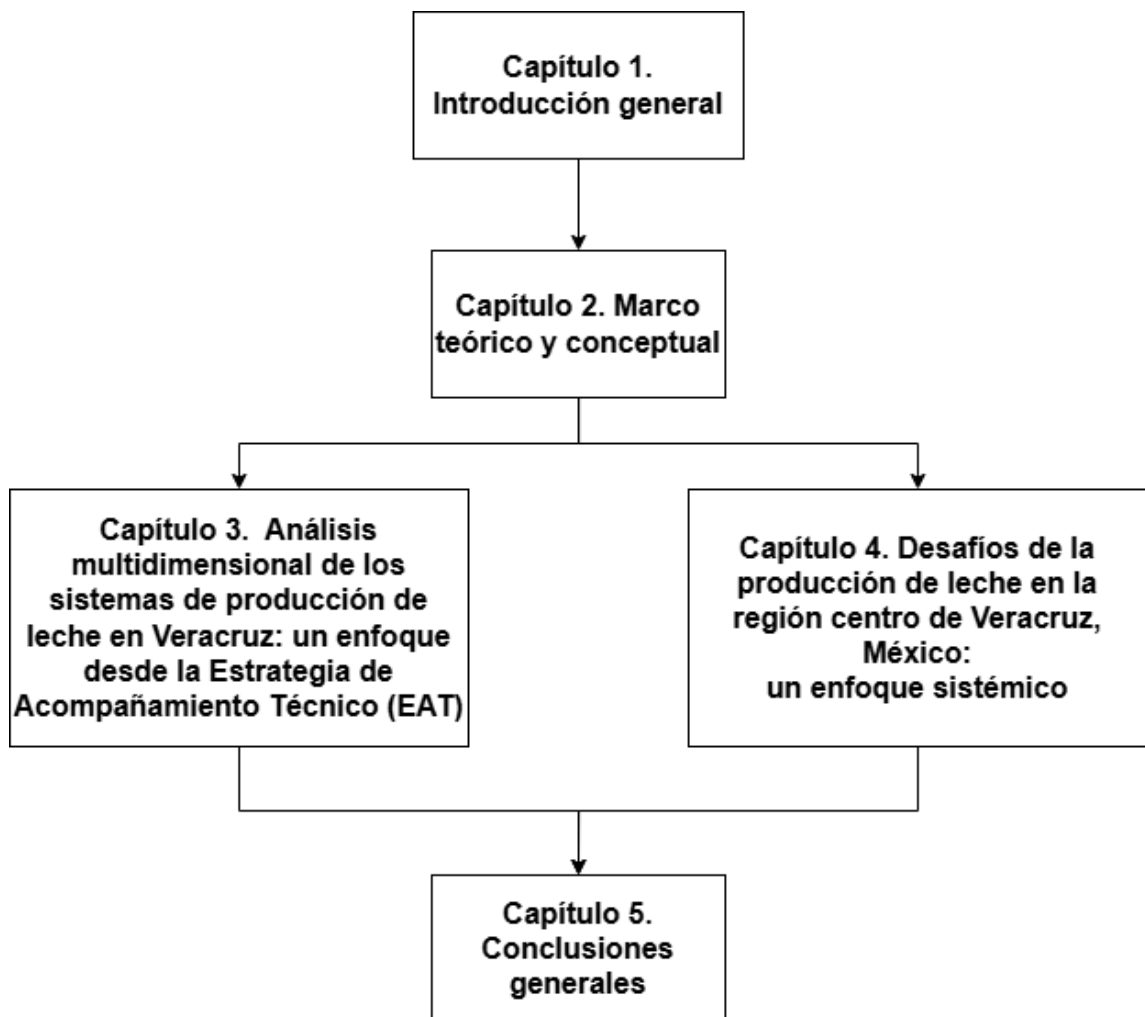


Figura 1. Estructura de la tesis

Fuente: Elaboración propia

1.6 Literatura citada

- Álvarez Macías, A. G., Cesín Vargas, J. A., Santos Chávez, V. M., & Cárcamo Mallen, R. W. (2024). Características y perspectivas del sistema productivo de lácteos en México: Un análisis coyuntural. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 157–180.
- Barkema, H. W., von Keyserlingk, M. A. G., Kastelic, J. P., Lam, T. J. G. M., Luby, C., Roy, J. P., LeBlanc, S. J., Keefe, G. P., & Kelton, D. F. (2015). Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of Dairy Science*, 98(11), 7426–7445. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9377>
- Calenbuhr, V. (2020). Complexity science in the context of policymaking. En V. Šucha & M. Sienkiewicz (Eds.), *Science for policy handbook* (pp. 119–127). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822596-7.00011-5>
- Camacho-Vera, J. H. (2016). *La quesería artesanal de Reyes Etlá: Un estudio desde la perspectiva de los sistemas complejos* [Tesis de doctorado, Universidad Autónoma Chapingo].
- Camacho-Vera, J. H., Cervantes-Escoto, F., & Palacios-Rangel, M. I. (2017). Factores determinantes del rendimiento en unidades de producción de lechería familiar. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 8(1), 23–29.
- Chen, F., & Hu, Y. (2021). Agricultural and rural ecological management system based on big data in complex systems. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101390. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101390>
- Clarke, E., Jackson, T. M., Keoka, K., Sengxua, P., Simali, P., & Wade, L. J. (2018). Insights into adoption of farming practices through multiple lenses: An innovation systems approach. *Development in Practice*, 28(6), 1–16. <https://doi.org/10.1080/09614524.2018.1504890>

- Espinoza-Ortega, A., Álvarez-Macías, A., del Valle, M. C., & Chauvete, M. (2005). La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria en México*, 43(1), 39–56.
- FAO. (2017). *El futuro de la alimentación y la agricultura: Tendencias y desafíos*. FAO. <https://www.fao.org/3/i6881s/i6881s.pdf>
- FAO. (2019). *El sistema alimentario: Oportunidades para el campo mexicano en la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible*. FAO. <https://www.fao.org/3/i6881s/i6881s.pdf>
- FAO. (2023a). *FAOSTAT: Base de datos de estadísticas alimentarias y agrícolas*. <https://www.fao.org/faostat/>
- FAO. (2023b). *Producción lechera*. <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/>
- Gaitán-Cremaschi, D., Klerkx, L., Duncan, J., Trienekens, J. H., Huenchuleo, C., Dogliotti, S., Contesse, M. E., & Rossing, W. A. H. (2019). Characterizing diversity of food systems in view of sustainability transitions: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0550-2>
- Gil, C. G. (2017). Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS): Una revisión crítica. *Papeles de Relaciones Ecosociales y Cambio Global*, 140, 107–118.
- Gómez-Miranda, A., López-González, F., Vieyra-Alberto, R., & Arriaga-Jordán, C. M. (2022). Grazed barley for dairy cows in small-scale systems in the highlands of Mexico. *Italian Journal of Animal Science*, 21(1), 178–187. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2022540>
- Haynes, P., & Alemna, D. (2022). A systematic literature review of the impact of complexity theory on applied economics. *Economies*, 10(8), 192. <https://doi.org/10.3390/economies10080192>

- INEGI. (2023). *Censo agropecuario 2022: Veracruz de Ignacio de la Llave*.
https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdV_ER.pdf
- Jones, J. W., Antle, J. M., Basso, B., Boote, K. J., Conant, R. T., Foster, I., Godfray, H. C. J., Herrero, M., Howitt, R. E., Janssen, S., Keating, B. A., Muñoz-Carpena, R., Porter, C. H., Rosenzweig, C., & Wheeler, T. R. (2016). Brief history of agricultural systems modeling. *Agricultural Systems*, 155, 240–254. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2016.05.014>
- Mackay-Smith, T. H., Spiekermann, R. I., Richards, D. R., Harcourt, N., & Burkitt, L. L. (2024). An integrative approach to silvopastoral system design: Perspectives, potentials and principles. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1–41. <https://doi.org/10.1080/00288233.2023.2298922>
- Marín-Santana, M. N., López-González, F., Morales-Almaraz, E., Plata-Reyes, D. A., & Arriaga-Jordán, C. M. (2023). Productive performance of grazing dairy cows on kikuyu grass pastures overseeded with rye in small-scale dairy systems in Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 26(3), 86. <https://doi.org/10.56369/tsaes.4621>
- Muflikh, Y. N., Smith, C., & Aziz, A. A. (2021). A systematic review of the contribution of system dynamics to value chain analysis in agricultural development. *Agricultural Systems*, 189, 103044. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103044>
- Mutonyi, S., Beukel, K., & Hjortsø, C. N. (2018). Relational factors and performance of agrifood chains in Kenya. *Industrial Marketing Management*, 74, 175–186. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2018.03.004>

- Ramírez, M., Bernal, P., Clarke, I., & Hernández, I. (2018). The role of social networks in the inclusion of small-scale producers in agri-food developing clusters. *Food Policy*, 77, 59–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2018.04.005>
- Rogers-Montoya, N., Herrera-Haro, J., Callejas-Juárez, N., Villavicencio-Gutiérrez, M. R., Vilchis-Granados, G. B., González-Hernández, V., González-López, R., Ruiz-Torres, M. E., & Martínez-Castañeda, F. E. (2024). Milking to 2030: Economic and sustainability prospective of the Mexican dairy sector. *Agroproductividad*, 17(5), 203–211. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i5.2841>
- Rozhkov, A., Zellner, M., Murphy, J. T., & Massey, D. (2025). Identifying leverage points for sustainable transitions in urban–rural systems: Application of graph theory to participatory causal loop diagramming. *Environmental Science & Policy*, 164, 103996. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.103996>
- Salinas-Martínez, J. A., Posadas-Domínguez, R. R., Morales-Díaz, L. D., Rebollar-Rebollar, S., & Rojo-Rubio, R. (2020). Cost analysis and economic optimization of small-scale dairy production systems in Mexico. *Livestock Science*, 237, 104028. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104028>
- Sánchez, B. M., Flores, S. V., Rodríguez, E. H., Anaya, A. M. E., & Contreras, E. A. C. (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(Supl. 2), 126–145.
- Sandhu, H. (2021). Bottom-up transformation of agriculture and food systems. *Sustainability*, 13(4), 2171. <https://doi.org/10.3390/su13042171>

- Sarabia-Salgado, L., Alves, B. J. R., Boddey, R., Urquiaga, S., Galindo, F., Flores-Coello, G., Almeida, C., Jiménez-Ocampo, R., Ku-Vera, J., & Solorio-Sánchez, F. (2023). Greenhouse gas emissions and crossbred cow milk production in a silvopastoral system in tropical Mexico. *Animals*, 13(12), 1941. <https://doi.org/10.3390/ani13121941>
- Sgroi, F., Donia, E., Franco, M., & Mineo, A. M. (2020). Marketing strategy, social responsibility, and value chain in the agri-food system. *HortScience*, 55(2), 208–215. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI14692-19>
- SIAP. (2024). *Anuario estadístico de la producción ganadera*. <https://www.gob.mx/siap>
- Stefanovic, L., Freytag-Leyer, B., & Kahl, J. (2020). Food system outcomes: An overview and the contribution to food systems transformation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 546167. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.546167>
- Vargas-Bello-Pérez, E., Espinoza-Sandoval, O. R., Rodríguez-Piñeros, S., & Ghavipanje, N. (2024). Supply and value chain of the dairy industry in Mexico. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 51(3), 219–230. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v51i3.2643>
- Vázquez-Gómez, R., & Cuevas-Reyes, V. (2015). Modelo GGAVATT: Una estrategia de transferencia de tecnología para el sector agropecuario en México. En J. Aguilar-Ávila & V. H. Santoyo-Cortés (Eds.), *Modelos alternativos de capacitación y extensión comunitaria*. CIESTAAM–Universidad Autónoma Chapingo.
- Vilaboa-Arroniz, J., Díaz-Rivera, P., Ruiz-Rosado, O., Platas-Rosado, D. E., González-Muñoz, S., & Juárez-Lagunes, F. (2009). Socioeconomic and technological characterization of agroecosystems with dual-purpose cattle

in the Papaloapan region, Veracruz, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10, 53–62.

Villavicencio-Gutiérrez, M. R., Callejas-Juárez, N., Rogers-Montoya, N. A., González-Hernández, V., González-López, R., Martínez-García, C. G., & Martínez-Castañeda, F. E. (2023). Environmental outlook to 2030 in cow's milk production systems in Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 14(4), 760–781. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i4.6410>

Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Sibanda, L. M., & Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447–492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)

Yang, H., Vernooy, R., & Leeuwis, C. (2018). Farmer cooperatives and the changing agri-food system in China. *China Information*, 32(3), 423–442. <https://doi.org/10.1177/0920203X16684504>

2 MARCO TÉORICO – CONCEPTUAL

2.1 Teoría general de sistemas

La Teoría General de Sistemas (TGS), tiene sus antecedentes en los años 1920 y 1930, cuando empiezan a circular en la epistemología varios conceptos y procedimientos importantes para la investigación sistémica (De la Reza, 2010). No obstante, esta teoría establece sus bases en las publicaciones de Norbert Wiener y Ludwing Von Bertalanffy en los años 1950.

Pero ¿qué entendemos por la palabra “sistema”? De acuerdo con Van Gigch (2017), un sistema es una reunión o conjunto de elementos relacionados. Los cuales pueden ser conceptos; los elementos de un sistema también pueden ser objetos, por ejemplo, una máquina de escribir compuesta de diferentes partes; los elementos pueden ser sujetos, como los de un equipo deportivo. Finalmente, un sistema puede construirse a partir de conceptos, objetos y sujetos.

Por otra parte, García (2006) propone una definición de sistemas, como todo conjunto organizado que tiene propiedades, como totalidad, que no resultan aditivamente de las propiedades de los elementos constituyentes. La organización del sistema es el conjunto de las relaciones entre los elementos, incluyendo las relaciones entre relaciones.

La TGS se asienta sobre dos conjeturas mayores: a) toda existencia y práctica humana pueden ser interpretadas por medio de conceptos que reflejan la estructura de la realidad; y b) el substrato esencial de las ciencias es la convergencia hacia la unidad del conocimiento como resultado del carácter continuo de la naturaleza.

La TGS constituye una alternativa epistemológica válida para abordar el tema agroalimentario, ya que permite comprender que además de la esfera de la producción primaria y de sus múltiples interrelaciones, existen otras esferas tan importantes como la comercialización, la transformación industrial y la del consumo final (Pérez & Razz, 2009).

La TGS distingue tres tipos de descripciones de los fenómenos:

- Analogía: se trata de similitudes superficiales que no corresponden ni a sus factores causales ni a la estructura de sus leyes.
- Homología: el caso de la homología es aquel en el que los factores eficientes son diferentes, pero la estructura de las leyes es formalmente idéntica.
- Explicación: se trata del caso en el que las condiciones específicas y leyes valen para una clase de objetos.

Por otra parte, De La Reza (2010) en su publicación “Sistemas complejos: perspectivas de una teoría general” sugiere las siguientes premisas sobre los sistemas:

- Todo sistema es un conjunto de relaciones.
- Cada sistema está construido por un proceso de equilibrio.
- Si su información, energía o materia se consideran como algo que tiende a producir movimiento o trabajo, entonces son indistinguibles en algunas de sus relaciones.
- Todo sistema contiene relaciones de inercia, es decir, se resiste a cambiar sus parámetros esenciales.
- Todo sistema es selectivo respecto de sus posibles relaciones.
- Cada sistema contiene relaciones polares equilibradas mediante procesos internos.
- Las relaciones internas codeterminan la variedad de los subsistemas, el desarrollo del sistema, la variedad de las relaciones externas y sus fronteras.
- Todo sistema está sujeto a un cambio permanente mediante sus relaciones con el entorno.
- Los sistemas tienen límites o fronteras que en realidad reflejan las relaciones u operaciones de diferenciación entre lo que incluye y lo que excluye el sistema.

- Las relaciones externas codeterminan las fronteras del sistema y pueden existir dentro de una jerarquía de sistemas.
- El universo consiste en una serie de procesos de sintetización y desintegración de sistemas.

2.2 Pensamiento sistémico

De acuerdo con Sterman, (2000) y Maani y Cavana (2007) citados por Muflikh et al. (2021), el pensamiento sistémico, puede aplicarse de acuerdo a los siguientes pasos: (1) articulación de problemas centrándose en la identificación de síntomas y modos de comportamiento que ocurren en el primer y segundo nivel de pensamiento, respectivamente; (2) desarrollar una hipótesis dinámica; (3) formular un modelo de simulación; y (4) prueba de modelos centrándose en la comprensión de las estructuras de los sistemas, que se producen en el tercer nivel de pensamiento; y (5) diseño y evaluación de políticas al enfocarse en modelos mentales cambiantes, que ocurren en el cuarto nivel de pensamiento. Este puede ser utilizado para dirigir investigaciones con el enfoque de sistemas complejos, dado que cumple con las características que definen a estos, la no linealidad, procesos dinámicos en continuo cambio y es capaz de visualizar las propiedades emergentes.

El pensamiento sistémico puede explicar conceptualmente el comportamiento del sistema aun con la falta de datos o bases de datos completas, este enfoque obtiene conocimiento local, temas relevantes y puntos de vista para identificar los problemas subyacentes y los límites del sistema. Asimismo, es esencial para diseñar intervenciones políticas y reducir la resistencia a las políticas entre las partes interesadas del sistema. El enfoque de pensamiento sistémico se puede aplicar usando evidencia anecdótica y descripciones del comportamiento del sistema y las estructuras del sistema obtenidas de la investigación con las partes interesadas de la cadena de valor (Muflikh et al., 2021).

Algunas ventajas del pensamiento sistémico mencionadas por Muflikh et al. (2021) se enlistan a continuación: i) Involucrar a las partes interesadas en la

puesta en marcha del pensamiento sistémico crea un proceso de aprendizaje propicio para todos los actores de la cadena de valor; ii) es una herramienta de comunicación eficaz para transmitir las causas y consecuencias del comportamiento problemático de la cadena de valor a los pequeños agricultores, que desempeñan un papel fundamental en las cadenas de valor agrícolas iii) tiene el potencial de facilitar la colaboración entre los actores de la cadena de valor.

2.3 Teoría de la complejidad

La teoría de la complejidad se originó en las ciencias físicas, lo que influyó en el desarrollo de conceptos y métodos científicos para una mejor comprensión de los fenómenos inestables y complejos (Haynes & Alemna, 2022).

La teoría de la complejidad es un conjunto de teorías matemáticas y suposiciones filosóficas que ayuda al entendimiento del comportamiento de sistemas complejos. La complejidad ha sido definida utilizando elementos de la teoría de información de Claude Shannon, que es de vital importancia en la teoría de complejidad. El concepto se expandió considerablemente durante los años 90 brindando mejoramientos en tecnologías, especialmente de comunicaciones y computación (Quiñones & Haynes, 2003).

La sociedad está organizada alrededor de sistemas complejos, en los cuales, el hombre trata de proporcionar alguna apariencia de orden a su universo; la vida está organizada alrededor de instituciones de todo tipo, las cuales presentan evolución. La mayoría de los sistemas en los que la vida y los seres humanos interactúan comparten una característica, la complejidad (Van Gigch, 2017).

La complejidad se define de varias maneras según las múltiples formas en las que se articulan las diversas herramientas y operaciones del conocimiento. Al explorar el tema en sus diferentes corrientes, se encuentran distintas formas de asociación del concepto que parten de una variedad de principios y se mueven

en escenarios de fronteras borrosas, como el pensamiento complejo, complejidad restringida, complejidad organizada, sistemas complejos y teorías de la complejidad (Soler, 2017).

Dada la naturaleza indeterminada de muchos fenómenos de las ciencias sociales, con nuevos comportamientos y eventos resultantes de una diversidad de interacciones sociales, muchos académicos pronto vieron el potencial de la teoría de la complejidad para ayudar en la explicación de los comportamientos colectivos de las sociedades y economías. Asimismo, la teoría de los sistemas complejos constituye una propuesta para abordar el estudio de tales sistemas. Se trata, en primera instancia, de una metodología de trabajo interdisciplinario, pero es, al mismo tiempo, un marco conceptual que fundamenta, sobre bases epistemológicas, el trabajo interdisciplinario.

2.4 Teoría de los sistemas complejos

Los sistemas complejos tienen múltiples definiciones, cada una con sus desafíos y particularidades; sin embargo, en la mayoría de los casos, los autores coinciden en tres principales características, no linealidad, dinámicos y que estas relaciones no lineales y dinámicas generan propiedades emergentes. Por su parte, Snyder (2013) sugiere que un sistema complejo se compone de muchas partes que interactúan y se adaptan entre sí y, al hacerlo, afectan sus propios entornos individuales y, por lo tanto, su propio futuro. El comportamiento combinado a nivel del sistema surge de las interacciones de las partes que, a su vez, están influenciadas por el estado general del sistema. Los patrones globales emergen de los ajustes mutuos autónomos pero interdependientes de los componentes (Calenbuhr, 2020).

De acuerdo con Gentili (2021), todos los sistemas complejos se pueden representar y describir como redes, dado que esta representación de los sistemas complejos como redes también es sugerida por la etimología de la palabra “Complejo”. El adjetivo “Complejo” deriva del verbo latino “cumplectere”,

que significa “entrelazar”. Aunque “complejo” y “complicado” se consideran sinónimos en el lenguaje coloquial, sus diferencias se basan en el significado encontrado en la etimología. El adjetivo “complicado” deriva del verbo latino “cumplicare”, cuyo significado es “plegar”. Lo que es "complicado" está "doblado" y puede ser "desdoblado". En cambio, lo que es “complejo” está “entretejido” y no puede ser “desdoblado”: debe ser “desenredado”.

Un sistema complejo es una representación de un recorte de esa realidad, conceptualizado como una totalidad organizada, en la cual los elementos no son "separables" y, por tanto, no pueden ser estudiados aisladamente (García, 2006). Los sistemas, como totalidades organizadas, tienen dos características fundamentales:

- Las propiedades del sistema, en un momento dado, no resultan de la simple adición de las propiedades de los componentes. La vulnerabilidad o resiliencia, así como las condiciones de estabilidad, son propiedades estructurales del sistema en su conjunto.
- La evolución del sistema responde a una dinámica que difiere de las dinámicas propias de sus componentes. Así, por ejemplo, el sistema total integra, en su evolución, procesos de escalas temporales que varían considerablemente entre los subsistemas, e induce cambios en estos últimos.

Del mismo modo, los sistemas complejos se comportan como "totalidades" compuestas de subsistemas. Se define como funcionamiento del sistema al conjunto de actividades del sistema como un todo, y función a la contribución de cada elemento o subsistema al funcionamiento del sistema.

Dado que un sistema no es simplemente un conjunto de elementos, sino que, en tanto sistema, está caracterizado por su estructura, un sistema estará definido solamente cuando se haya identificado un número suficiente de relaciones entre cierto conjunto de elementos que permitan vincularlos con referencia al funcionamiento del conjunto como totalidad. Debe tenerse en cuenta, que con los

mismos elementos pueden definirse diferentes sistemas, es decir, sistemas cuyas estructuras difieren en tanto se hayan tomado en consideración distintos conjuntos de relaciones entre los elementos (García, 2006).

Una de las ventajas del estudio de los sistemas desde un enfoque de la complejidad es que el estudio de las estructuras de los sistemas no sólo no excluye la historicidad, sino que la explica. Por otra parte, de acuerdo con García (2006) la razón no es paradójica: el estudio de las estructuras de un sistema tiene un objetivo, como tema central y el "objetivo" abarca los últimos veinte o treinta años, a esto se le conoce como el estudio de los mecanismos de estructuración y desestructuración, lo cual permite analizar cuándo y cómo se transforma una estructura. En otras palabras, en esto consiste la evolución histórica de una totalidad, como ventaja del uso del enfoque de sistemas complejos.

El estudio de un sistema complejo exige distinguir niveles de análisis, cada uno determinado por procesos de diferente nivel. El primer nivel de análisis está generalmente integrado por subsistemas (físico, económico-social, etc.). El segundo nivel considera los cambios introducidos en el sistema como resultado de fenómenos de carácter más general (por ejemplo, políticas nacionales). El tercer nivel se refiere a cambios que ocurren en estos fenómenos generales (pero circunscritos a cierta localidad), debidos a modificaciones globales (García, 2006).

De acuerdo Meadows (2008) los sistemas complejos cumplen con algunas características como exhibir un comportamiento adaptativo, dinámico, de búsqueda de objetivos, de autoconservación y, a veces, evolutivo. Asimismo, define a un sistema como algo más que la suma de sus partes.

Weaver (1948), uno de los principales autores sobre los sistemas complejos sostiene que la característica decisiva de este tipo de fenómeno no reside principalmente en un criterio cuantitativo, ligado al número de elementos y relaciones, sino en el modo en que un conjunto de elementos se interrelacionan de forma no trivial en un todo orgánico y conforman un sistema organizado.

De acuerdo con Weaver (1948), citado por Rodríguez y Roggero (2015) estos problemas de complejidad organizada no pueden ser abordados por modelos mecánicos ni estadísticos, sino que requieren de modelos sistémicos. De igual forma, los sistemas complejos se han denominado como “sistemas no-descomponibles o casi-descomponibles”. Mientras que en un sistema descomponible las partes y relaciones pueden ser separadas y tratadas aisladamente sin comprometer la organización del sistema, esto no es posible en un sistema complejo. En efecto, los sistemas complejos son cuasi o no descomponibles, puesto que “el comportamiento de cada uno de los componentes depende, en forma conjunta, del comportamiento de los componentes restantes” (Rodríguez & Roggero, 2015).

2.5 Diagramas de bucles causales y arquetipos sistémicos

Los diagramas de bucles causales (DBC) constituyen una de las herramientas centrales del pensamiento sistémico y de la dinámica de sistemas para el análisis de sistemas complejos. Su principal función es representar de manera cualitativa las relaciones causales entre las variables que conforman un sistema, así como los procesos de retroalimentación que explican su comportamiento dinámico a lo largo del tiempo (Stermán, 2000; Meadows, 2008). A diferencia de los enfoques lineales tradicionales, los DBC permiten visualizar cómo las interacciones entre múltiples componentes generan patrones emergentes que no pueden explicarse a partir del análisis aislado de sus partes.

Un diagrama de bucles causales se compone de variables conectadas mediante flechas que indican relaciones de causa–efecto. Estas relaciones pueden ser positivas o negativas, dependiendo de si un cambio en una variable genera un cambio en la misma dirección o en dirección opuesta en la variable relacionada. La interconexión de estas relaciones da lugar a bucles de retroalimentación, los cuales pueden clasificarse, de manera general, en bucles reforzadores y bucles balanceadores. Los primeros tienden a amplificar los cambios dentro del sistema, generando procesos de crecimiento o deterioro acumulativo, mientras que los

segundos actúan como mecanismos de control que buscan estabilizar el comportamiento del sistema (Sterman, 2000; Meadows, 2008).

En el análisis de sistemas agroalimentarios y territoriales, los diagramas de bucles causales resultan especialmente útiles para identificar dinámicas estructurales persistentes, cuellos de botella y dependencias críticas que influyen en el desempeño del sistema. Al centrarse en relaciones causales y no únicamente en correlaciones, los DBC facilitan la comprensión de por qué ciertos problemas tienden a reproducirse en el tiempo, incluso cuando se implementan algunas actividades orientadas a su solución. Así, los diagramas causales permiten trascender el análisis descriptivo y avanzar hacia una interpretación más profunda de los fenómenos observados (Forrester, 1961; Sterman, 2000).

A partir del uso de diagramas de bucles causales, la literatura en pensamiento sistémico ha desarrollado el concepto de arquetipos sistémicos. Estos son estructuras causales recurrentes que aparecen de manera general en algunos tipos de sistemas: económicos, sociales, organizacionales o ambientales. No obstante, a pesar de las diferencias contextuales, generan patrones de comportamiento (Senge, 1990). Estos arquetipos funcionan como “modelos genéricos” que permiten reconocer dinámicas subyacentes comunes y anticipar las consecuencias de determinadas decisiones o intervenciones.

Entre los arquetipos sistémicos más estudiados se encuentran “éxito para los exitosos”, “límites al crecimiento”, “desplazamiento de la carga”, “soluciones que fallan” y “tragedia de los comunes”, entre otros (Senge, 1990). Cada uno de estos arquetipos muestra una configuración específica de bucles de retroalimentación reforzadores y balanceadores que explica por qué ciertos problemas persisten o empeoran con el tiempo. Por ejemplo, el arquetipo “éxito para los exitosos” describe situaciones en las que los actores con mayores recursos o ventajas iniciales tienden a concentrar beneficios adicionales, profundizando desigualdades estructurales dentro del sistema.

La identificación de arquetipos sistémicos a través de diagramas de bucles causales permite no solo explicar el comportamiento histórico de un sistema, sino también identificar puntos estratégicos para la intervención. Estos, corresponden a variables o relaciones clave cuya modificación puede generar cambios significativos en el comportamiento global del sistema (Meadows, 1999). Por lo anterior, los arquetipos sistémicos se convierten en una herramienta analítica fundamental para el diseño de políticas públicas y estrategias de intervención orientadas a modificar estructuras causales profundas, en lugar de atender únicamente los síntomas superficiales de los problemas.

2.6 Sistemas alimentarios

El discurso del sistema alimentario recibió una mayor atención en la última década. Se reconoce que la alimentación y la agricultura son los elementos transversales de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas que conectan sus 17 ODS y ayudan a alcanzar múltiples objetivos principalmente los relacionados con el Fin de la Pobreza (ODS1), Hambre Cero (ODS 2) y Salud y Bienestar (ODS3) para todas las personas (Stefanovic et al., 2020).

Un sistema alimentario puede definirse como todas las actividades desde la producción hasta actividades de comercialización y consumo, compuestos por interacciones dentro y entre entornos bio-geofísicos y humanos, así como interacciones y retroalimentaciones entre ellos (Ericksen, 2008).

Los sistemas alimentarios no sostenibles también contribuyen a las desigualdades socioeconómicas, con implicaciones negativas para los pequeños productores y los grupos vulnerables; dichos sistemas tienden a la especialización e intensificación de la producción, dejando de lado las prácticas para la producción sostenible.

En la Figura 2, se muestran las principales actividades y actores involucrados en los sistemas alimentarios, así como los procesos y factores críticos que influyen en los resultados sociales y ambientales que también forman parte de un sistema alimentario. Los factores sociales y ambientales son agregados para explicar la

naturaleza de los resultados en un punto en el tiempo o en el espacio. En los sistemas complejos es posible identificar los procesos clave y los determinantes que influyen en los resultados, aunque estos resultados pueden ser cuestionados (Ericksen, 2008).

El término sistemas alimentarios “abarca toda la gama de actores y sus actividades de valor agregado interrelacionadas involucradas en la producción, procesamiento, distribución, consumo y eliminación de productos alimenticios que se originan en la agricultura, la silvicultura o la pesca, y partes de los entornos económicos, sociales y naturales más amplios en los que están integrados” (FAO, 2018).

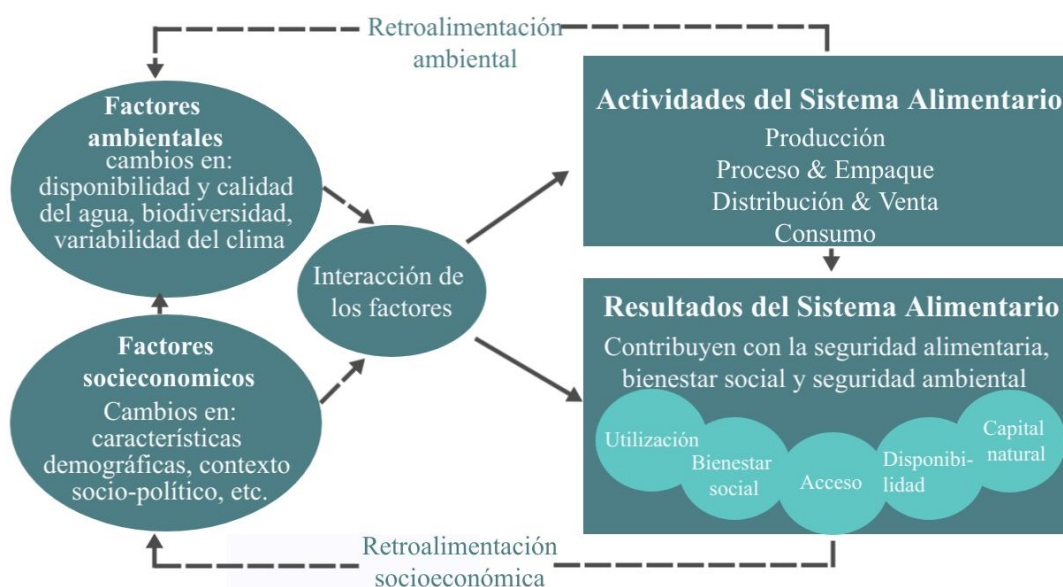


Figura 2. Componentes y relaciones dentro del sistema alimentario

Fuente: (Ericksen, 2008)

De acuerdo con Panel de Expertos de Alto Nivel en Seguridad Alimentaria y Nutricional (HLPE) del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, el sistema alimentario reúne todos los elementos (medio ambiente, personas, insumos, procesos, infraestructuras, instituciones, etc.) y actividades que se relacionan con la producción, procesamiento, distribución, preparación y consumo de alimentos

y los resultados de estas actividades, incluidos los resultados socioeconómicos y ambientales (El Bilali et al., 2021).

Se entiende a partir de las definiciones encontradas en la literatura que el concepto de sistemas alimentarios va más allá de las principales actividades de la cadena de valor (producción, procesamiento, distribución, preparación y consumo) y abarca otros elementos fundamentales, así como los productos y resultados de las actividades relacionadas con la producción de alimentos hasta el consumo. Los sistemas alimentarios abarcan las cadenas de suministro de alimentos, los entornos alimentarios, el comportamiento del consumidor, así como los impulsores externos (por ejemplo, el crecimiento poblacional, la urbanización, el cambio climático, el comercio, la globalización, la política) y los resultados relacionados con las tres dimensiones de la sostenibilidad ambientales, sociales, económicos.

Los sistemas alimentarios se encuentran más allá de los sistemas agrícolas, en el área de la producción de alimentos, pero comprenden las instituciones, tecnologías y prácticas que también rigen la forma en que se comercializan, procesan, transportan, acceden y consumen los alimentos (El Bilali et al., 2021).

El sistema alimentario, agrupa todas las cadenas de valor alimentarias de un país determinado en un único concepto con la facilidad de realizar análisis e inferencias para la transformación del sector agroalimentario y el sistema territorial. Se puede destacar que los sistemas alimentarios integran en un único concepto todos los sistemas (económico, social y natural) que interactúan en una ubicación geográfica específica (FAO, 2015). Es por lo que para lograr entender las relaciones e interacciones en una cadena de valor es necesario entender el entorno complejo y cambiante en el que se encuentran las redes.

En los sistemas agroalimentarios, las asociaciones dentro de una cadena de valor se refieren a las relaciones a largo plazo entre los actores que producen, mueven, procesan o comercializan bienes o servicios de los agricultores a los consumidores, principalmente con los agricultores (Manyise & Dentoni, 2021).

Asimismo, el entorno alimentario es el espacio donde los consumidores interactúan con el sistema alimentario para tomar sus decisiones sobre la adquisición, preparación y consumo de alimentos (HLPE, 2018). Como se observa en la Figura 3, un sistema alimentario está compuesto por diversos subsistemas, entre los cuales, se puede destacar indudablemente al sector dedicado a la producción de alimentos como eje principal y como base del primer anillo de interacciones entre la producción y el suministro de alimentos para los individuos.



Figura 3. Vinculación entre producción de alimentos, sistemas alimentarios y calidad de los productos

Fuente: (FAO, 2018)

Los sistemas agrícolas y alimentarios deben ofrecer mucho más que alimentos, deben desarrollar su potencial para apoyar la salud y el bienestar de la población. En un nivel fundamental, los consumidores eligen alimentos que no son coherentes con la buena nutrición, la salud y el bienestar, debido en ocasiones a los precios bajos y a que las políticas públicas y/o las acciones del sector privado no alinean adecuadamente los sistemas alimentarios con la meta de mejorar la

nutrición (Panel Mundial sobre Agricultura y Sistemas Alimentarios, 2016). Sin embargo, uno de los objetivos de la creación de cadenas de valor alimentarias sostenibles se centra principalmente en realizar mejoras de la eficacia de estos, permitiendo así que los hogares puedan comprar más alimentos y de mejor calidad, empero, a medida que aumenten los ingresos de los hogares, estos tenderán a destinar más dinero a la adquisición de alimentos de valor más elevado (con mayor valor nutritivo, de uso más cómodo o con una mejor imagen) en lugar de incrementar la cantidad de alimentos que consumen (FAO, 2015).

2.6.1 Dinámica de los sistemas alimentarios

La producción agrícola es una de las principales fuentes de alimentos y un factor importante del cambio climático, los cambios en el uso de la tierra, el agotamiento de los recursos de agua dulce y la contaminación de los ecosistemas terrestres y acuáticos (Steinfeld et al., 2006). La agricultura libera más del 25 % de todos los gases de efecto invernadero, contamina las aguas dulces y marinas con agroquímicos y utiliza como tierras de cultivo o pastizales cerca de la mitad de la superficie terrestre libre de hielo; del mismo modo, las dietas y los cambios en los patrones alimentarios también pueden afectar la sostenibilidad de los sistemas alimentarios (Campi et al., 2021).

Se ha demostrado que concentrar la producción agrícola tiene impactos negativos en el suministro de alimentos, la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los sistemas alimentarios; por otra parte los patrones de diversificación aumentan el suministro de alimentos per cápita y la seguridad alimentaria, sin embargo, este hecho puede perjudicar la sostenibilidad y el cuidado de los recursos naturales; esta evidencia refleja el equilibrio entre lograr la seguridad alimentaria y, al mismo tiempo, mejorar la sostenibilidad, lo que debe tenerse en cuenta al desarrollar o implementar políticas que busquen alcanzar los ODS (Campi et al., 2021).

El suministro de productos alimenticios a una población en cantidades suficientes, de la calidad adecuada y producidos de manera sostenible es uno de los principales retos de los creadores de política (Lapina et al., 2015), es por ello que para crear sistemas alimentarios sustentables se necesitan acciones de política que fomenten este tipo de sistemas, asimismo, el desarrollo de las ventajas competitivas de los países, generan efectos tanto positivos como negativos.

Por otra parte, de acuerdo con Walder et al. (2019) el estudio de la innovación es necesario para satisfacer las demandas mundiales de seguridad alimentaria, la inocuidad, así como la agricultura sostenible y los sistemas alimentarios, dado que las innovaciones provocan mejoras en la productividad y la competitividad, lo que hace que las innovaciones adicionales sean aún más rentables en teoría.

Para aumentar la capacidad de innovación de los agricultores, el apoyo a la inversión, la mejora del acceso a financiamiento y el seguro agropecuario son considerados como un instrumento de política respaldada por el hecho de que los agricultores a menudo enfrentan altos costos y riesgos cuando innovan y experimentan (Walder et al., 2019).

En la actualidad los agricultores se encuentran en un entorno altamente competitivo que cambia rápidamente, por lo que también se esfuerzan por obtener mayores ingresos. La innovación es necesaria como uno de los mejores medios para lograr tal ventaja competitiva y crecimiento de los ingresos.

2.6.2 Metodologías para el análisis de sistemas alimentarios

En 2019 Gaitán-Cremashi y colaboradores desarrollaron un marco de análisis para los sistemas alimentarios, el cual sirve para caracterizar y analizar la diversidad de sistemas que se encuentran definidos en áreas geográficas. Además, es funcional para estructurar el pensamiento sobre posibles cambios en el *status quo* desde dentro o fuera de los sistemas alimentarios principales. Este

marco permite reunir información de dominios de conocimiento dispares en la ciencia y la práctica (como conceptos en agronomía, gestión de la cadena de valor, sistemas de innovación, gobernanza del sistema alimentario y ciencias ambientales).

Del mismo modo, el marco permite estructurar el pensamiento sobre cómo evaluar el desempeño del sistema alimentario como base para la toma de decisiones informadas. Distingue los principales elementos estructurales de los sistemas alimentarios. La implementación del marco puede profundizarse mediante el análisis de redes sociales para identificar el papel de los agentes y actores del cambio en el desarrollo y la adopción de innovaciones sostenibles en los sistemas alimentarios.

Sin embargo, el proceso de caracterización simplifica la complejidad de los sistemas alimentarios. Los resultados que proporciona el marco pueden utilizarse para centrar la atención en el funcionamiento de los componentes del sistema alimentario y revelar las principales barreras y elementos prometedores.

La implementación del marco puede profundizarse mediante el análisis de redes sociales para identificar el papel de los agentes y actores del cambio en el desarrollo y la adopción de innovaciones sostenibles en los sistemas alimentarios.

Los resultados de un sistema alimentario pueden medirse a partir de las siguientes variables:

1. **Seguridad alimentaria:** ¿El sistema alimentario contribuye a la seguridad alimentaria y la nutrición? ¿Proporciona a los consumidores alimentos suficientes, inocuos y nutritivos?
2. **Medio ambiente:** El sistema alimentario actual brinda mantenimiento o mejora las condiciones del suelo, ¿tierra, agua y otros recursos naturales?
3. **Aspectos sociales y económicos:** ¿Los ingresos son equitativos para todos los actores de la cadena productiva? ¿El sistema genera empleos?

¿Las condiciones laborales son adecuadas? ¿El nivel del ingreso es proporcional al trabajo realizado? ¿Existe el desarrollo del capital social?

Por último, resumimos los siete pasos a seguir para el análisis de sistemas alimentarios propuesto por Gaitán-Cremaschi et al. (2019).

Paso 1: Definir el sistema alimentario. Definir el alcance de la investigación. No olvidar analizar las cuestiones políticas e identificar las dinámicas de género, clases sociales, poder y acceso a los recursos.

Paso 2: Establecer criterios para la creación de tipologías de los sistemas de producción agrícola presentes en el sistema alimentario.

Paso 3: Identificar los tipos de cadenas de valor dentro del sistema alimentario. Las cadenas de valor se pueden caracterizar en función de sus estructura de red y la forma de gobernanza. Primero hay que identificar a los actores de la cadena de valor que están vinculados a cada uno de los sistemas de producción agrícola en forma vertical y horizontal.

Paso 4: Identificación de las estructuras de apoyo. Las cuales colaboran con la innovación, generación de conocimiento e influyen en el funcionamiento diario de los sistemas de producción agrícola.

Se pueden identificar algunas estructuras de apoyo como:

1.- Investigación y desarrollo

2.- Servicios de extensión

3.- Políticas de innovación

Paso 5: Se resumen los hallazgos de los pasos 2,3 y 4.

Paso 6: Evaluación de los resultados derivados de los sistemas alimentarios identificados en el paso anterior.

- Seguridad alimentaria
- Seguridad ambiental
- Bienestar social

Se requiere de la operacionalización a través de indicadores.

Paso 7: Los sistemas identificados se clasifican en:

- Dominantes
- Sustentables
- Híbridos

Por otra parte, de acuerdo con García (2006) los sistemas complejos tienen dos características u objetivos principales:

El primer objetivo en el estudio de un sistema complejo es establecer un diagnóstico. Aquí, el autor hace una analogía con las ciencias médicas: como en un diagnóstico médico, es necesario analizar la anatomía y la fisiología de cada uno de los componentes (órganos o subsistemas), así como su armonización o desarmonía en el comportamiento general del individuo (sistema).

El segundo objetivo y, en realidad, la principal motivación de los estudios es poder actuar sobre el sistema: detener la enfermedad, y en lo posible, curar al paciente, en el caso de la medicina; detener y, en lo posible, revertir los procesos que deterioran el ambiente, en el caso de los estudios ambientales. Los criterios y prioridades aplicables en esta etapa no surgen sólo del interior de la ciencia: están basados en sistemas de valores cuya justificación proviene de una ética social.

Dados los objetivos, se define el proceso para el análisis de los sistemas complejos en diferentes etapas, teniendo como característica principal, la investigación multidisciplinaria para el correcto análisis e interpretación de los resultados obtenidos.

- 1.- Reconocimiento general de los problemas que se procuran interpretar y para los cuales se intenta encontrar solución por parte del equipo de investigación en su conjunto. Formulación de las preguntas de base.
- 2.- Análisis de estudios anteriores realizados sobre aspectos diverso de dicha problemática. En estos análisis debe ponerse especial atención en aquella información que permita preparar el camino para reconstruir la historia de las situaciones y fenómenos que constituyen la motivación del estudio.
- 3.- Identificación de elementos y relaciones para caracterizar, en primera aproximación, un sistema que involucre la problemática referida en 1 y 2, y las interacciones con el entorno.
- 4.- Plantear hipótesis de trabajo que permitirían explicar el comportamiento del sistema. Esto supone reformular las preguntas de base en términos de las funciones que cumplen los subsistemas y del funcionamiento del sistema.
- 5.- Identificación de la problemática a investigar en cada subsistema para verificar o refutar las hipótesis sobre sus funciones dentro del sistema. Planificación de trabajos sobre temas especializados que requieren estudios en profundidad.
- 6.- Investigaciones disciplinarias de los problemas referidos en el paso 5, en el contexto de las relaciones entre los dominios, de los subsistemas establecidas.
- 7.- Primera integración de los resultados obtenidos en el paso 6, lo cual conduce, generalmente a redefinir el sistema formulado en 3, e incluso a reformular las preguntas iniciales.
- 8.- Repetición de las fases 5 y 6 en relación con la nueva definición del sistema.
- 9.- Segunda integración de resultados y nueva redefinición del sistema.
- 10.- Repetición sucesiva de las fases 8 y 9 tantas veces como sea necesario hasta llegar a una explicación coherente que dé cuenta de todos los hechos

observados y responda a las preguntas que han ido surgiendo en el proceso descrito.

2.7 Literatura citada

Calenbuhr, V. (2020). Complexity science in the context of policymaking. En V. Šucha & M. Sienkiewicz (Eds.), *Science for policy handbook* (pp. 119–127). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822596-7.00011-5>

Campi, M., Dueñas, M., & Fagiolo, G. (2021). Specialization in food production affects global food security and food systems sustainability. *World Development*, 141, 105411. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105411>

De la Reza, G. A. (2010). *Sistemas complejos: Perspectivas de una teoría general*. Anthropos.

El Bilali, H., Strassner, C., & Ben Hassen, T. (2021). Sustainable agri-food systems: Environment, economy, society, and policy. *Sustainability*, 13(11), 6260. <https://doi.org/10.3390/su13116260>

Ericksen, P. J. (2008). Conceptualizing food systems for global environmental change research. *Global Environmental Change*, 18(1), 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2007.09.002>

FAO. (2018). *El desafío de la nutrición: Soluciones desde los sistemas alimentarios*. FAO. <https://www.who.int/es/publications/i/item/WHO-NMH-NHD-18-10>

Forrester, J. W. (1961). *Industrial dynamics*. MIT Press.

Gaitán-Cremaschi, D., Klerkx, L., Duncan, J., Trienekens, J. H., Huenchuleo, C., Dogliotti, S., Contesse, M. E., & Rossing, W. A. H. (2019). Characterizing

- diversity of food systems in view of sustainability transitions: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 39(1). <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0550-2>
- García, R. (2006). *Sistemas complejos: Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Gedisa.
- Gentili, P. L. (2021). Why is complexity science valuable for reaching the goals of the UN 2030 Agenda? *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali*, 32(1), 117–134. <https://doi.org/10.1007/s12210-020-00972-0>
- Haynes, P., & Alemna, D. (2022). A systematic literature review of the impact of complexity theory on applied economics. *Economies*, 10(8), 192. <https://doi.org/10.3390/economies10080192>
- HLPE. (2018). *La nutrición y los sistemas alimentarios*. Grupo de Alto Nivel de Expertos en Seguridad Alimentaria y Nutrición, FAO. <http://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe/informes/es/>.
- Lapina, E. N., Sobchenko, N. V., Kuleshova, L. V., & Shamrina, S. Y. (2015). Regional agriculture, food supply systems and competitiveness of agriculture production industries in Stavropol Territory. *Asian Social Science*, 11(6), 92–98. <https://doi.org/10.5539/ass.v11n6p92>
- Manyise, T., & Dentoni, D. (2021). Value chain partnerships and farmer entrepreneurship as balancing ecosystem services: Implications for agri-food systems resilience. *Ecosystem Services*, 49, 101279. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101279>
- Meadows, D. H. (1999). *Leverage points: Places to intervene in a system*. Sustainability Institute. <https://donellameadows.org/archives/leverage-points-places-to-intervene-in-a-system/>
- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in systems: A primer*. Earthscan.

- Muflikh, Y. N., Smith, C., Brown, C., & Aziz, A. A. (2021). Analysing price volatility in agricultural value chains using systems thinking: A case study of the Indonesian chilli value chain. *Agricultural Systems*, 192, 103179. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103179>
- Panel Mundial sobre Agricultura y Sistemas Alimentarios. (2016). *Sistemas alimentarios y dietas*. Global Panel on Agriculture and Food Systems for Nutrition. <https://www.glopan.org/foresight>
- Pérez, J. J., & Razz, R. (2009). La teoría general de los sistemas y su aplicación en el estudio de la seguridad agroalimentaria. *Revista de Ciencias Sociales*, 15(3), 486–498.
- Quiñones, R. M., & Haynes, L. (2003). Asuntos sociales, ciencia del comportamiento y teoría de la complejidad. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 35(3), 317–327.
- Rodríguez Zoya, L. G., & Roggero, P. (2015). Modelos basados en agentes: Aportes epistemológicos y teóricos para la investigación social. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 60(225), 227–262.
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. Doubleday.
- Snyder, S. (2013). The simple, the complicated, and the complex: Educational reform through the lens of complexity theory. *OECD Education Working Papers*, No. 96. <https://doi.org/10.1787/5k3txnpt1lnr-en>
- Sterman, J. D. (2000). *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill.
- Soler, B. Y. (2017). Teorías sobre los sistemas complejos. *Administración y Desarrollo*, 47(2), 52–69.

- Stefanovic, L., Freytag-Leyer, B., & Kahl, J. (2020). Food system outcomes: An overview and the contribution to food systems transformation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 546167. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.546167>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T. D., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. FAO.
- Van Gigch, J. P. (2017). *Teoría general de sistemas* (3.^a ed.). Trillas.
- Walder, P., Sinabell, F., Unterlass, F., Niedermayr, A., Fulgeanu, D., Kapfer, M., Melcher, M., & Kantelhardt, J. (2019). Exploring the relationship between farmers' innovativeness and their values and aims. *Sustainability*, 11(20), 5571. <https://doi.org/10.3390/su11205571>
- Weaver, W. (1948). Science and complexity. *American Scientist*, 36 (4), 536–544. <https://www.jstor.org/stable/27826254>

3 ANÁLISIS MULTIDIMENSIONAL DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE LECHE EN VERACRUZ: UN ENFOQUE DESDE LA ESTRATEGIA DE ACOMPAÑAMIENTO TÉCNICO (EAT) ³

Resumen

Los sistemas de producción lechera en México presentan alta heterogeneidad productiva y organizativa, lo que dificulta el diseño de políticas diferenciadas. El objetivo de este estudio fue caracterizar a los beneficiarios de la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT) en la región centro de Veracruz, mediante un enfoque multidimensional. Se aplicaron análisis de clúster y discriminante a 140 unidades de producción, utilizando como base la productividad por vaca y el tamaño del hato. Se identificaron tres grupos: especializado, semi especializado y extensivo. Los sistemas especializados mostraron mayor eficiencia productiva y adopción tecnológica, pero también mayor incidencia de enfermedades. En contraste, los extensivos presentaron menor productividad, mayores superficies y limitaciones estructurales. La EAT ha promovido mejoras en calidad, alimentación y organización, aunque persisten desafíos en focalización de recursos y adopción tecnológica. Los resultados permiten establecer lineamientos para intervenciones diferenciadas que contribuyan al desarrollo sostenible del sector lechero.

Palabras clave: sistemas de producción de leche; ganadería; servicios de extensión pecuaria; política pública; clasificación, análisis multivariado.

³ Artículo enviado a la revista Acta Agrícola y Pecuaria. Estatus: en revisión. Autores: Mario Antonio Hernandez-Velasquez, M.A.; Cervantes-Escoto, F.; Espinoza-Ortega, A.; Sagarnaga-Villegas, L.M.; y Romero-García, L.E.

Abstract

Dairy production systems in Mexico are highly heterogeneous, limiting the design of targeted development policies. This study aimed to characterize beneficiaries of the Technical Support Strategy (EAT) in central Veracruz using a multidimensional approach. Cluster and discriminant analyses were applied to 140 production units, based on milk yield per cow and herd size. Three groups were identified: specialized, semi-specialized, and extensive. Specialized systems showed greater productive efficiency and higher technological adoption, but also greater disease incidence. In contrast, extensive systems showed lower productivity, larger land areas, and structural constraints. The EAT has supported improvements in milk quality, feeding, and farmer organization, although challenges remain in resource targeting and technology adoption. The results offer a basis for designing differentiated interventions that support the sustainable development of the dairy sector.

Key words: milk production systems; livestock; livestock extension services; public policy; classification; multivariate analysis.

3.1 Introducción

A nivel internacional, la producción de leche es una actividad de gran relevancia, que involucra a alrededor de 150 millones de hogares, principalmente en países en desarrollo. Es realizada en su mayoría por productores de pequeña escala y contribuye a los ingresos de las familias, a la seguridad alimentaria y a la nutrición de los hogares (FAO, 2023a; Marín-Santana *et al.*, 2023; Nyambo y Clemen, 2023). La producción lechera genera ingresos en efectivo de forma relativamente rápida, lo que la convierte en una fuente importante de liquidez para los hogares (Gómez-Miranda *et al.*, 2022). En las últimas dos décadas la producción mundial de leche ha experimentado un crecimiento de aproximadamente 54%; los países en desarrollo han aumentado su participación en la producción mundial. El incremento se debe principalmente a la expansión del tamaño del hato destinado a la producción y no al aumento de la productividad por animal (Barkema *et al.*, 2015; FAO, 2023b).

En el contexto nacional, México alcanzó una producción lechera estimada en 13.3 mil millones de litros en 2023 (SIAP, 2023). La actividad se desarrolla en todo el país, bajo diversos sistemas de producción, identificándose cuatro modelos predominantes: especializado, semi especializado, lechería familiar y doble propósito; cada uno adaptado a condiciones climáticas locales (Cuevas Reyes *et al.*, 2016). Aunque la producción se distribuye a lo largo del territorio mexicano, diez estados contribuyen aproximadamente con el 80% del volumen total, liderados por Jalisco, Coahuila y Durango, con sistemas especializados y hatos estabulados. Por otra parte, Veracruz, con sistemas de doble propósito en pastoreo, se posiciona como una región importante en actividad pecuaria, ocupando el sexto lugar entre las principales entidades federativas productoras en 2022, con una producción cercana a los 793 millones de litros, equivalente al 6% del total nacional (SIAP, 2025), donde destaca la zona centro del estado, en la que se utiliza ganado Holstein, Jersey y cruza con Cebú en sus diferentes razas (Indubrasil, Sardo Negro, Gyr, Brahmán) además, de otras como la Brangus y Simmental (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009).

A pesar de su relevancia, los sistemas de producción de leche (SPL) en México enfrentan múltiples desafíos, tales como los bajos precios de venta, el abandono de la actividad, la presión competitiva de la leche en polvo importada, la degradación de los pastos, el uso extensivo de la tierra, los bajos niveles de producción, la nutrición inadecuada del ganado y un manejo reproductivo deficiente (Camacho-Vera *et al.*, 2017; Sánchez *et al.*, 2020; Sarabia-Salgado *et al.*, 2023). La complejidad de estos sistemas, junto con la interacción entre factores internos y externos generar retos significativos para los productores, quienes a menudo deben recurrir a estrategias empíricas basadas en tradiciones familiares y en su experiencia acumulada para enfrentar condiciones cambiantes y adversas (Navarro *et al.*, 2021).

En respuesta a esta situación, en 2021 se implementó en México la “Estrategia de Acompañamiento Técnico del Programa Producción para el Bienestar” (EAT) aplicada en el sistema leche nacional, apoyando a productores con Unidades de Producción Pecuaria (UPP) de pequeña y mediana escala, con hatos de hasta cien vacas. A la fecha beneficia a 2500 productores en toda la República, teniendo como principal objetivo, elevar la productividad de los hatos y por tanto ayudar a aumentar la oferta nacional, para disminuir la dependencia de importaciones. Es importante mencionar que la EAT atiende a los productores mediante cursos y talleres en temas clave, como limpieza, manejo de alimentación, reproducción, sanidad, producción y manejo de forrajes, atención de becerras para la crianza y administración y producción de bio-insumos. También ofrece atención personalizada a los productores en sus establos, a través de técnicos. Donde cada uno debe brindar asesoría a un mínimo de 25 ganaderos, realizando al menos una visita mensual a las instalaciones de la UPP, además de las actividades programadas como talleres de capacitación, entre otras acciones (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a).

La asistencia técnica, como componente de los servicios de extensión, es fundamental para el desarrollo del sector rural (Zamora *et al.*, 2017). Este tipo de apoyo responde a la necesidad de transferir conocimientos y tecnologías

agrícolas a los productores rurales, con el fin de mejorar la producción y la calidad de vida en las zonas rurales (Saravia, 1985; Swanson y Claar, 1987). Este proceso educativo extiende el trabajo de las universidades y centros de investigación a la comunidad, permitiendo que los avances científicos y tecnológicos beneficien directamente a los agricultores y sus familias (Aguilar-Ávila *et al.*, 2015; Santos Chávez *et al.*, 2019). Sin embargo en México, el servicio de extensión rural, es visto como un esfuerzo disperso y desarticulado a través de programas de capacitación y asistencia técnica dirigidos a la productividad como meta y en el productor sólo como un elemento adoptante de la tecnología (Rendón *et al.*, 2015). Además, Landini *et al.*, (2021) sugieren que los nuevos desafíos en el desarrollo agrícola requieren que los sistemas de extensión agrícola vayan más allá de su función tradicional de transferir tecnologías y conocimientos para aumentar la producción y la productividad e incluyan muchos otros objetivos, como el desarrollo rural y, las capacidades empresariales y gerenciales de los productores (Aguilar-Ávila *et al.*, 2015).

Dado este contexto, es crucial realizar una caracterización de forma integral de los SPL, que abarque a sus actores, sistemas de producción, rasgos del hato y su contribución productiva (Alexandre *et al.*, 2021). No obstante, es necesario retomar el papel de la EAT y su implementación en el desempeño de las UPP en la región. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación es clasificar y analizar los SPL en la mencionada región, que articulan los productores beneficiarios de “La Estrategia de Acompañamiento Técnico del Programa Producción para el Bienestar”; a través de un enfoque multidimensional (social, económico, productivo y tecnológico). Con lo anterior, se busca contribuir al conocimiento de estos sistemas y a la identificación de estrategias para mejorar su eficiencia y sostenibilidad.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en la región central del estado de Veracruz, caracterizada por su orientación hacia la producción y venta de leche, tanto en la comercialización directa como en la elaboración de quesos frescos y madurados (García-Rodríguez *et al.*, 2022). Los municipios estudiados fueron: Acajete, Acatlán, Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Chiconquiaco, Juchique de Ferrer, Las Vigas de Ramírez, Miahuatlán, Naolinco, Rafael Lucio, Tepetlán, Tlacolulan, Tonayán y Xico. Estos se sitúan en el Eje Neovolcánico, entre las coordenadas extremas de 19°56' y 19°19' de latitud norte, y -96°24' y -97°10' de longitud oeste (INEGI, 2010).

3.2.2 Origen de los datos

La información se recabó entre julio y septiembre de 2023 mediante encuestas estructuradas aplicadas a un total de 140 productores de leche inscritos en el padrón de beneficiarios de la EAT. Es importante señalar que el número total de encuestados incluyó únicamente a aquellos productores que estuvieron dispuestos a participar, lo cual representó el 70% de la población beneficiaria. Por lo tanto, el muestreo se clasifica como no probabilístico, específicamente de tipo "por conveniencia" (Creswell y Poth, 2018; Santos-Lavalle *et al.*, 2023).

Para abordar la multidimensionalidad de los SPL, la información recabada se clasificó en cuatro dimensiones: social, económica, productiva y tecnológica. Esta categorización sigue los hallazgos de Hall y Clark (2010) y Asif *et al.* (2023) quienes aplicaron herramientas como el Desarrollo de Mapas Temáticos (DMT) y Diagramas de Bucles Causales (DBC). Estas herramientas facilitan el análisis de los sistemas complejos, permitiendo simplificar la información sin comprometer su integridad. A continuación, se describen las variables utilizadas en cada dimensión.

La dimensión social se centra en las características de los productores: género, escolaridad (años), edad, asistencia técnica (años) participación organizacional (sí=1/no=0).

La dimensión económica incluyó los aspectos de mercado en la producción lechera, abarcando la diversidad de los canales de comercialización utilizados (entendidos como la suma de vender o no leche a queseros, centros de acopio Liconsa, centros de acopio privados, consumidor final, auto procesamiento u otros), la diversidad de ingresos de la UPP (la suma de vender reemplazos, becerros y toretes), la recepción de pagos diferenciados basados en la calidad de la leche (sí=1/no=0), el registro de sus costos de producción (sí=1/no=0) y actividades adicionales de generación de ingresos en el hogar (sí=1/no=0).

La dimensión productiva se centra en los resultados de los procesos técnicos y biológicos involucrados en la producción de leche. En este análisis, se recopiló información sobre la cantidad producida por vaca por día, por hato y por unidad de superficie (litros), carga animal (UA/ha) utilizando los valores de conversión de unidades animal señalados por el Diario Oficial de la Federación (1969), así como el número de vacas en producción, en periodo seco y el tamaño total del hato.

La incidencia de enfermedades y condiciones clínicas se evaluó mediante una escala de 0 a 3, donde 0 indica "nunca" y 3 "siempre". Esta escala se aplicó a 13 categorías clave, y la puntuación total obtenida para cada unidad productiva se dividió entre la puntuación máxima posible (39) y se multiplicó por 100, generando un índice de incidencia con valores entre 0 (baja incidencia) y 100 (alta incidencia). Entre las enfermedades evaluadas se incluyeron mastitis (leve, moderada y severa), diarreas, neumonías, timpanismo y acidosis. Por otro lado, las condiciones clínicas analizadas fueron retención de placenta, abortos, partos distócicos, problemas de patas y una categoría abierta para otras condiciones relevantes. Los abortos y la retención de placenta, aunque no son enfermedades, se consideraron indicadores de salud reproductiva, ya que pueden derivar de

infecciones, deficiencias nutricionales o manejo inadecuado, influyendo directamente en la productividad del ganado.

Asimismo, se incluyó la superficie total destinada a la producción, medida en hectáreas, que abarca áreas de pastoreo, manejo del hato y cultivos agrícolas. Además, se consideraron dos variables dicotómicas (sí = 1/no = 0) para identificar si los productores llevaban registros de la producción de leche y del proceso de crianza y desarrollo. Por último, se evaluaron otros factores como la raza del hato, las condiciones climáticas, la variedad de pastos y el tipo de pastoreo, con el propósito de contextualizar las diferencias entre los grupos analizados.

Por último, la dimensión tecnológica incluyó las tecnologías y herramientas empleadas en el SPL. En esta dimensión se determinaron varios indicadores clave, como el índice de maquinaria y equipo, calculado como un porcentaje que mide la posesión de diferentes tipos de maquinaria o equipo, tales como el termo de inseminación artificial (IA), picadora, molino, mezcladora, ensiladora, empacadora, cerco eléctrico, tractor, entre otros. Para su cálculo, se utilizó una metodología basada en valores binarios, asignando un valor de 1 si el equipo estaba presente y 0 si no lo estaba. La suma total de estos valores representa el número de equipos disponibles, y al dividir esta suma entre el total de categorías evaluadas (9) y multiplicarla por 100, se obtuvo el índice expresado como porcentaje.

De manera similar, se calculó el índice de infraestructura utilizando la misma metodología, evaluando la disponibilidad de instalaciones como corrales de manejo, corrales, parideros, becerreras, echaderos, comederos, bodegas o cobertizos y silos. Además, se incluyeron otros aspectos tecnológicos relevantes, como el tipo de ordeña (manual=0/mecánica=1), posesión de tanque de enfriamiento (sí=1/no=0), método de reproducción (monta natural=0/inseminación artificial IA=1), detección de estros (sí=1/no=0), sincronización de estros (sí=1/no=0), diagnóstico de gestación (sí=1/no=0), manejo de excretas (sí=1/no=0), y la suplementación en la alimentación con concentrados de proteína y sales minerales (sí=1/no=0). El análisis de estas

variables permite una comprensión integral de los SPL, abarcando no solo los recursos disponibles, sino también las prácticas tecnológicas implementadas.

3.2.3 Clasificación de los sistemas

El agrupamiento de las diferentes UPP se realizó mediante un análisis de conglomerados de tipo jerárquico en tres etapas, utilizando como variables de conjunto: la producción por vaca por día y tamaño del hato, por dos razones: i) la EAT, busca aumentar la productividad de los SPL, dado que México no es autosuficiente en este láctico y ii) una de las limitantes para ser beneficiario es el tamaño del hato (menor a 100 cabezas). Este análisis tipológico se realizó con el objetivo de identificar y caracterizar grupos homogéneos de productores en función de su desempeño y recursos, lo cual permite establecer estrategias diferenciadas de intervención y apoyo en función de las necesidades y limitaciones de cada grupo.

Se utilizó la distancia euclidiana para determinar la similitud entre las UPP. Asimismo, se aplicó el método de agrupación de Ward para conformar los bloques afines y se estandarizaron los datos con puntuaciones Z (Pedemonte *et al.*, 2022); tomando como punto de corte el salto más significativo. En estudios previos las variables de aglomeración se determinaron mediante la facilidad de explicación de las diferencias entre grupos y por el objetivo general de la investigación (Camacho-Vera *et al.*, 2021; Aguilar-Jiménez *et al.*, 2023).

3.2.4 Validación del agrupamiento y representación gráfica

Se realizó un análisis canónico discriminante, dado que esta técnica estadística, permite conocer la efectividad de la formación de los grupo resultantes del análisis de clúster y también, asignar o clasificar a nuevos individuos dentro de los conjuntos ya reconocidos (Pérez, 2004; Hernandez-Velasquez *et al.*, 2022). Además, permite visualizar gráficamente la distribución de los grupos a partir de las puntuaciones de las funciones canónicas discriminantes. En este análisis, se utilizó como variable dependiente los grupos formados y como independientes los indicadores que explican las diferencias entre estos.

3.2.5 Análisis estadístico

Se evaluó la distribución de los datos en cada variable cuantitativa, mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Se realizó una comparación de medias entre grupos utilizando ANOVA (para variables que cumplieron con el supuesto de normalidad), y la prueba de Kruskal Wallis (para aquellas que no se distribuyen normalmente). Las medias de las primeras se compararon con ANOVA y se sometieron a comparaciones múltiples con la prueba Scheffé ($p < 0.10$) para identificar diferencias específicas entre los grupos. Por otra parte, las variables analizadas mediante Kruskal Wallis se sometieron a comparaciones múltiples con el método Test U de Mann-Whitney. Para las variables dicotómicas el análisis consistió en pruebas de χ^2 (chi-cuadrada) para determinar la posible influencia entre pertenecer o no a determinado grupo, asimismo, se realizaron pruebas de comparación múltiple mediante la prueba Z. Los procedimientos estadísticos, el análisis de clúster y canónico discriminante se procesaron con el Software SPSS en su versión 27.0. Además, la visualización de datos se realizó con el Software R versión 4.3.0.

3.3 Resultados y discusión

Los hallazgos de la investigación se dividen en tres: primero, se presentan los resultados obtenidos del análisis de clúster; en segundo momento, lo referente al canónico discriminante; por último, se discuten las principales diferencias entre los grupos formados a partir de las dimensiones propuestas. Es importante recalcar que los resultados encontrados, sugieren características distintivas entre conjuntos, a partir de la producción de leche por vaca por día y el tamaño del hato. Y estas particularidades, se describen tomando en cuenta el pensamiento de Morin (1984), pues en ellos se distingue al sujeto, el objeto, el entorno y las interacciones conjuntas.

3.3.1 Análisis de clúster

De acuerdo con el examen visual-cualitativo del dendograma y realizando el corte en el valor 7.5 de la distancia de aglomeración re-escalada (Figura 4) se observan tres grupos de UPP formados a partir de las variables: productividad por vaca por día y tamaño del hato (Cuadro 1). El grupo uno quedó conformado por 72 UPP, el dos por 48 y el tres por 20.

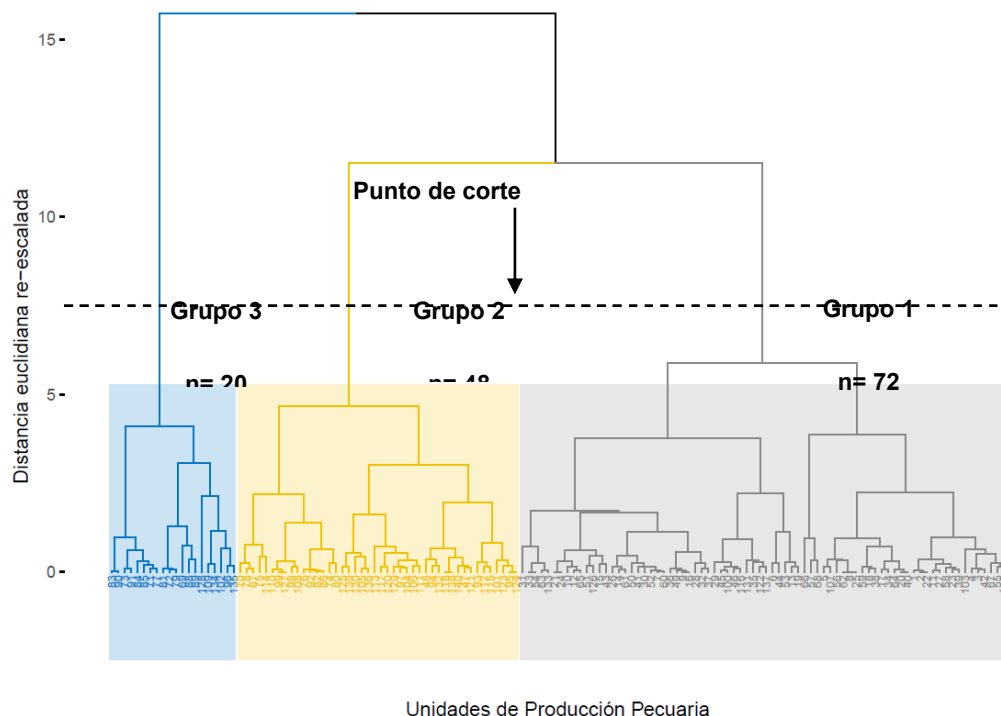


Figura 4. Dendograma de las UPP bovino-leche de la región centro de Veracruz, México

Fuente: elaboración propia

Cuadro 1. Variables utilizadas en el agrupamiento (n=140) de productores de leche en la región centro de Veracruz, México

	Producción por vaca (litros/vaca/día)	Tamaño del hato (cabezas)
Media	11.98	29.89
Mínimo	1.01	2.00
Máximo	30.20	99.00
DE	5.78	19.67
CV (%)	48.24	65.80

DE=Desviación estándar; CV=Coeficiente de variación

Fuente: elaboración propia

3.3.2 Análisis canónico discriminante

Conforme a esta técnica estadística (Cuadro 2) el 96.4% de las UPP están agrupadas correctamente. En suma, se obtuvieron dos funciones canónicas; la número uno, explica 73.90% de la variabilidad de los 30 atributos introducidos y la dos el restante 26.10%. Los autovalores en ambas funciones fueron mayores a uno, lo que indica una contribución significativa de cada función en la discriminación entre grupos.

En la primera función, las variables más relevantes para la discriminación entre grupos son 22, aunque se destacan tres, porque son las más influyentes: la productividad por vaca por día, el tamaño del hato y la superficie total destinada a la producción e instalaciones. Este resultado era esperado, dado que las dos primeras variables fueron utilizadas para la clasificación inicial de las UPP. En cuanto a la segunda función, se observa que las variables que acentúan la diferenciación entre grupos son la cantidad de vacas en producción, la diversificación de los canales de comercialización de la leche y el acceso a asistencia técnica.

Cuadro 2. Matriz de estructuras el análisis canónico discriminante

Variables	Función canónica discriminante	
	1	2
Producción por vaca (L/vaca/día)	0.594*	0.346
Tamaño del hato (cabezas)	-0.455*	0.404
Superficie total (has)	-0.383*	0.200
Sincronización de estros (Sí/No)	0.333*	0.240
Suplementación mineral (Sí/No)	0.332*	0.169
Vacas en producción (cabezas)	-0.261	0.334*
Registros de crianza (Sí/No)	0.165	0.263*
Vacas secas (cabezas)	-0.194	0.263*
Asistencia técnica (años)	0.137	0.178*
Diversidad canales de comercio	0.026	0.112*

*Estadísticamente significativa ($p < 0.05$). La mayor correlación absoluta entre cada variable y cualquier función discriminante. Solo se muestran las cinco variables con mayor importancia dentro de cada función discriminante.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 5 se muestra la distribución de los tres grupos de UPP, de acuerdo con sus puntuaciones en las funciones canónicas discriminantes. En la función uno, las tres variables con mayor correlación significativa fueron: la producción por vaca por día, tamaño del hato y superficie total, las últimas dos con correlación negativa. Lo anterior implica que las UPP del grupo 1, ubicadas a la derecha de los grupos 2 y 3 en el plano horizontal, se caracterizan por generar la mayor cantidad de litros de leche por vaca por día. Mientras que las otras presentan menores rendimientos.

En el plano vertical, las cinco variables con mayor importancia positiva son: la cantidad de vacas en producción, si llevan a cabo el registro de crianza y desarrollo, el número de vacas en periodo seco, la asistencia técnica y la diversidad de canales de comercialización, entendiendo esta última, como la suma de vender (o no) a algunos actores de la cadena productiva, por ejemplo, centro de acopio Liconsa, queseros, consumidor final. Por lo tanto, las UPP ubicadas en la parte superior de la figura (eje y) presentan mayores valores en todas estas variables.

A partir de las características distintivas de cada grupo, se les denominó como "especializado" (52% de las observaciones), "semi especializado" (34%) y "extensivo" (14%). Destaca la alta proporción en el grupo "especializado", lo que refleja una mayor disposición a participar en la EAT, a pesar de la ausencia de incentivos monetarios para los productores, en comparación con otras intervenciones gubernamentales actuales.

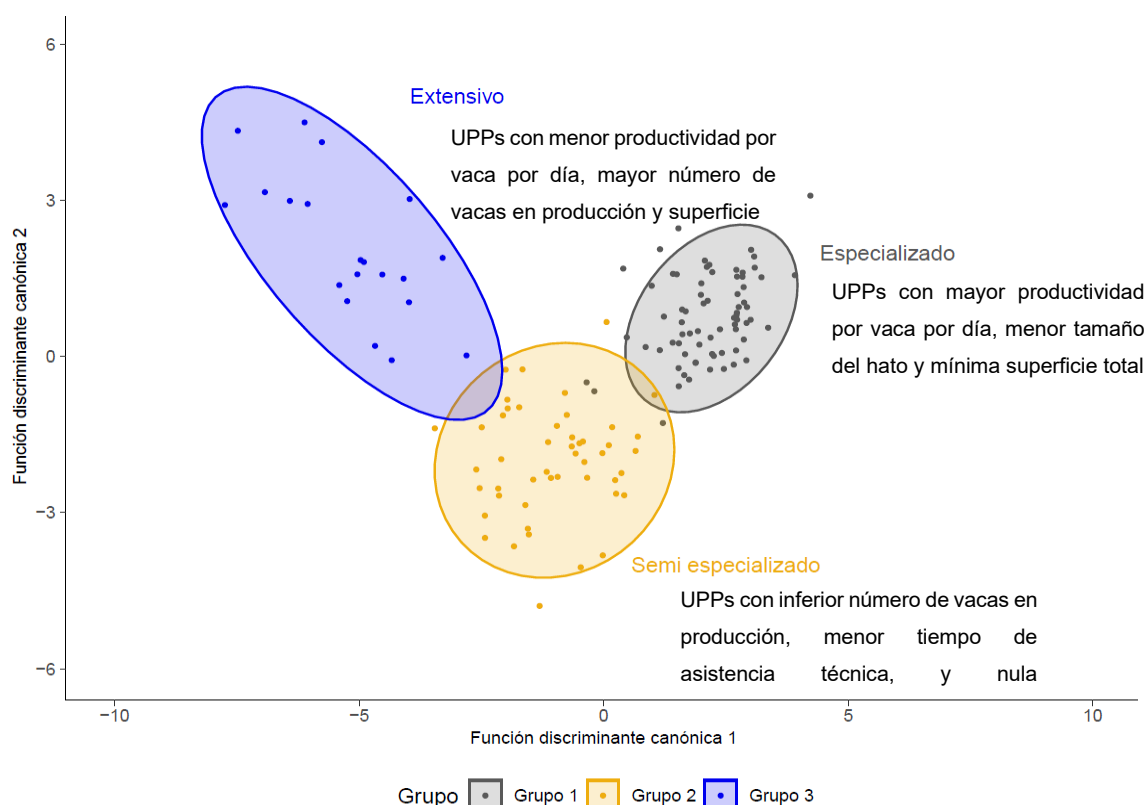


Figura 5. Distribución de las 140 UPP bovino-leche de la región centro de Veracruz, México, analizadas mediante análisis discriminante

Fuente: elaboración propia

El contorno de los grupos aglomera el 95% de las observaciones

3.3.3 Dimensión social

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en tres variables (Cuadro 3). La edad fue una de las variables más relevantes, ya que afecta directamente la eficiencia en la actividad. Los productores que dirigen las actividades de las UPP analizadas, tienen en promedio, más de 54 años, siendo aquellos, pertenecientes a los grupos especializado y semi especializado los que presentan valores significativamente menores ($p < 0.013$). Se ha documentado que los productores mayores de 60 años tienden a manifestar bajos niveles de escolaridad y escasa tasa de relevo generacional (Vences-Pérez *et al.*, 2021). En la región Frailesca de Chiapas, la edad promedio de los productores dedicados a la ganadería oscila entre 56 y 67, siendo los de menor edad los que presentan mejores valores de productividad en su hato (Aguilar-Jiménez *et al.*, 2023). Como

lo indican Romo-Bacco *et al.* (2014) esta variable es un factor clave en la pequeñas unidades de producción lechera (menores a 50 vacas en ordeña) especialmente porque se observa un ciclo de vida del ganadero, en el que los jóvenes que deciden incorporarse, se dedican a perfeccionar la actividad, consolidando su eficiencia en una edad de 46-64 años mediante la adquisición y operación eficiente de tierras, animales, equipo y tecnología.

Cuadro 3. Valores promedio ($\pm$ error estándar) de indicadores de la dimensión social de productores de leche de la región centro de Veracruz, México

Grupo	Especializado n=72	Semi especializado n=48	Extensivo n=20	Valor de P
Indicadores				
Edad (años)	52.90 $\pm$ 1.54 ^a	54.06 $\pm$ 2.15 ^a	63.25 $\pm$ 2.96 ^b	0.013
Escolaridad (años)	10.14 $\pm$ 0.48 ^a	10.17 $\pm$ 0.63 ^a	8.80 $\pm$ 1.23 ^a	0.576
Asistencia técnica (años)	3.51 $\pm$ 0.38 ^c	1.08 $\pm$ 0.26 ^a	1.50 $\pm$ 0.17 ^b	0.001
*Género (Masculino, %)	90.30 ^a	89.60 ^a	85.00 ^a	0.794
*Pertenece a una organización (Sí, %)	79.20 ^a	85.40 ^{ab}	100.00 ^b	0.074

a, b, c Diferentes letras en la misma fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.10$).

*Calculado con la prueba de χ^2

Fuente: elaboración propia

En cuanto a la escolaridad, no se encontraron diferencias significativas entre grupos ($p > 0.100$). Sin embargo, el promedio general supera los nueve años, lo que indica que como mínimo, han terminado la educación secundaria. Este nivel es elevado en comparación con otras regiones del país, donde la escolaridad suele limitarse a primaria o secundaria incompleta. Se han encontrado diversas relaciones entre la edad y la escolaridad. Diversos estudios muestran una asociación entre edad y escolaridad: a mayor edad, menor nivel educativo, lo que puede limitar la adopción tecnológica y la disposición a recibir asesoría técnica (Aguilar *et al.*, 2013; Ojeda-Carrasco *et al.*, 2020). Además, en el estado de Hidalgo se detectó una correlación positiva entre la escolaridad y la generación de utilidades en unidades de producción de leche (Espejel-García *et al.*, 2016). Respecto a la asistencia técnica, se encontraron diferencias significativas, donde los productores más jóvenes son los que la han recibido por más tiempo ($p < 0.001$). Es importante destacar que todos los encuestados han obtenido

acompañamiento técnico por parte de la EAT durante al menos un año. Éste se ha centrado, además de la productividad, en prácticas para mejorar la calidad de la leche y, de este modo, permitir que los beneficiarios accedan a mejores precios. La asistencia técnica es un factor clave para aumentar la producción, ya que habilita el desarrollo de capacidades que generan cambios positivos en la actividad. Se ha demostrado que este aspecto marca la diferencia en los niveles productivos y en consecuencia en los ingresos percibidos (Espinoza-Ortega *et al.*, 2005).

La producción de leche en la región centro del estado de Veracruz, está marcada por una alta participación del género masculino, con un 89%, cifra que coincide con el último censo agropecuario, que reporta una participación del 90.70% a nivel estatal (INEGI, 2023). No se encontraron diferencias significativas entre grupos en este aspecto, lo que indica que el género no influye en la pertenencia a un determinado grupo.

En cuanto a la pertenencia a una organización, se observa una tendencia positiva en todos los grupos, ya que refleja uno de los objetivos de la EAT en leche; y es que puedan consolidarse a través de la conformación de asociaciones de ganaderos. La EAT pone énfasis en la organización de los productores para que, de manera conjunta, acopien leche, ya sea para venta líquida a Liconsa o cualquier otro comprador, o para que elaboren queso u otros derivados. Algunas de las propuestas generadas desde la misma, son la venta directa de leche pasteurizada fría y de calidad, a un precio 30-40% menor que el de otras leches envasadas que hay en el mercado. Para venderla se propone utilizar dispensadores automáticos para evitar el intermediarismo. Ejemplo de esto es la existencia de al menos 21 dispensadores promovidos por la EAT en el estado de Chihuahua (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a).

3.3.4 Dimensión económica

Se identificó que los productores pertenecientes al conjunto extensivo obtienen los mejores precios por litro de leche, aproximadamente \$10.00 M.N. (Cuadro 4).

Esta diferencia puede explicarse por el pago por calidad de leche, dentro de esta misma dimensión, donde se encontraron diferencias significativas entre grupos ($p<0.016$). Esta brecha también es sugerida por la venta de este lacticíneo a través del canal de comercialización de Liconsa. Este actor fomenta la producción de calidad, generando un esquema de incentivos y castigos con base en los contenidos de grasa, sólidos no grasos, proteínas, entre otros. Actualmente paga a los productores hasta \$11.50 M.N. el litro, lo que ha impactado en el aumento de captación de leche en los centros de acopio de Liconsa, pasando de 345.2 millones de litros en 2022, a 576.2 en 2023 a nivel nacional, lo que significó un incremento de 65% (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2024).

Cuadro 4. Valores promedio ($\pm$ error estándar) de indicadores de la dimensión económica de productores de leche de la región centro de Veracruz, México

Grupo	Especializado n=72	Semi especializado n=48	Extensivo n=20	Valor de P
Indicadores				
Precio de la leche (\$/L)	9.58 $\pm$ 0.09 ^a	9.51 $\pm$ 0.11 ^a	9.99 $\pm$ 0.13 ^b	0.048
Diversidad canales de comercio	1.11 $\pm$ 0.04 ^b	1.00 $\pm$ 0.00 ^a	1.10 $\pm$ 0.06 ^b	0.083
Diversidad ingresos UPP	2.50 $\pm$ 0.14 ^c	1.56 $\pm$ 0.13 ^b	1.25 $\pm$ 0.17 ^a	0.001
Venta reemplazos (cabezas)	2.57 $\pm$ 0.32 ^b	0.98 $\pm$ 0.27 ^a	0.60 $\pm$ 0.50 ^a	0.001
Venta becerros (cabezas)	3.51 $\pm$ 0.40 ^b	1.35 $\pm$ 0.37 ^a	1.05 $\pm$ 0.79 ^a	0.001
Venta toretes (cabezas)	1.25 $\pm$ 0.28 ^b	0.33 $\pm$ 0.21 ^a	0.75 $\pm$ 0.75 ^a	0.012
*Pago por calidad (Sí, %)	50.00 ^a	62.50 ^a	85.00 ^b	0.016
*Registro de costos (Sí, %)	50.00 ^a	43.80 ^a	35.00 ^a	0.465
*Actividades extra UPP (Sí, %)	44.60 ^b	25.00 ^a	20.00 ^a	0.031

a, b, c Diferentes letras en la misma fila indican diferencia estadística significativa

($p<0.10$). *Calculado con la prueba de χ^2

Fuente: elaboración propia

Santos-Lavalle *et al.* (2023) identifican como el principal problema de los SPL de pequeña y mediana escala (hatos con menos de 100 cabezas) la baja competitividad, causada por niveles inferiores de productividad, la calidad insuficiente, acceso limitado a servicios de asistencia técnica y capacitación, y el desarrollo organizacional reducido. Al respecto, los objetivos principales de la EAT han sido aumentar la productividad y calidad de la leche (Secretaría de

Agricultura y Desarrollo Rural, 2023b) atendiendo las principales causas de la competitividad deficiente. Sin embargo, la buena respuesta no solo se ha reflejado en el abasto de leche a los centros de acopio Liconsa, sino también en la entrega con otros actores de la cadena productiva, por ejemplo, queseros y centros de acopio externos. Una variable asociada a lo anterior es la diversidad de canales de comercialización, en la cual, se encontraron diferencias estadísticamente significativas, siendo los grupos especializado y extensivo los que presentan mayor diversidad, es decir, entregan leche a más de un cliente, los cuales para los sistemas estudiados fueron: Liconsa (37.10%), centro de acopio externo (10%), quesero (55.70%), consumidor final (0.70%), auto proceso (1.40%) u otros (2.10%).

Por otra parte, la diversidad de ingresos de la UPP se evaluó mediante la suma de los tipos de productos vendidos dentro de la unidad de producción, aparte de la leche. En este sentido, se tomaron en cuenta tres cosas: venta de reemplazos, de becerros y de toretes. El grupo que presenta una mayor diversidad de venta y también de ingresos fue el especializado, con al menos dos tipos de productos. Mientras que los dos restantes se enfocan principalmente en la comercialización de becerros ($p < 0.001$). Lo anterior coincide con lo reportado por Vences-Pérez *et al.* (2021) quienes identificaron que la producción de leche es una actividad que genera beneficio económico, empero, se complementa con la venta de animales. Por último, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el registro de costos.

Otra característica importante de las UPP en la región es la diversificación de ocupaciones para la generación de ingresos dentro del hogar. En general, el 33% de los productores reportaron tener actividades económicas adicionales: 15% como empleado eventual, 37% como asalariado fijo y 48% con un negocio propio en la comunidad. Se observó que los productores del grupo especializado tienden a tener más actividades adicionales a la UPP, ya que el 44% de ellos reportaron tener otra ocupación, lo cual podría ser explicado parcialmente, por el hecho de que son los que tienen los hatos más pequeños. Estos hallazgos coinciden con

lo reportado por Ojeda-Carrasco *et al.* (2020) quienes sostienen que la actividad lechera se complementa con otras actividades relacionadas con el campo, o no, como la albañilería o negocios propios en la comunidad.

3.3.5 Dimensión productiva

Está refleja con mayor claridad las diferencias entre grupos, ya que se utilizaron dos variables de esta dimensión para realizar el agrupamiento (Cuadro 5). Se evaluaron 11 variables, incluidas dos dicotómicas, encontrándose diferencias estadísticamente significativas en todas. Factores como la raza del ganado, el tipo de clima y el manejo del pastoreo (y sus interacciones) determinan en gran medida el potencial productivo de las UPP (Alexandre *et al.*, 2021; Mussayeva *et al.*, 2023). Por lo anterior, primero se presentan las particularidades en las que se desarrollan los SPL (entorno) y después se enfatiza en las características de los grupos presentadas en la Cuadro 5.

Cuadro 5. Valores promedio ($\pm$ error estándar) de indicadores de la dimensión productiva de productores de leche de la región centro de Veracruz, México

Grupo Indicadores	Especializado n=72	Semi especializado n=48	Extensivo n=20	Valor de P
Producción por vaca (L/vaca/día)	16.72 $\pm$ 0.36 ^c	6.82 $\pm$ 0.57 ^b	3.19 $\pm$ 0.81 ^a	0.001
Producción del hato (L/hato/día)	180.20 $\pm$ 10.76 ^b	69.42 $\pm$ 8.39 ^a	68.40 $\pm$ 17.48 ^a	0.001
Producción por superficie (L/ha/día)	37.11 $\pm$ 4.83 ^b	7.35 $\pm$ 0.99 ^a	2.53 $\pm$ 0.45 ^a	0.001
Carga animal (UA/ha)	3.64 $\pm$ 0.42 ^b	1.83 $\pm$ 0.17 ^a	1.28 $\pm$ 0.14 ^a	0.001
Vacas en producción (cabezas)	10.85 $\pm$ 0.62 ^a	10.29 $\pm$ 0.65 ^a	23.90 $\pm$ 1.80 ^b	0.001
Vacas secas (cabezas)	2.26 $\pm$ 0.22 ^a	1.92 $\pm$ 0.26 ^a	7.60 $\pm$ 1.48 ^b	0.002
Tamaño del hato (cabezas)	22.00 $\pm$ 1.36 ^a	25.83 $\pm$ 1.50 ^b	68.05 $\pm$ 3.56 ^c	0.001
Índice incidencia de enfermedades (%)	24.14 $\pm$ 1.26 ^b	17.20 $\pm$ 1.23 ^a	14.99 $\pm$ 1.27 ^a	0.001
Superficie total (ha)	7.99 $\pm$ 0.79 ^a	17.95 $\pm$ 2.35 ^b	54.31 $\pm$ 6.34 ^c	0.001
*Registro de crianza y desarrollo (Sí, %)	86.10 ^b	33.30 ^a	50.00 ^a	0.001
*Registro de producción de leche (Sí, %)	66.70 ^a	66.70 ^a	95.00 ^b	0.036

a, b, c Diferentes letras en la misma fila indican diferencia estadística significativa

($p < 0.10$). *Calculado con la prueba de χ^2

Fuente: elaboración propia

Los productores encuestados poseen principalmente vacas Holstein (57%), Suizo (27%) y cruzas como Suizo-Cebú o Gyr-Suizo (16%). Ningún productor del

grupo extensivo posee razas puras Holstein o Suizo, a diferencia del grupo especializado, donde el 100% las utiliza, a pesar de trabajar bajo esquemas de pastoreo. Esto indica una mayor inversión y tecnificación en el grupo especializado, donde se priorizan razas con mayor potencial genético. Con relación al clima el 75% de las UPP de este grupo, se concentran en cinco municipios, tres de ellos con clima predominantemente templado con lluvias todo el año: Acajete (35%), Rafael Lucio (14%), y Chiconquiaco (7%), mientras en Naolinco (11%) y Miahuatlán (8%) se presentan condiciones de tipo semicálido húmedo con lluvias todo el año. En contra parte, el 100% de los productores con sistema extensivo se ubican en el municipio de Alto Lucero, con un clima cálido subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2010).

En cuanto al tipo de pastoreo se identificaron tres modalidades: i) el intensivo utilizado principalmente por el grupo especializado (58%), con alta rotación y utilizando cercos eléctricos, se caracterizan por una alta carga animal, periodos de pastoreo cortos (de hasta 24 horas) y descansos prolongados (hasta 60 días) con el objetivo de tener un manejo eficiente (Teague *et al.*, 2011); ii) el continuo por el grupo semi especializado (69%) y iii) el rotacional en el sistema extensivo (55%), se caracteriza por tener rotación de animales entre potreros, pero con menor carga animal que los intensivos y sin el uso de cerco eléctrico. El uso de pastos también varía según el grupo y las condiciones climáticas: en el grupo especializado, predominan Kikuyo (*Cenchrus clandestinum*, 33%) y Western (*Lolium multiflorum*, 26%); en el semi especializado, Estrella (*Cynodon plectostachyus*, 37%) y Privilegio (*Panicum maximum*, 20%); en el extensivo, Privilegio (34%) y Estrella (25%)

Respecto a las características de los grupos formados, se observó que la producción de leche por vaca por día es crucial en la ganadería, ya que determina la generación de utilidades. Las UPP encuestadas reportaron, en promedio, una productividad 12 L/vaca/día. Sin embargo, el especializado mostró un promedio significativamente más alto, con 16.72 litros ($p < 0.001$). Este nivel de productividad, a pesar de pertenecer a un SPL de pastoreo, supera tanto el

promedio mundial de 8.4 kg/vaca/día como el promedio nacional de 13.33 kg/vaca/día, según datos de la FAO (2023b). En los valles altos del centro de México, una región con clima templado subhúmedo, precipitaciones anuales promedio de 800 mm y altitudes entre 2,000 y 3,400 msnm, el rendimiento promedio bajo pastoreo continuo intensivo fue de 11.8 kg/vaca/día (López-González *et al.*, 2020). Por otro lado, en sistemas de pequeña escala en la misma región, con vacas Holstein pastoreando praderas de Kikuyo o Kikuyo sobresembrado con Centeno, se alcanzó una producción de 17 kg/vaca/día (Marín-Santana *et al.*, 2023). En otras zonas de México, los valores de productividad varían ampliamente. Camacho-Vera *et al.* (2021) reportaron de 7 a 10 litros de leche por vaca por día en la región Frailesca de Chiapas, mientras que Romo-Bacco *et al.* (2022) encontraron rendimientos de 22 a 30 litros por día en unidades de producción lechera especializadas bajo sistema estabulado en Aguascalientes.

A pesar de estos resultados, se identificó que más del 50% de las UPP evaluadas superan el promedio nacional, lo que sugiere que la EAT no logró focalizar adecuadamente sus recursos. De acuerdo con Anderson y Feder (2004) los servicios de extensión tienen mayor impacto en etapas tempranas de adopción tecnológica, cuando las brechas de información y productividad son más amplias. En este caso, la falta de focalización podría limitar los efectos esperados del acompañamiento técnico.

La literatura indica que factores como la raza, el manejo técnico y la disposición a adoptar tecnologías son determinantes para la productividad (Salinas-Martínez *et al.*, 2020). La resistencia a adoptar innovaciones y la permanencia de prácticas rudimentarias explican los bajos rendimientos en muchos sistemas extensivos. Este grupo representa, por tanto, un objetivo prioritario para futuras intervenciones de la EAT. Para los sistemas extensivos, se recomienda priorizar programas de financiamiento accesibles y la adopción de tecnologías adaptadas a sus condiciones, con el fin de superar las barreras estructurales que restringen su desempeño. Estudios previos han mostrado que los servicios financieros y el

acceso a tecnología apropiada son factores clave para mejorar la eficiencia en pequeños productores ganaderos (Anderson & Feder, 2004; Espejel-García *et al.*, 2016).

La carga animal también varió entre sistemas ($p < 0.001$): 3.64 UA/ha en el especializado, 1.83 en el semi especializado y 1.28 en el extensivo. Estos valores reflejan distintos niveles de intensidad en el uso del recurso forrajero, donde el sistema especializado maximiza el uso de la superficie, mientras que el extensivo parece adaptarse a limitaciones de forraje, infraestructura o tecnología. Una alternativa para mejorar la sostenibilidad en sistemas pastoriles es la ganadería regenerativa. Este enfoque promueve el pastoreo de múltiples potreros con estadías cortas, descansos largos e integración de especies, lo que puede incrementar la productividad y reducir el impacto ambiental (Teague *et al.*, 2011; Moojen *et al.*, 2024; Voisin *et al.*, 2024). La gestión regenerativa mejora la calidad del suelo, la infiltración de agua, la biodiversidad y el suministro de forraje, incrementando la resiliencia y rentabilidad de las UPP (Teague y Kreuter, 2020).

Adicionalmente, se observó que los productores con hatos más grandes y menor productividad tienen mayores extensiones de terreno ($p < 0.001$). Sin embargo, la productividad por superficie total fue significativamente diferente entre grupos, lo que sugiere rendimientos decrecientes a escala (Cuevas Reyes *et al.*, 2018). En este contexto, aumentar el número de animales no garantiza mejores resultados. Es necesario optimizar el uso de los recursos disponibles mediante prácticas más eficientes y sostenibles (Teague *et al.*, 2011). Moojen *et al.* (2024) proponen integrar ganado multiespecie como estrategia para mejorar el aprovechamiento de los recursos, aunque esta práctica requiere mayores capacidades técnicas y organizativas. En promedio, los productores cuentan con 18 ha para mantener un hato medio de 29 animales. Esta superficie incluye pastizales, áreas de cultivo y zonas de infraestructura.

Otro punto importante en los SPL es la incidencia de enfermedades. En este estudio, se evaluaron trece categorías clave: mastitis (leve, moderada y severa), diarreas, neumonías, timpanismo, acidosis, retención de placenta, abortos,

partos distócicos y problemas de patas. La incidencia de estas enfermedades y condiciones varió entre los grupos analizados, observándose una mayor prevalencia en aquellos con mayor productividad. Por ejemplo, la mastitis moderada presentó una incidencia del 43% en el grupo extensivo, frente al 35% en el semi especializado y al 46% en el especializado. De manera similar, problemas como la retención de placenta (15%, 28% y 33% respectivamente), acidosis (0%, 3% y 29%), timpanismo (0%, 2% y 18%) y abortos (7, 17 y 27%).

Por último, en las dos variables dicotómicas evaluadas, se muestra que existe una diferencia estadísticamente significativa en el uso de registros para el control de la UPP. El relacionado con la crianza y desarrollo se utiliza en mayor proporción en los sistemas especializados; y contrariamente a lo esperado, los productores del grupo extensivo afirmaron utilizar en mayor medida registros de producción de leche ($p < 0.036$). De acuerdo con Rangel *et al.* (2017) la ausencia de un sistema estandarizado de registros y formatos de control de los resultados productivos, se asocia con bajos niveles de formación y ausencia de visión empresarial.

3.3.6 Dimensión técnica

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todas (Cuadro 6) lo que refuerza las disimilitudes entre grupos de productores. El índice de maquinaria y equipo está establecido por la posesión o no de maquinaria y equipo determinado (picadora, molino, mezcladora, entre otros) encontrando que, los ganaderos con mayores valores en este indicador, es decir, más posesión de bienes, son los que pertenecen al grupo especializado. Por el contrario, en el índice de infraestructura, donde se evaluó la posesión de instalaciones, como corrales de manejo, comederos, bodegas, entre otros, fueron los pertenecientes al grupo extensivo los que presentaron valores más altos ($p < 0.001$).

El primer grupo de productores (especializado) se caracteriza por una mayor adopción de prácticas orientadas a mejorar la productividad. En este sentido, destaca el uso del ordeño mecánico ($p < 0.001$) presente en el 33% de los casos

totales, mientras que la doble ordeña se presenta en 54% de las UPP analizadas. Si bien ésta es una práctica común, algunos estudios han demostrado que la ordeña única diaria, puede mejorar la calidad de vida del productor y de los trabajadores, reducir los costos de la UPP, mejorar la fertilidad y el bienestar animal del hato, sin embargo, también está asociada a una reducción en la productividad de hasta un 26% (Lopez-Villalobos *et al.*, 2023; Murphy *et al.*, 2023).

Cuadro 6. Valores promedio ($\pm$ error estándar) de indicadores de la dimensión técnica de productores de leche de la región centro de Veracruz, México

Indicadores	Especializado n=72	Semi especializado n=48	Extensivo n=20	Valor de P
Índice de maquinaria y equipo	22.22 $\pm$ 1.56 ^b	9.95 $\pm$ 1.48 ^a	7.22 $\pm$ 2.31 ^a	0.001
Índice de infraestructura	29.76 $\pm$ 2.35 ^a	35.71 $\pm$ 3.50 ^a	56.42 $\pm$ 4.91 ^b	0.001
*Tipo de ordeña (Mecánica, %)	55.60 ^b	12.50 ^a	5.00 ^a	0.001
*Tanque de enfriamiento (Sí, %)	27.80 ^b	2.10 ^a	0.00 ^a	0.001
*Método de reproducción (IA, %)	58.30 ^c	18.80 ^b	0.00 ^a	0.001
*Detección de estros (Sí, %)	94.40 ^b	81.30 ^a	65.00 ^a	0.002
*Sincronización de estros (Sí, %)	77.80 ^b	14.60 ^a	0.00 ^a	0.001
*Diagnóstico de gestación (Sí, %)	95.80 ^c	79.20 ^b	35.00 ^a	0.001
*Manejo de excretas (Sí, %)	37.50 ^a	66.70 ^b	75.00 ^b	0.001
*Suplementación mineral (Sí, %)	94.40 ^c	39.60 ^b	15.00 ^a	0.001

a, b, c Diferentes letras en la misma fila indican diferencia estadística significativa ($p < 0.10$). *Calculado con la prueba de χ^2

Fuente: elaboración propia

La EAT ha priorizado la higiene en el proceso de ordeña como eje fundamental para garantizar la calidad de la leche. Este esfuerzo incluye la capacitación de especialistas y productores en técnicas simples y económicas, como la limpieza de pezones mediante el uso de toallas individuales y soluciones desinfectantes a base de yodo o sales cuaternarias de amonio. Estas medidas buscan prevenir la transmisión de bacterias causantes de mastitis, una enfermedad que compromete la calidad de la leche y genera infecciones en el hato (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2023a). No obstante, las Buenas Prácticas de

Ordeño son recomendaciones que han sido promovidas en México durante más de dos décadas (Moctezuma *et al.*, 2008).

Por otra parte, la posesión de tanques de enfriamiento es una particularidad distintiva del sistema especializado, con el 27% de los productores reportando contar con uno. Esta característica está asociada al modelo Holstein, el cual se apoya en el acceso a cadenas de frío, el uso de razas especializadas, mejoramiento genético y la inclusión de concentrados de proteína en la alimentación (Camacho-Vera *et al.*, 2017).

En cuanto a las variables relacionadas con la reproducción del hato, se observa que los productores con sistemas especializados tienen una mayor adopción de prácticas como la inseminación artificial (IA; 58%), detección y sincronización de estros, así como en el diagnóstico de la gestación. Por otra parte, en el conjunto semi especializado, solo el 18% de los productores utilizan la IA como método de reproducción. Esta práctica está fuertemente ligada a mayores índices de productividad, por el mejoramiento genético que provoca, lo cual explica que nadie la utilice en el grupo extensivo (0%). La detección de estros y el diagnóstico de gestación también ayuda, ya que además de mejorar la productividad, se tiene la posibilidad de elegir la mejor época para el empadre, es decir, seleccionar el periodo del año con mayor disponibilidad de forraje para que nazcan las crías, así como la producción becerros en lotes homogéneos, la posibilidad de incrementar el precio de venta y facilitar el manejo nutricional y sanitario del hato (Pérez-Ruiz *et al.*, 2022).

Sin embargo, estas prácticas reproductivas, altamente efectivas, parecen tener una implementación desigual que podría abordarse desde la EAT. Aunque la EAT ha priorizado aspectos como la alimentación, la salud animal y la organización de los sistemas productivos, podría incluir un componente más robusto de transferencia tecnológica en reproducción. Este componente podría enfocarse en promover la adopción de prácticas como la IA y el diagnóstico de gestación en sistemas semi especializados y extensivos, donde su uso es escaso o inexistente. Tal inclusión contribuiría significativamente al incremento de la

productividad y al fortalecimiento de la competitividad de estos grupos, particularmente al capacitar a los productores en los beneficios económicos y operativos que estas tecnologías aportan. En este sentido, una mayor integración de estas prácticas reproductivas dentro de la EAT podría mejorar no solo los índices de productividad, sino también la sostenibilidad y el manejo integral de los hatos.

Aunque en principio, la EAT en leche asumió dos áreas prioritarias: i) incrementar la productividad y ii) mejorar la calidad, en un segundo momento, se planteó la mejora en la alimentación del ganado. Una de las variables asociadas a esto, es la suplementación mineral y de concentrados de proteína, en donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre grupos. Aproximadamente el 94% de las UPP con sistema especializado si lo hacen, mientras que en el otro extremo (grupo extensivo) solo el 15%. Esta brecha de adopción no se relaciona con la EAT, sino con el objetivo productivo del responsable de la UPP. Sin embargo, Albarrán-Portillo *et al.* (2019) señalan que los forrajes o subproductos de menor costo que los concentrados comerciales, también pueden ser una alternativa para sostener la productividad de las vacas y de las praderas.

Lo anterior, concuerda con una de las estrategias implementadas por la EAT en la región y el sursureste del país, mediante la incorporación de un cultivo forrajero no convencional, la yuca. De acuerdo con Sommai *et al.* (2020) la yuca fermentada con levadura podría usarse como un componente clave en la alimentación animal, permitiendo sustituir parcialmente fuentes de proteína tradicionales, como la harina de soya. Este estudio resalta que su fermentación mejora la digestibilidad de los nutrientes, el consumo de materia seca y la fermentación ruminal. Aunque la raíz de yuca es naturalmente rica en carbohidratos y contiene bajos niveles de proteína cruda (2-3%). Wanapat y Kang (2015) señalan que, al combinarla con ingredientes ricos en proteína, es posible formular alimentos con contenido proteico significativamente elevado (hasta 47.5%). Esta combinación optimiza la fermentación ruminal, promoviendo un

incremento en la producción de leche y carne, lo que la convierte en una opción viable para mejorar la eficiencia productiva en sistemas de producción pecuaria.

3.4 Conclusiones

La clasificación y análisis de los SPL en la región centro del estado de Veracruz, beneficiarios de la Estrategia de Acompañamiento Técnico (EAT), permitió identificar diferencias clave en las dimensiones social, económica, productiva y tecnológica. Los sistemas especializados destacan por su alta adopción tecnológica y eficiencia productiva, pero enfrentan retos relacionados con altos índices de incidencia de enfermedades y la sostenibilidad ambiental. Por otro lado, los sistemas extensivos y semiespecializados presentan barreras estructurales significativas, como bajos niveles de inversión y acceso limitado a tecnologías, lo que perpetúa ciclos de retroalimentación negativa que limitan su desarrollo.

Estas diferencias pueden explicarse por factores endógenos y exógenos que influyen en la configuración y funcionamiento de cada sistema. Entre ellos se encuentran el clima, la disponibilidad de superficie, el tipo de forrajes y la racionalidad productiva particular de cada unidad, que da lugar a esquemas con uno, dos o más productos a lo largo del ciclo productivo. Esta diversificación productiva representa una dimensión adicional para comprender las dinámicas observadas y debería considerarse con mayor énfasis en el diseño de estrategias diferenciadas.

La implementación de la EAT tiene el potencial de abordar estas dinámicas al promover intervenciones diferenciadas que respondan a las necesidades específicas de cada sistema productivo. Para los sistemas extensivos, se recomienda priorizar programas de financiamiento accesibles y la adopción de tecnologías adaptadas a sus condiciones. En el caso de los sistemas especializados, se requiere fomentar prácticas sostenibles, como la ganadería

regenerativa, que contribuyan a reducir su dependencia de insumos externos y aumentar su resiliencia climática.

Asimismo, los resultados subrayan la importancia de fortalecer las asociaciones ganaderas como plataformas efectivas para la transferencia de tecnología, financiamiento y capacitación. Esto permitirá maximizar las interacciones positivas entre dimensiones sociales, técnicas y económicas, facilitando el desarrollo de estrategias más integradas y efectivas. Por último, este estudio ofrece una base para el conocimiento de los SPL en Veracruz y la formulación de estrategias orientadas a mejorar su eficiencia y sostenibilidad. Estas acciones, diseñadas desde un enfoque multidimensional y sistémico, son fundamentales para garantizar el desarrollo sostenible de los SPL y contribuir al bienestar de los productores y sus comunidades. Finalmente, los resultados presentados constituyen un punto de partida para futuros análisis de impacto de la EAT, considerando su relevancia como herramienta clave para la transformación productiva en el sector lechero.

3.5 Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo y colaboración de los productores de la región centro del estado de Veracruz. Se agradece al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca otorgada al primer autor. Además de todo el personal que forma parte de la Estrategia de Acompañamiento Técnico por la disposición e información brindada, principalmente a Neón Larios Sarabia y a Benigna González Ortiz.

3.6 Literatura citada

Aguilar-Ávila J, Santoyo-Cortés VH, Ocampo-Ledesma J, Muñoz-Rodríguez M, Palacios-Rangel MI, Altamirano-Cárdenas JR. 2015. Extensión universitaria y extensión agrícola. In: J. Aguilar-Ávila and V.H. Santoyo-Cortés, eds. Modelos alternativos de capacitación y extensión comunitaria. CDMX, México: CLAVE editorial-CIESTAAM/UACH. pp.19–50.

- Aguilar-Jiménez JR, Aguilar-Jiménez CE, Guevara-Hernández F, Galdámez-Galdámez J, Martínez-Aguilar F, La O-Arias MA, Mandujano-Camacho H, Abarca-Acervo MA, Nahed-Toral J. 2023. Clasificación y caracterización de los sistemas familiares de producción bovina de la región frailesca de Chiapas, México, con base en el aporte de la ganadería al ingreso familiar. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 26: #17. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4131>
- Aguilar GN, Muñoz RM, Santoyo CVH, Aguilar ÁJ. 2013. Influencia del perfil de los productores en la adopción de innovaciones en tres cultivos tropicales. *Teuken Bidikay* 4: 207–228.
- Albarrán-Portillo B, López-González F, Ruiz-Albarrán M, Arriaga-Jordán CM. 2019. Respuesta productiva y económica a la suplementación con concentrados de vacas lecheras en pastoreo con alta carga animal. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 10: 855–869. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v10i4.4787>
- Alexandre G, Rodriguez L, Arece J, Delgadillo J, Garcia GW, Habermeier K, Almeida AM, Fanchone A, Gourdine J, Archimède H. 2021. Agroecological practices to support tropical livestock farming systems: a Caribbean and Latin American perspective. *Tropical Animal Health and Production* 53: 111. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02537-7>
- Anderson JR Y Feder G. 2004. Agricultural Extension: Good Intentions and Hard Realities. *The World Bank Research Observer* 19: 41–60. <https://doi.org/10.1093/wbro/lkh013>
- Asif M, Inam A, Adamowski J, Shoaib M, Tariq H, Ahmad S, Reza M, Nazeer A. 2023. Development of methods for the simplification of complex group built causal loop diagrams: A case study of the Rechna doab. *Ecological Modelling* 476: 110192. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110192>

- Barkema HW, Keyserlingk MAG, Kastelic JP, Lam T, Luby C, Roy J, LeBlanc SJ, Keefe GP, Kelton DF. 2015. Invited review: Changes in the dairy industry affecting dairy cattle health and welfare. *Journal of Dairy Science* 98: 7426–7445. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-9377>
- Camacho-Vera JH, Cervantes-Escoto F, Palacios-Rangel MI, Cesín-Vargas A, Ocampo-Ledesma J. 2017. Specialization of dairy production systems in Mexico: Diffusion of Holstein technological model. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8: 259–268. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4191>
- Camacho-Vera JH, Vargas-Canales JM, Quintero-Salazar L, Apan-Salcedo GW. 2021. Características de la producción de leche en La Frailesca, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 12: 1–10. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5375>
- Creswell JW, Poth CN. 2018. *Qualitative Inquiry Research Design: Choosing Among Five Approaches*. SAGE. California, EUA.
- Cuevas Reyes V, Loaiza Meza A, Astengo Cazares H, Moreno Gallegos T, Borja Bravo M, Reyes Jimenez JE, González González D. 2018. Analysis of the milk production function in dual purpose bovine system in Ahome, Sinaloa. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 9: 376–386. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v9i2.4545>
- Cuevas-Reyes V, Loaiza-Meza A, Espinosa-García JA, Vélez-Izquierdo A, Montoya-Flores MD. 2016. Typology of dual-purpose cattle production farms in Sinaloa, Mexico. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 7: 69–83.
- Diario Oficial de la Federación. [Internet] 1969. Tabla de equivalencias de ganado mayor y menor. Ciudad de México, México. [Citado 2024 nov 15]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=2054508&fecha=31/12/1969#gsc.tab=0

- Espejel-García A, Barrera-Rodríguez A, Cuevas-Reyes V. 2016. Dynamics of innovation and economic gains of milk production in the Valle Mezquital, Hidalgo. *Nova Scientia* 8: 391–408.
- Espinoza-Ortega A, Álvarez-Macías A, Del Valle MDC, Chauvete M. 2005. La economía de los sistemas campesinos de producción de leche en el Estado de México. *Técnica Pecuaria en México* 43: 39–56.
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Internet]. 2023a. Producción y productos lácteos: Portal lácteo. [citado 2024 ene 27]. Disponible en: <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/es/>
- [FAO] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [Internet]. 2023b. FAOSTAT: Base de datos de estadísticas alimentarias y agrícolas. [citado 2024 ene 28]. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- García-Rodríguez DA, Pérez-Hernández P, Arellano-Gámez L, López-Ortiz S, Aguilar-Ávila J. 2022. The value network of an organization of dairy cattle producers in the municipality of Xico, Veracruz, México. *Agroproductividad* 15: 29–36. <https://doi.org/10.32854/agrop.v15i3.2080>
- Gómez-Miranda A, López-González F, Vieyra-Alberto R, Arriaga-Jordán CM. 2022. Grazed barley for dairy cows in small-scale systems in the highlands of Mexico. *Italian Journal of Animal Science* 21: 178–187. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.2022540>
- Hall A Y Clark N. 2010. What do complex adaptive systems look like and what are the implications for innovation policy? *Journal of International Development* 22: 308–324. <https://doi.org/10.1002/jid.1690>
- Hernandez-Velasquez M, Cervantes-Escoto F, Palacios-Rangel MI, Cesín-Vargas A, Martínez-González EG. 2022. Modelos de negocio en pequeñas y

medianas empresas queseras en Aguascalientes, México. *Abanico Veterinario* 12: 1–23. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2022.14>

[INEGI] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [Internet]. 2010. Compendio de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos 2010: Veracruz de Ignacio de la Llave. [citado 2024 feb 15]. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825293192>.

[INEGI] Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. [Internet]. 2023. Censo agropecuario 2022: Veracruz De Ignacio de la Llave. [citado 2024 ene 23]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdV_ER.pdf.

Landini F, Turner JA, Davis K, Percy H, Van Niekerk J. 2021. International comparison of extension agent objectives and construction of a typology construction of a typology. *The Journal of Agricultural Education and Extension* 28: 1–23. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2021.1936091>

López-González F, Cantú-Patiño MG, Gama-Garduño O, Prospero-Bernal F, Colín-Navarro V, Arriaga-Jordán CM. 2020. Tall Fescue and Ryegrass pastures for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in the highlands of central Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 23: #39. <https://doi.org/10.56369/tsaes.3126>

Lopez-Villalobos N, Jayawardana JMDR, Mcnaughton LR, Hickson RE. 2023. A review of once-a-day milking in dairy cow grazing systems. *American Dairy Science Association* 4: 329–333. <https://doi.org/10.3168/jdsc.2022-0293>

Marín-Santana MN, López- González F, Morales-Almaraz E, Plata-Reyes DA, Arriaga-Jordán CM. 2023. Productive performance of grazing dairy cows on kikuyu grass pastures overseeded with rye in small- scale dairy systems

in the highlands of México. Tropical and Subtropical Agroecosystems 26: #086. <http://doi.org/10.56369/tsaes.4621>

Moctezuma GL, Espinosa JAG, Cuevas VR, Romero FS, Jolalpa JLB. 2008. Estudio prospectivo al año 2020 sobre la importancia de la calidad de la leche y queso en la cadena agroalimentaria leche en el estado de Hidalgo, México. Revista Mexicana de Agronegocios 22: 551–569.

Morin E. 1984. Ciencia con conciencia. Editorial Anthropos. Barcelona, España.

Moojen FG, Ryschawy J, Wulfhorst JD, Archer DW, Faccio Carvalho PC, Hendrickson JR. 2024. Case study analysis of innovative producers toward sustainable integrated crop - livestock systems: trajectory, achievements, and thought process. Agronomy for Sustainable Development 44: 26. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00953-9>

Murphy JP, Donovan MO, McCarthy K, Delaby L, Galvin N, Murphy C, Kennedy E, Sugrue K. 2023. A three-year comparison of once-a-day and twice-a-day milking in seasonal-calving pasture-based systems. Journal of Dairy Science 106: 8910–8925. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23379>

Mussayeva GK, Meldebekov AM, Meldebekova NA, Shaykamal GI, Buralkhiyev BA, Rametov NM, Zhumanov K. 2023. Dairy Productivity of Holstein Cows of Different Genetic Lines in the Conditions of Kostanay Region of Kazakhstan. Pakistan Journal of Zoology 55: 1257–1265. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20210818080851>

Navarro RB, Bánkitu FI, Dos Santos FS, Almeida R, Dias AM, Ferreira-Ítavo CCB, Ítavo LCV, Ramos CECO, Dos Santos GT. 2021. A multivariate statistical analysis of milk yield and quality in intensive dairy production systems in paraná state, brazil. Tropical and Subtropical Agroecosystems 24: #3. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3721>

- Nyambo DG Y Clemen T. 2023. Differential Assessment of Strategies to Increase Milk Yield in Small-Scale Dairy Farming Systems Using Multi-Agent Modelling and Simulation. *Agriculture* 13: 590. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030590>
- Ojeda-Carrasco JJ, Rueda-Quiroz LD, Hernández-García PA, Espinosa-Ayala E. 2020. Caracterización del sistema de producción de leche en pequeña escala de la zona suroriente del Estado de México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 17: 201–215.
- Pedemonte A, Guidice G, Artagaveytia J. 2022. Sistemas de producción de leche de Uruguay. Montevideo, Uruguay.
- Pérez-Ruiz E, Quezada-Casasola A, Carrera-Chávez JM, Álvarez-Holguín A, Ochoa-Rivero JM, Chávez-Ruiz MG, Román-Ponce SÍ. 2022. Función ovárica y respuesta a la sincronización del estro en ganado Criollo en México. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 13: 422–451. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.6032>
- Pérez C. 2004. Técnicas de análisis multivariante de datos. Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- Rangel J, Espinoza JA, Pablos-Heredero C, Barba C, Velez A, Rivas J, García A. 2017. Adopción de innovaciones y prácticas organizativas de manejo, alimentación y reproducción en pequeñas unidades de producción de vacunos de doble propósito en México. *Revista Científica*, XXVII: 44–55.
- Rendón-Medel R, Roldán-Suárez E, Hernández-Hernández B, Cadena-Íñiguez P. 2015. Los procesos de extensión rural en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 151–161.
- Romo-Bacco CE, Parga-Montoya N, Valdivia-Flores AG, Carranza-Trinidad RG, Montoya-Landeros MC, Llamas-Martínez AA, Aguilar MMR. 2022. Perspectivas sobre la continuidad, calidad de leche y entorno en unidades

- de producción de leche en el estado de Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 13: 357–374. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5744>
- Romo-Bacco CE, Valdivia-Flores AG, Carranza-Trinidad RG, Cámara-Córdova J, Zavala-Arias MP, Flores-Ancira E, Espinosa-García JA. 2014. Brechas de rentabilidad económica en pequeñas unidades de producción de leche en el altiplano central mexicano. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 5: 273–290.
- Salinas-Martínez JA, Posadas-Domínguez RR, Morales-Díaz LD, Rebollar-Rebollar S, Rojo-Rubio R. 2020. Cost analysis and economic optimization of small-scale dairy production systems in Mexico. *Livestock Science* 237: 104028. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104028>
- Sánchez BM, Flores SV, Rodríguez EH, Anaya AME, Contreras EAC. 2020. Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 11: 126–145. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11s2.4742>
- Santos Chávez VM, Álvarez-Macías A, Pérez Gachuz F, Pérez Sosa L. 2019. El extensionismo rural mexicano: análisis coyuntural con enfoque de políticas públicas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 10: 63–77. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1117>
- Santos-Lavalle R, Flores-Verduzco JJ, Camacho-Vera JH, Roldán-Suárez E, Islas-Moreno A. 2023. Dynamics of innovation in the production of cow milk in Ayotlán, Jalisco Mexico. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10: 1–10. <https://doi.org/10.19136/era.a10n3.3422>
- Sarabia-Salgado L, Alves BJR, Boddey R, Urquiaga S, Galindo F, Flores-Coello G, Almeida C, Jiménez-Ocampo R, Ku-Vera J, Solorio-Sánchez F. 2023. Greenhouse Gas Emissions and Crossbred Cow Milk Production in a

- Silvopastoral System in Tropical Mexico. *Animals* 13: 1941. <https://doi.org/10.3390/ani13121941>
- Saravia A. 1985. Un enfoque de sistemas para el desarrollo agrícola. San José, Costa Rica: IICA.
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. [internet]. 2023a. Avanza la Estrategia de Acompañamiento Técnico en Leche; beneficia a más de 3 mil ganaderos de pequeña escala. [Citado 2024 feb 28]. Disponible en: <https://goo.su/eYe7>
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. [internet]. 2023b. Reconocen productores impacto de acompañamiento técnico en leche. [Citado 2024 feb 25]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/reconocen-productores-impacto-de-acompanamiento-tecnico-en-leche>.
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. [internet]. 2024. Anuncia Liconsa que no importará leche en polvo. [Citado 2024 feb 25]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/anuncia-liconsa-que-no-importara-leche-en-polvo-355365?idiom=es>
- [SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [internet]. 2023. Cierre de la producción pecuaria (1980-2023). [citado 2025 abril 1]. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Sommai S, Ampapon T, Mapato C, Totakul P, Viennasay B. 2020. Replacing soybean meal with yeast-fermented cassava pulp (YFCP) on feed intake, nutrient digestibilities, rumen microorganism, fermentation, and N-balance in Thai native beef cattle. *Tropical Animal Health and Production* 52: 2035–2041. <https://doi.org/10.1007/s11250-020-02228-3>
- Swanson BE Y Claar JB. 1987. Historia y evolución de la extensión agrícola. In: B.E. Swanson, ed. *La extensión agrícola: manual de consulta*. Roma, Italy:

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

- Teague R Y Kreuter U. 2020. Managing Grazing to Restore Soil Health, Ecosystem Function, and Ecosystem Services. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 4: 534187. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187>
- Teague WR, Dowhower SL, Baker SA, Haile N, Delaune PB, Conover DM. 2011. Agriculture, Ecosystems and Environment Grazing management impacts on vegetation, soil biota and soil chemical, physical and hydrological properties in tall grass prairie. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141: 310–322. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.009>
- Vences-Pérez J, Martínez-García CG, Morales-Almaraz E, Albarrán-Portillo B, Rayas-Amor AA, Vázquez-Armijo JF, García-Martínez A. 2021. A socioeconomic analysis and development trends of dual-purpose livestock in dry tropics. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 24: #57. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.2785>
- Voisin R, Horwitz P, Godrich S, Sambell R, Cullerton K, Devine A. 2024. What goes in and what comes out: a scoping review of regenerative agricultural practices. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 48: 124–158. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2270441>
- Vilaboa-Arroniz J, Díaz-Rivera P, Ruiz-Rosado O, Platas-Rosado DE, González-Muñoz S, Juárez-Lagunes F. 2009. Socioeconomical and technological characterization of agroecosystems with dual purpose cattle in the papaloapan region, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 53–62.
- Wanapat M Y Kang S. 2015. Cassava chip (*Manihot esculenta* Crantz) as an energy source for ruminant feeding. *Animal Nutrition* 1: 266–270. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2015.12.001>
- Zamora AM, Jiménez MAV, García JLC. 2017. Rural agricultural development and extension in Mexico: Analysis of public and private extension agents. *Journal of Agricultural Extension and Rural Development* 9: 283–291. <https://doi.org/10.5897/JAERD2017.0917>.

4 DESAFÍOS DE LA PRODUCCIÓN DE LECHE EN LA REGIÓN CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO: UN ENFOQUE SISTÉMICO⁴

Resumen

La región centro de Veracruz, México, muestra alta eficiencia en la producción de leche, pese a la proporción en el inventario estatal en cuanto a cabezas de ganado. Empero, enfrenta múltiples desafíos estructurales. Este estudio analiza el sistema de producción de leche mediante un enfoque sistémico, utilizando los métodos de Diagramas de Bucles Causales (DBC) y los sistemas arquetipos (SAs). A partir de entrevistas en tres municipios, se construyeron cinco bucles causales y se identificaron tres arquetipos: “éxito para los exitosos”, “límites al crecimiento” y “desplazamiento de la carga”. Los resultados muestran patrones que mantienen la desigualdad y limitan el desarrollo sostenible. Como acciones integrales para fortalecer el sistema de producción de leche regional, se propone promover la tecnificación diferenciada, regular importaciones y mejorar la organización de los productores. Este trabajo ofrece herramientas conceptuales y visuales para el diseño de políticas públicas en contextos agroalimentarios complejos.

Palabras clave:

Sector lechero; sostenibilidad; arquetipos de sistemas; dinámica de sistemas

⁴ Artículo enviado a la revista Acta Universitaria. Estatus: en revisión. Autores: Mario Antonio Hernandez-Velasquez, M.A.; Cervantes-Escoto, F.; Espinoza-Ortega, A.; Sagarnaga-Villegas, L.M.; y Romero-García, L.E.

Abstract

The central region of Veracruz, Mexico, exhibits high efficiency in milk production despite the proportion cattle in the state inventory. However, it faces multiple structural challenges. This study analyzes the milk production system through a systemic approach, using the Causal Loop Diagrams (CLDs) and system archetypes (SAs). Based on interviews in three municipalities, five causal loops were constructed, and three archetypes were identified: “success to the successful,” “limits to growth,” and “shifting the burden.” The results show patterns that sustain inequality and hinder sustainable development. As comprehensive actions to strengthen the regional milk production system, the study proposes promoting differentiated technological adoption, regulating imports, and improving producer organization. This work offers conceptual and visual tools for designing public policies in complex agri-food contexts.

Keywords:

Dairy industry; sustainability; system archetypes; system dynamics

4.1 Introducción

La producción de leche representa una de las actividades agropecuarias más relevantes a nivel mundial debido a su contribución a la seguridad alimentaria, la generación de ingresos y la dinamización de las economías rurales (Fiorillo & Amico, 2024; Ruiz-Torres et al., 2017). Como eslabón primario de la cadena de valor agroalimentaria, la lechería no solo proporciona un alimento esencial en la dieta humana, sino que también articula una red compleja de actores y procesos que, en conjunto, reflejan las dinámicas sociales, económicas y ecológicas de los territorios donde se desarrolla (Sarkar et al., 2022). Esta interconexión la convierte en un objeto de estudio y de interés para comprender los desafíos y oportunidades del sector agroalimentario actual.

En México, el sistema de producción lechero ha evolucionado profundamente desde la época colonial (Villegas et al., 2014). Con el paso del tiempo, la lechería ha evolucionado desde prácticas rudimentarias y de autoconsumo, hacia modelos cada vez más especializados y tecnificados, aunque con marcadas diferencias regionales (Villegas et al., 2016). Mientras que en el norte del país predominan los sistemas intensivos, orientados al mercado nacional e internacional, en el sur y centro de México subsisten los sistemas de producción familiar o de pequeña escala, algunos basados en pastoreo, cuya relevancia económica y social es fundamental para las comunidades rurales (Camacho-Vera et al., 2017, 2021). En este contexto, dada la ubicación geográfica de la región centro del estado de Veracruz representa un claro ejemplo de esta dualidad productiva.

A pesar de concentrar solo 4% del inventario estatal de ganado lechero, esta región genera aproximadamente el 18% del volumen total de leche en la entidad (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2023) lo cual evidencia un alto grado de eficiencia relativa. Sin embargo, el sector enfrenta múltiples desafíos estructurales que limitan su desarrollo (Herrero et al., 2015; Joubran et al., 2021); entre ellos, destacan: (i) escasez de recursos hídricos, que compromete la sostenibilidad de la producción; (ii) falta de infraestructura para el

acopio y transformación de leche; (iii) desigualdad en el acceso a recursos y tecnología, lo cual incrementa las brechas de productividad entre pequeños y grandes productores; (iv) competencia desleal y políticas de importación que promueven la entrada de leche en polvo a precios más bajos; y (v) problemas ambientales como la degradación de pastizales, la variabilidad en la calidad del forraje y la contaminación del suelo y agua (Álvarez Macías et al., 2024; Vargas-Bello-Pérez et al., 2024; Villavicencio-Gutiérrez et al., 2023). Estos factores se agravan por la escasez de programas de apoyo para mejorar la rentabilidad y la lenta adopción de tecnologías. La naturaleza interconectada y a menudo amplificadora de estos problemas estructurales requiere un marco de análisis que vaya más allá de la simple enumeración de síntomas.

Precisamente, para comprender la complejidad de esta problemática, es necesario adoptar un enfoque sistémico que permita captar las dinámicas complejas e interconectadas del sistema lechero veracruzano. Se caracteriza por procesos de retroalimentación, interdependencia, no linealidad y adaptación a cambios en el entorno social, económico y ambiental (Mackay-Smith et al., 2024). A diferencia de los enfoques lineales y reduccionistas, el análisis sistémico permite identificar relaciones causales y permite entender cómo pequeños cambios en un componente pueden amplificarse a lo largo del sistema y afectar a su rendimiento general.

En este sentido, los Diagramas de Bucles Causales (DBC) proporcionan una ruta metodológica para comprender de manera efectiva la dinámica de los sistemas complejos, identificar relaciones causales críticas, entender cómo pequeños cambios en un componente pueden amplificarse a lo largo del sistema, afectando su desempeño general y, con ello, derivar en estrategias para la toma de decisiones (Rozhkov et al., 2025). Diversos estudios han demostrado que el uso de DBC resulta útil para entender la lógica interna de los sistemas agroalimentarios, facilitando la identificación de cuellos de botella, desequilibrios estructurales y estrategias potenciales de mejora (Kiambi et al., 2018; Lie et al., 2017; Lie & Rich, 2016; Temesgen et al., 2023), proporcionando un marco

conceptual robusto para el análisis estratégico de la producción lechera en Veracruz. Para el caso de los sistemas lecheros, Peixoto et al. (2020) demostró su utilidad al visualizar los mecanismos de retroalimentación, los flujos de influencia y los puntos de inflexión dentro del mismo sistema.

En este sentido, el objetivo de este trabajo es analizar el sistema lechero de la región centro de Veracruz desde una perspectiva sistémica, con el fin de identificar las principales dinámicas de interacción entre factores clave, así como los desafíos estructurales que limitan el desempeño del sector. A partir de ahí, se plantean propuestas orientadas a fortalecer la eficiencia, la coordinación y la sostenibilidad del sistema lechero regional, teniendo en cuenta su importancia estratégica en el desarrollo territorial y la seguridad alimentaria.

4.2 Materiales y métodos

Se utilizó un enfoque cualitativo, basado en la dinámica de sistemas (Stermán, 2003). Se siguió el esquema metodológico propuesto por Stermán (2003) y Maani y Cavana (2007), el cual comprende cinco pasos: i) Articulación del problema; ii) formulación de una hipótesis dinámica; iii) formulación de un modelo de simulación; iv) prueba y validación del modelo y v) diseño y evaluación de políticas. En este trabajo se abordaron los dos primeros, centrados en la dinámica cualitativa del sistema, mientras que los últimos tres, relacionados con la dinámica cuantitativa, quedaron fuera del alcance del estudio.

4.2.1 Recopilación de información

La recolección de datos se llevó a cabo entre junio y septiembre de 2023 en los municipios de Acajete, Naolinco y Miahuatlán, ubicados en el estado de Veracruz, México (Figura 6). Se destacan por su contribución al sector lácteo regional, aportando aproximadamente el 2.6 % del volumen estatal de leche en 2022 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2024). La selección de estos municipios se basó en los siguientes criterios:

- i) importancia del sector lácteo en la región: son municipios con una tradición productiva consolidada en la ganadería lechera
- ii) diversidad de actores en la cadena de valor: la presencia de productores de leche, centros de acopio Liconsa, queserías (artesanales e industriales) y proveedores de insumos permite analizar el sistema de manera integral y
- iii) contraste entre escalas productivas: se incluyeron tanto pequeñas unidades de producción pecuaria (UPP) como productores de mayor escala, permitiendo observar variabilidad en los desafíos que enfrentan.

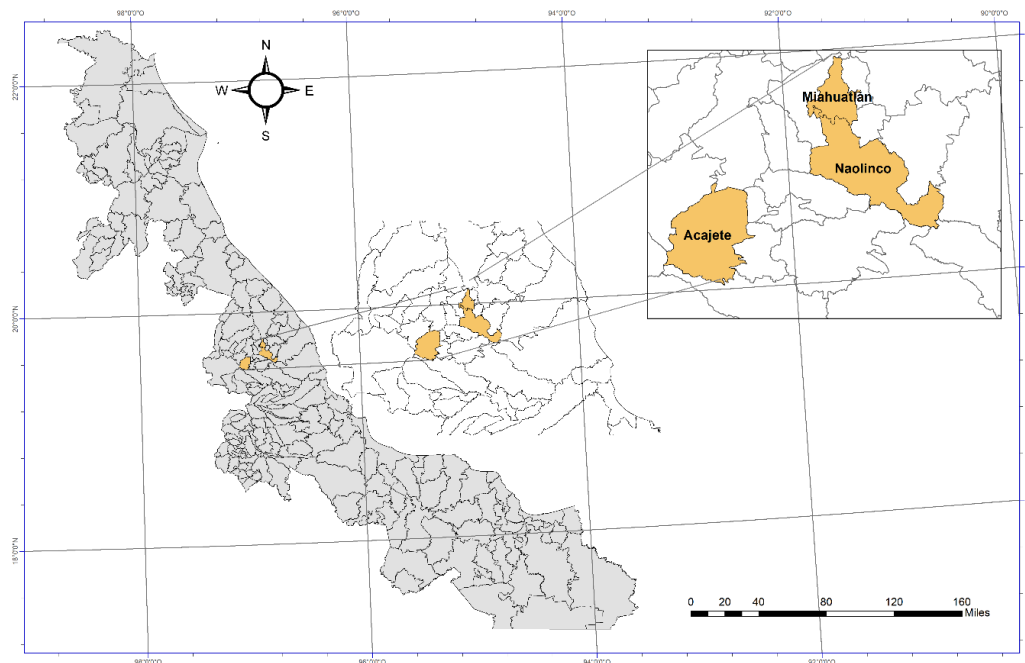


Figura 6. Ubicación de los municipios seleccionados

Fuente: Elaboración propia

Para obtener información se realizaron 18 entrevistas a profundidad con actores clave del sistema lácteo: productores (7), centros de acopio Liconsa (2), queserías artesanales y procesadores de leche (6), proveedores (1) y tomadores de decisiones gubernamentales (2). Las entrevistas se estructuraron en seis

bloques temáticos: contexto general del entrevistado; caracterización de la producción y comercialización; identificación de actores clave; factores limitantes; oportunidades; y visión a futuro. Los participantes fueron seleccionados mediante muestreo intencional y la técnica bola de nieve (Wasserman & Faust, 2013), a partir de contactos iniciales establecidos con actores locales. No se establecieron criterios de exclusión formales, salvo la disposición voluntaria a participar y experiencia directa en el sector lácteo. El número de entrevistas se determinó con base en el criterio de saturación teórica (Glaser & Strauss, 1967), en el cual la recolección de datos se detuvo cuando nuevas entrevistas no aportaron información sustancialmente diferente.

4.2.2 Análisis de datos

A partir de las entrevistas realizadas se construyó un DBC sistematizando la información de acuerdo con lo propuesto por Buzogany et al. (2024) y utilizando el software Vensim PLE 9.3.5. Este enfoque permitió representar las relaciones causales dentro del sistema lácteo regional. Los DBC describen el comportamiento de causa-efecto desde una perspectiva sistémica (Asif et al., 2023; Peixoto et al., 2020). Está compuesto por variables conectadas por flechas (Figura 7) que indican la relación entre ellas:

- i) flecha con signo positivo (+): si la variable de causa A aumenta (o disminuye), la variable de efecto B también aumenta (o disminuye). Es decir, los efectos de ambos van en el mismo sentido.
- ii) flecha con signo negativo (-): si A aumenta, B disminuye, y viceversa (Mashamaite et al., 2024). Es decir, los efectos de ambas van en sentido opuesto.
- iii) flecha con doble línea horizontal (II): Indica un retraso (delay) o lentitud en la transferencia de la influencia causal entre las variables (Stermann, 2003). Esto significa que el efecto de la variable causal sobre la variable de resultado se manifiesta solo después de un periodo de tiempo significativo.

Cuando los vínculos entre variables forman un circuito cerrado, aparecen bucles de retroalimentación: i) bucle de refuerzo (R): potencia un efecto dentro del

sistema (Sterman, 2003) y ii) bucle de equilibrio o balance (B): actúa como mecanismo de regulación (Setianto et al., 2014). A pesar de que este enfoque requiere abstracción y simplificación, la claridad visual de los DBC facilita la comprensión de las interrelaciones sistémicas en el sector lácteo (Singer et al., 2021).

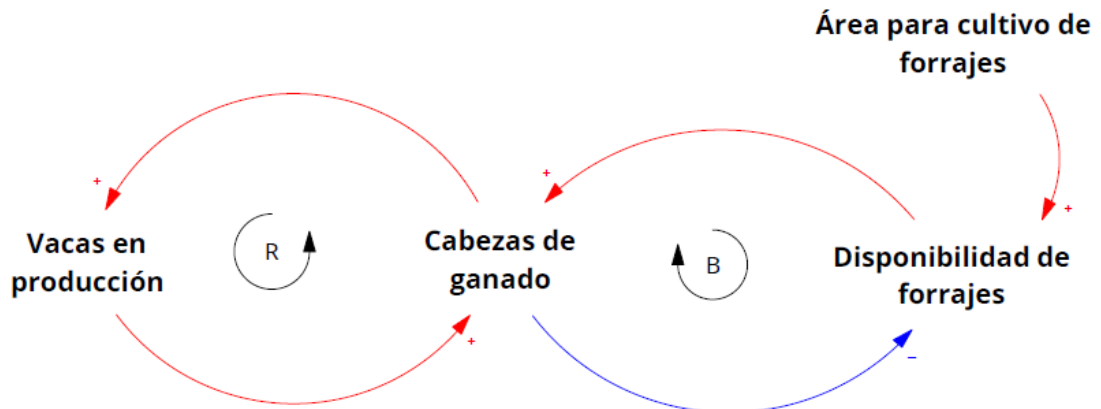


Figura 7. Bucle causal: disponibilidad de alimento, arquetipo de límite al crecimiento
Fuente: Setianto *et al.* (2014)

A partir del Diagrama de Bucles Causales (DBC) se pueden identificar arquetipos sistémicos, entendidos como estructuras dinámicas recurrentes que explican patrones de comportamiento típicos en sistemas complejos (Setianto et al., 2014). El análisis de estos arquetipos permite localizar puntos de inflexión; es decir, elementos del sistema donde una intervención puede generar efectos estructuralmente significativos. Se utilizó como referencia el conjunto de los 10 arquetipos clásicos propuestos en la literatura de dinámica de sistemas (Senge, 1990) con el objetivo de guiar la identificación de patrones relevantes para el sistema agroalimentario analizado. Estos arquetipos incluyen:

1. Proceso de Equilibrio con Retraso (Balancing process with delay)
2. Límites al crecimiento (Limits to Growth)
3. Desplazamiento de la carga (Shifting the Burden)
4. Desplazamiento de la carga a la intervención (Shifting the Burden to the Intervenor)
5. Erosión de las metas (Eroding Goals)
6. Escalada (Escalation)

7. Éxito para los exitosos (Success to the Successful)
8. Tragedia de los comunes (Tragedy of the Commons)
9. Soluciones que fallan (Fixes that Fail)
10. Crecimiento y subinversión (Growth and Underinvestment)

Específicamente, los resultados de este trabajo se estructurarán identificando los principales desafíos estructurales del sistema y asociándolos con el arquetipo sistémico que mejor explica su dinámica. El reconocimiento de estos arquetipos orienta la formulación de políticas más eficaces, al focalizar las intervenciones en estructuras profundas que condicionan el comportamiento del sistema (Senge, 1990).

Finalmente, se elaboraron tres diagramas de árbol de causas y efectos centrados en: (i) la rentabilidad de la producción lechera, (ii) la estructura y funcionamiento de las Unidades de Producción Pecuaria (UPP), y (iii) el impacto de las importaciones de leche en polvo. Estos diagramas permiten representar gráficamente las relaciones causales y evidenciar la interdependencia entre factores clave del sistema.

4.3 Resultados y discusión

El Diagrama de Bucles Causales (DBC) resultante de la sistematización de la información articula un sistema complejo en la región centro de Veracruz, el cual agrupa 49 variables con más de 70 relaciones causales entre las dimensiones social, productiva, tecnológica y ambiental. De acuerdo con la literatura sobre Dinámica de Sistemas (Muflikh et al., 2021; Sterman, 2003), la complejidad de un sistema no depende del número de variables, sino de las relaciones de retroalimentación entre ellas. La Figura 8 representa gráficamente estas interacciones causales (Mapa causal general). El análisis de esta estructura compleja mediante el DBC permitió identificar cinco bucles principales que reflejan dinámicas de retroalimentación clave para comprender los límites estructurales del desarrollo sostenible en la región.

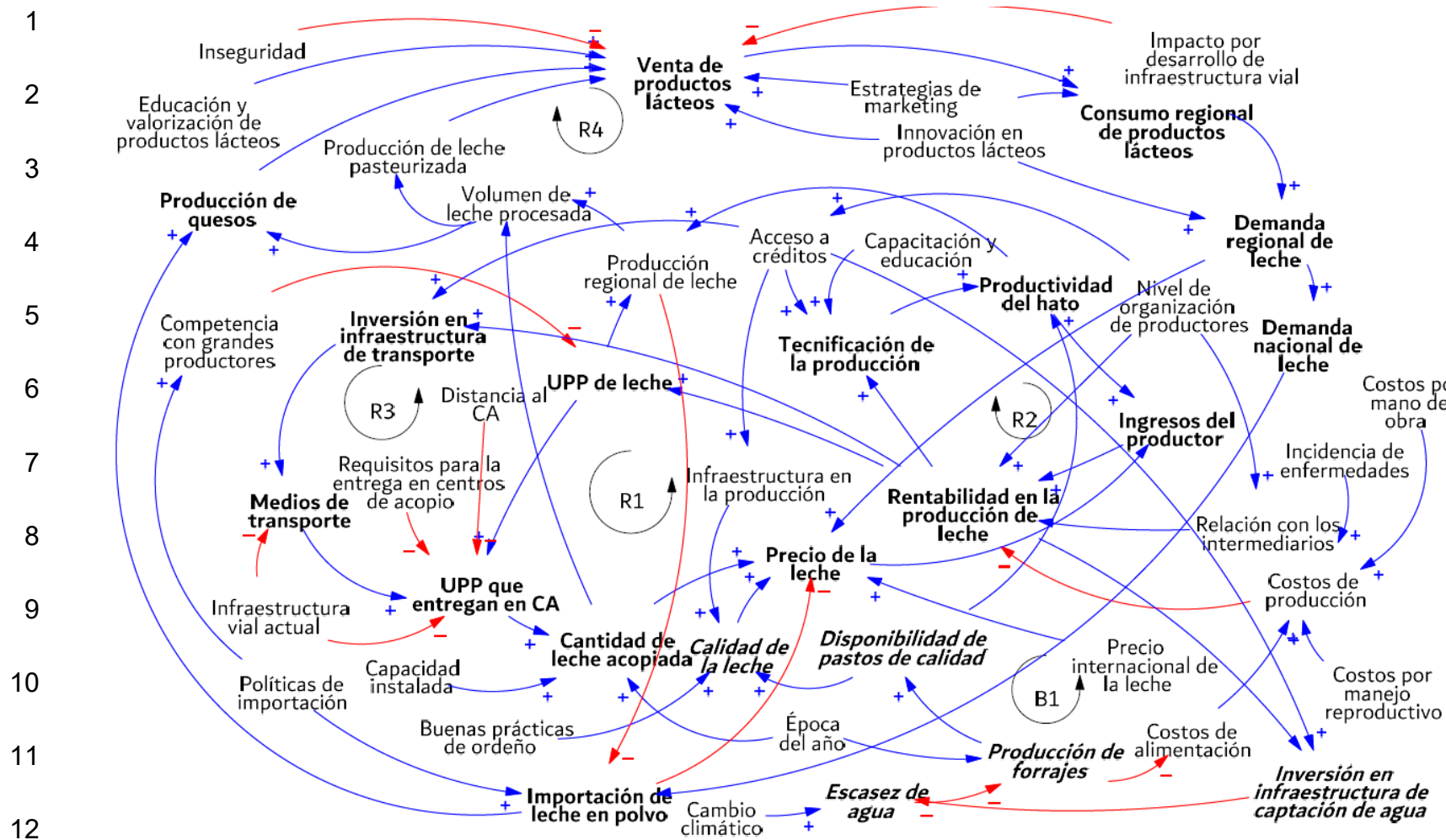


Figura 8. Diagrama de bucles causales en la cadena de valor de productos lácteos en la región centro de Veracruz, México
Fuente: Elaboración propia

Estos bucles, derivados de los testimonios y validados por la literatura, se agrupan en torno a tres arquetipos sistémicos principales: “límites al crecimiento”, “éxito para los exitosos” y “desplazamiento de la carga” (Senge, 1990). Específicamente, las relaciones entre factores como rentabilidad, infraestructura, organización, calidad y financiamiento generan múltiples trayectorias posibles en el sistema, algunas virtuosas (si se aplican políticas habilitantes) y otras excluyentes (si se mantiene el status quo).

4.3.1 Estructuras causales del sistema: bucles y dinámicas internas

4.3.1.1 Arquetipo 1: Éxito para los Exitosos (*Success to the Successful*)

Este arquetipo describe una estructura retroalimentada en la que dos entidades compiten por recursos limitados, y una de ellas, al obtener una ventaja inicial, incrementa progresivamente su acceso a esos recursos, dejando a la otra en desventaja creciente (Senge, 1990). Este mecanismo sistémico es el patrón causal que subyace a uno de los principales desafíos identificados en el sistema lechero de Veracruz: la desigualdad estructural en el acceso a recursos y tecnologías (Desafío 1). Dicha polarización socioeconómica se refuerza mediante la acción conjunta de dos bucles de retroalimentación de refuerzo, denominados R1 y R2 (Bucles 1 y 2). Aunque ambos están inmersos en el mapa causal general (Figura 8), se detallan a continuación en su forma contraída para una mejor visualización de su dinámica (Figura 9 y Figura 10, respectivamente).

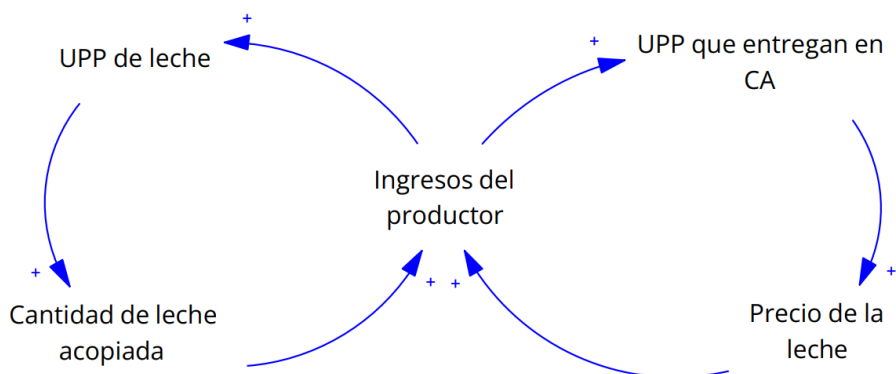


Figura 9. Bucle 1: Integración a centros de acopio (éxito para los exitosos)

Fuente: Elaboración propia

El primer bucle, denominado “estabilidad de precios y comercialización” (Figura 4), está caracterizado por una dualidad en el acceso a canales de comercialización, como los centros de acopio Liconsa (CA). El modelo causal muestra dos bucles de retroalimentación, que benefician a las UPP que logran integrarse a los CA. Estas UPP acceden a mejores precios por litro de leche, lo que incrementa sus ingresos y, con ello, su capacidad de producción y reinvertir en mejoras productivas. A su vez, esto refuerza su relación con los CA y les permite mantener su ventaja competitiva. Sin embargo, aquellas UPP que no logran integrarse a estos canales, parecieran quedar atrapadas en un ciclo de exclusión. Al no recibir mejores precios, sus ingresos disminuyen, lo cual limita su producción y su capacidad de mejorar o expandir su actividad. Empero, durante la fase de campo, los entrevistados mencionaron que los CA Liconsa, ejercían una función de reguladores de precio, pues lo mantienen estable a lo largo del año a diferencia de los competidores, como lo son los rutereros o queseros, que tienden a bajarlo en época de lluvias, cuando hay más producción.

En la Figura 10 se observa el bucle 2, denominado “productividad y tecnificación” el cual presenta las características de un arquetipo sistémico “Éxito para los exitosos” (Senge, 1990). En este, las UPP que alcanzan niveles de rentabilidad positivos, pueden reinvertir sus excedentes en procesos de tecnificación, lo que trae consigo una mejora en los niveles de productividad del hato y, consecuentemente, incrementa los ingresos del productor. Esta mayor capacidad de inversión refuerza la rentabilidad inicial, consolidando un ciclo virtuoso de desarrollo y competitividad. No obstante, las UPP que carecen de condiciones para invertir quedan progresivamente rezagadas, lo que representa una limitación para mejorar su productividad. La baja tecnificación, en combinación con restricciones financieras, limita las posibilidades de inversión e innovación productiva (Romo-Bacco et al., 2022). Esto amplía las brechas estructurales dentro del sistema.

Asimismo, esta dinámica también encierra un riesgo estructural: los productores que no cuentan con condiciones iniciales favorables, como acceso a crédito,

asistencia técnica o infraestructura mínima, quedan fuera del circuito de mejora continua, lo que reproduce y profundiza las desigualdades dentro del sistema lechero, acentuando las diferencias entre UPP. Estos hallazgos coinciden con lo reportado por Álvarez et al. (2024), quienes destacan que, en México, la producción de leche se desarrolla en entornos tecnológicos, agroecológicos y socioeconómicos heterogéneos. Sin embargo, más allá de estas diferencias, persiste una marcada polarización socioeconómica.

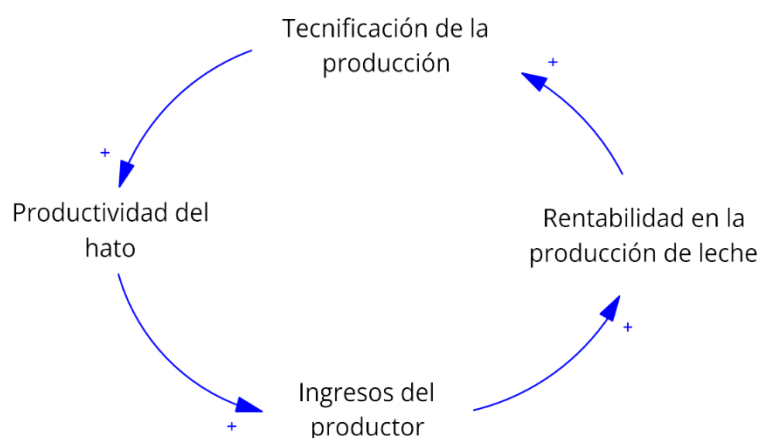


Figura 10. Bucle 2: Productividad y tecnificación (éxito para los exitosos)
Fuente: Elaboración propia

En el ámbito internacional, la dinámica de los sistemas lecheros muestra comportamientos similares. Por ejemplo, Kiambi et al. (2018) destacan en su análisis del sistema lácteo en Nairobi, capital de Kenia, que las estructuras de valor en zonas urbanas y periurbanas están profundamente fragmentadas y polarizadas, con grandes diferencias en el acceso a infraestructura y mercados entre pequeños y medianos productores. Además, mencionan que los más chicos operan de manera independiente, sin integración efectiva en cadenas de valor formales, lo cual incrementa su vulnerabilidad económica y dificulta su acceso a mercados más rentables y regulados. Esta situación se asemeja a la observada en Veracruz con estos dos bucles, donde los productores de pequeña escala enfrentan barreras en el acceso a infraestructura y financiamiento, lo que limita su capacidad para incrementar la productividad y mejorar sus condiciones socioeconómicas.

De manera similar, Lie y Rich (2016) reportan que, en Nicaragua, los pequeños productores de leche enfrentan limitaciones estructurales, debido a la baja productividad y a la falta de integración en cadenas de valor formales. A través del enfoque de dinámica de sistemas, identificaron que la escasez de insumos tecnológicos y el acceso limitado a mercados formales perpetúan ciclos de baja productividad y altos costos operativos. En su modelo, destacan la importancia de políticas públicas orientadas a fortalecer la asistencia técnica y el acceso a crédito, lo cual podría romper estos bucles de retroalimentación negativa. Esta conclusión es consistente con los hallazgos en Veracruz, donde los bucles identificados reflejan una dinámica similar: la ausencia de inversión en tecnología e infraestructura genera un ciclo de baja productividad y exclusión del mercado formal.

En este sentido, la tecnificación, lejos de representar un factor democratizador, puede convertirse en un mecanismo de exclusión si no se acompaña de políticas públicas orientadas a nivelar las condiciones de acceso. Por ende, identificar estos bucles reforzadores es fundamental para evitar dinámicas de concentración de beneficios y para diseñar estrategias de desarrollo más equitativas e inclusivas.

Por otra parte, para reforzar estos resultados, el diagrama presentado en la Figura 11, destaca los principales factores que influyen en la rentabilidad de la producción de leche; como costos de producción, ingresos del productor, nivel de organización y la relación con los intermediarios. Las erogaciones para la producción abarcan elementos clave como la alimentación del ganado, el manejo reproductivo, los costos de mano de obra y la incidencia de enfermedades. En el caso de los ingresos, la rentabilidad depende principalmente del precio de la leche en el mercado y de la productividad del hato (aunque también influyen la venta de crías y vacas de desecho). Un precio mayor mejora los ingresos totales, pero está influido por factores externos como la negociación con intermediarios, las condiciones del mercado y la calidad de la leche.

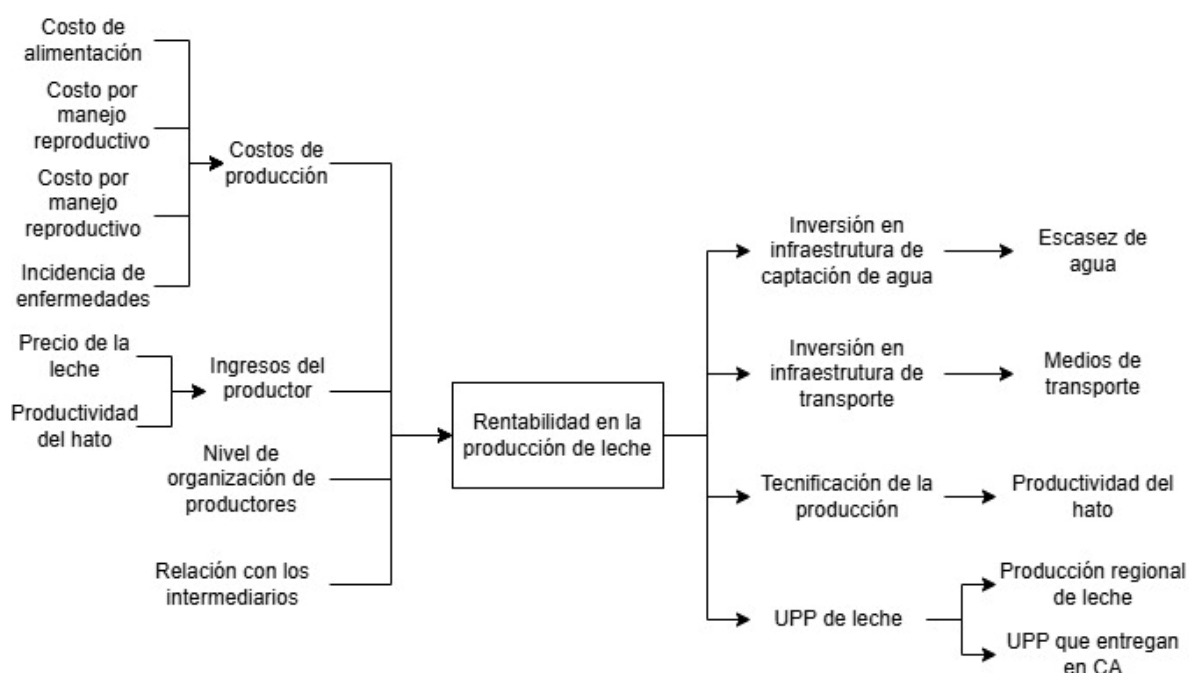


Figura 11. Factores determinantes de la rentabilidad en la producción de leche en el centro de Veracruz

Fuente: elaboración propia

Otro aspecto crucial es el nivel de organización de los productores: aquellos constituidos en cooperativas o asociaciones, tienen mayor capacidad para negociar precios, reducir costos y acceder a recursos como capacitación e incentivos gubernamentales. Por el contrario, los productores independientes suelen depender más de intermediarios, lo que limita sus márgenes de ganancia.

En este sentido, Sarkar et al., (2022) identifican que las organizaciones de productores lecheros cumplen un papel esencial al facilitar servicios de apoyo como veterinaria, suministro de insumos subsidiados, acceso al crédito, formación técnica y eliminación de intermediarios, lo cual contribuye significativamente a mejorar la rentabilidad y sostenibilidad de los sistemas lecheros en economías emergentes. Además, señalan que estas organizaciones no solo benefician económicamente a sus miembros, sino que también promueven la equidad social, el empoderamiento de las mujeres y la cohesión

comunitaria, reforzando el rol de la lechería como eje articulador del desarrollo rural.

La rentabilidad actúa como factor determinante en las inversiones destinadas a obras de captación y conservación de agua, infraestructura de transporte y tecnificación productiva, así como en el número de Unidades de Producción Pecuaria (UPP). Según los principios económicos, las actividades con mayor rentabilidad tienden a atraer más participantes al sector (Parkin & Loría, 2015).

4.3.1.2 Arquetipo 2: Límites al crecimiento (*Limits to Growth*)

El Arquetipo de Límites al Crecimiento describe un patrón donde un proceso de retroalimentación de refuerzo (R) impulsa una fase inicial de crecimiento o expansión productiva, la cual es inevitablemente frenada por un proceso de equilibrio (B) que se activa al acercarse a un límite o restricción sistémica (Senge, 1990).

Este mecanismo sistémico fundamenta uno de los principales desafíos identificados en el sistema lechero de Veracruz: la sostenibilidad de la expansión productiva ante las restricciones de infraestructura y logística. Como señala Senge (1990), esta estructura es universal: "La estructura de límites al crecimiento es útil para comprender todas las situaciones donde el crecimiento choca contra límites... Las organizaciones crecen por un tiempo, pero luego dejan de crecer. Los grupos de trabajo mejoran por un tiempo, pero dejan de mejorar." (Senge, 1990).

En el caso del sistema analizado, esta dinámica se manifiesta a través de un bucle de refuerzo que promueve la expansión y un bucle de equilibrio que impone las restricciones. En la Figura 12, se observa el bucle 3 denominado "infraestructura de transporte" (R3) el cual se visualiza en el mapa causal general (Figura 8) y vincula directamente la rentabilidad de la producción lechera con la disponibilidad de infraestructura logística, evidenciando una dinámica típica del arquetipo "Límites al crecimiento" De este bucle se puede entender que los ingresos derivados de una mayor rentabilidad permiten invertir en medios de

transporte (camionetas, camiones, motos), facilitando que las UPP entreguen su producto en centros de acopio como el de Liconsa. Esta facilidad de entrega incrementa la cantidad de leche acopiada por los CA, mejora el precio recibido por litro para el productor y retroalimenta positivamente sus ingresos.

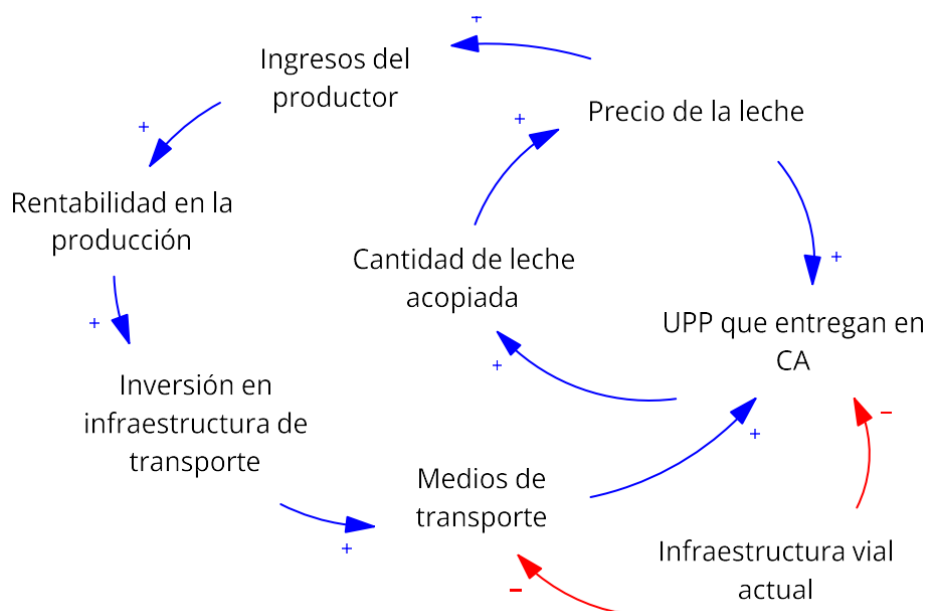


Figura 12. Bucle 3 – Infraestructura de transporte (límite al crecimiento)

Fuente: Elaboración propia

A pesar del potencial productivo y comercial del sector, el crecimiento de la producción lechera enfrenta limitaciones estructurales, entre las que destaca la insuficiencia de infraestructura vial y logística. Este déficit impide que las UPP accedan de forma sostenida a los canales formales de comercialización, como los CA Liconsa. Esto se ve apoyado por factores como la lejanía a los centros de acopio, la escasa conectividad vial y los elevados requerimientos formales para la entrega de leche lo que reduce significativamente la capacidad de los pequeños productores para colocar leche fresca en el mercado. Según la FAO, (2020) esta situación amplía las desigualdades territoriales y limita la integración de los pequeños productores en las cadenas de valor formales, profundizando su vulnerabilidad. En consecuencia, los cuellos de botella físicos y logísticos actúan como barreras críticas que restringen el aprovechamiento de las oportunidades

comerciales existentes. Este comportamiento subyace al segundo desafío identificado: logística limitada para el acopio de leche.

Reforzando lo anterior, la Figura 13 aborda las causas y efectos de la cantidad de UPP en la zona, misma que está directamente relacionada con la rentabilidad, integrando variables económicas, sociales y de mercado. También se identifican aspectos clave como las políticas de importación, costos de producción, ingresos del productor, el nivel de organización de estos y la relación con los intermediarios. Estas categorías interactúan entre sí, configurando un sistema complejo que influye directamente en la competitividad y sostenibilidad del sector lechero.

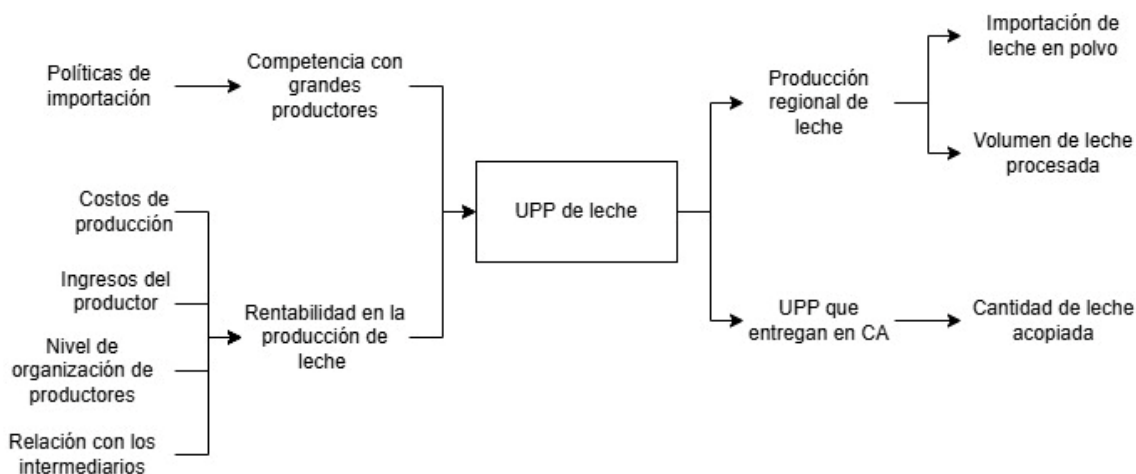


Figura 13. Factores determinantes de la cantidad de Unidades de Producción Pecuaria (UPP)

Fuente: elaboración propia

Un mayor número de UPP también tiene estos impactos: aumenta el volumen de leche procesada y la cantidad acopiada, especialmente en aquellas que entregan a Centros de Acopio, los cuales tienen un efecto regulador de precios. Entonces, a mayor número de productores que entreguen en CA, el precio presentará una tendencia al alza. Lo anterior, se relaciona con la influencia de las importaciones en la cantidad de leche disponible en el mercado, así como en la presión que éstas ejercen sobre los ganaderos locales, particularmente en términos de precio y demanda

Por otro lado, la relación con los intermediarios puede ser un desafío, ya que estos actores suelen controlar gran parte de la comercialización, reduciendo los márgenes de ganancia para los pequeños productores. En general, se destaca la necesidad de un enfoque integral que contemple políticas públicas que regulen la competencia desleal, fomenten la organización de los productores y promuevan la eficiencia en la producción y comercialización. Además, resalta cómo las dinámicas internas del sector interactúan con factores externos como el comercio internacional, configurando un entorno desafiante para los ganaderos locales.

La estructura causal de Límites al Crecimiento no se restringe únicamente al ámbito de los desafíos de infraestructura logística. Este mismo patrón sistémico (crecimiento impulsado por un bucle de refuerzo, frenado por un bucle de equilibrio) es fundamental para comprender la dimensión ambiental del problema, específicamente el Desafío 3: la escasez de recursos hídricos.

En la Figura 14, se visualiza el bucle 4: escasez hídrica y costos, el cual se puede observar en el mapa causal general (Figura 8) como B1. Este bucle presenta una dinámica sistémica asociada a la escasez de agua en la producción agropecuaria. En una fase inicial, la rentabilidad en la producción permite a las UPP realizar inversiones en infraestructura de captación de agua, lo que potencialmente mejora la disponibilidad hídrica y fortalece la base alimentaria mediante una mayor producción de alimento.

Esto reduce los costos de alimentación, disminuye los totales de producción e incrementa la rentabilidad, constituyendo un bucle reforzador. Sin embargo, esta dinámica de crecimiento enfrenta una restricción ecológica estructural: la escasez de agua. Como señalan Hanrahan et al. (2018) en sistemas de producción lechera basados en pastoreo, el uso eficiente de pasturas es un determinante clave de la rentabilidad. Un rendimiento alto por hectárea está directamente relacionado con menores costos de producción y mayores márgenes de ganancia.

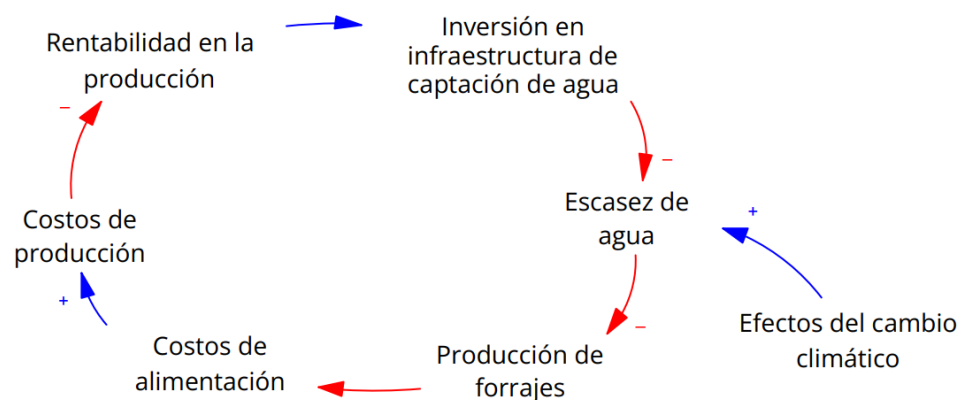


Figura 14. Bucle 4 – Escasez hídrica y costos (límite al crecimiento)

Fuente: Elaboración propia

Este problema, acrecentado por la deforestación y la falta de prácticas sostenibles, obliga a los productores a depender de costosas fuentes externas como pipas, situación que se observó en mayor frecuencia en el municipio de Naolinco. Empero, iniciativas locales como la recuperación de humedales, la reforestación y el uso de plantas nativas como filtros naturales, han comenzado a mitigar impactos producidos por la industria quesera (principalmente en el municipio de Miahuatlán), ilustrando cómo las intervenciones puntuales pueden fortalecer la resiliencia del sistema, frente a desafíos más amplios. Rockström et al. (2009) subrayan la importancia de gestionar el uso del agua dentro de “límites seguros” para evitar la degradación de ecosistemas y sostener la productividad agrícola. Aunque estos autores no abordan específicamente la problemática de los sistemas lecheros, sus hallazgos son especialmente relevantes para sectores agroalimentarios vulnerables a la escasez hídrica, como la producción del lactcinio.

La implementación de sistemas de manejo integrado del agua puede aumentar la resiliencia frente a sequías y contribuir a la sostenibilidad de los mismos. Cuando faltan inversiones hídricas o empeoran las condiciones climáticas, se reduce la producción de forrajes, aumentan los costos y disminuye la rentabilidad, activando un mecanismo corrector que limita el crecimiento inicial. Los límites

ecológicos determinan el potencial productivo y cómo su manejo requiere estrategias a largo plazo que consideren la adaptación climática, como elemento central para la sostenibilidad agropecuaria.

4.3.1.3 Arquetipo 3: Desplazamiento de la carga (*Shifting the Burden*)

El Arquetipo de Desplazamiento de la Carga describe una estructura sistémica donde un problema fundamental no resuelto genera síntomas evidentes que exigen acción inmediata. La respuesta del sistema suele ser recurrir a soluciones sintomáticas rápidas y de fácil implementación, que alivian temporalmente los síntomas, pero dejan el problema fundamental intacto (Senge, 1990). Con el paso del tiempo, el problema fundamental se agrava sin ser atendido, y la dependencia a la solución sintomática aumenta, lo que potencialmente debilita la capacidad del sistema para resolver la causa raíz.

Este fenómeno, se visualiza en el contexto de la producción y consumo de productos lácteos en la región centro de Veracruz, generando así otro de los desafíos identificados: competencia desleal e importaciones. En la Figura 15, la dinámica del bucle 5: Importaciones y demanda, el cual se puede observar en el mapa causal general (Figura 8) como R4, se ilustra lo siguiente: se ilustra lo siguiente: la creciente demanda de derivados lácteos, como los quesos, ha sido atendida mediante la importación de leche en polvo, una solución “sintomática” que permite mantener estable la producción industrial sin necesidad de incrementar la producción nacional de leche fluida. Esta acción da lugar a un bucle de alivio rápido, en el que la importación aumenta la disponibilidad de materia prima, sostiene la producción de quesos y satisface el consumo regional.

Sin embargo, esta estrategia genera un efecto colateral negativo sobre el sistema: la mayor disponibilidad de leche en polvo en el mercado reduce el precio de la leche fluida, afectando directamente la rentabilidad de los productores locales. Aunque este efecto no se visualiza completamente en el diagrama (Figura 15), constituye el inicio de un bucle de deterioro estructural, en el que la

dependencia de soluciones externas debilita la capacidad interna para abordar la causa fundamental del problema (Senge, 1990).

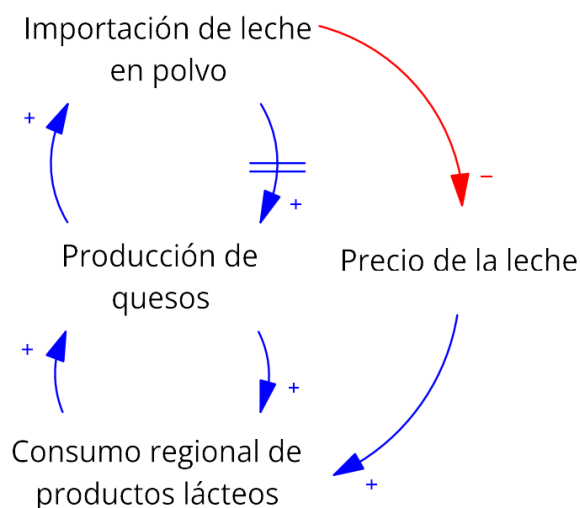


Figura 15. Bucle 5 – Importaciones y demanda (desplazamiento de la carga)

Fuente: Elaboración propia

Las políticas de importación destacan como un factor crítico, al generar una competencia directa con grandes productores, especialmente a través de productos como la leche en polvo importada. Este fenómeno puede presionar a los productores locales al ofrecer precios más bajos en el mercado, dificultando su capacidad para competir. Como lo señalan Espinoza Arellano et al. (2019) las variables que han ejercido mayor presión a la baja sobre el precio de la leche fluida en México son las importaciones de leche descremada en polvo, la leche condensada, el yogur y los quesos clasificados como "los demás". Esto genera un efecto de debilitamiento en los pequeños productores locales, quienes enfrentan competencia desigual y precios reducidos. El análisis de Sarkar et al. (2022) también señala cómo las economías emergentes, al no contar con una infraestructura robusta, dependen de importaciones para suplir la demanda interna, perpetuando un ciclo de dependencia externa y disminución de la rentabilidad local.

Por lo anterior, si continúa la importación de grandes cantidades de leche en polvo y derivados lácteos, el precio de la misma en la región de estudio seguirá viéndose afectado, lo que ocasionaría la quiebra de un mayor número de productores.

En la Figura 16, se proporciona una visión integral sobre cómo la importación de leche en polvo impacta en diferentes aspectos de la producción y comercialización de productos lácteos. Un elemento central es la relación entre la demanda de leche y las políticas de importación, las cuales juegan un papel crucial en la disponibilidad en el mercado nacional.

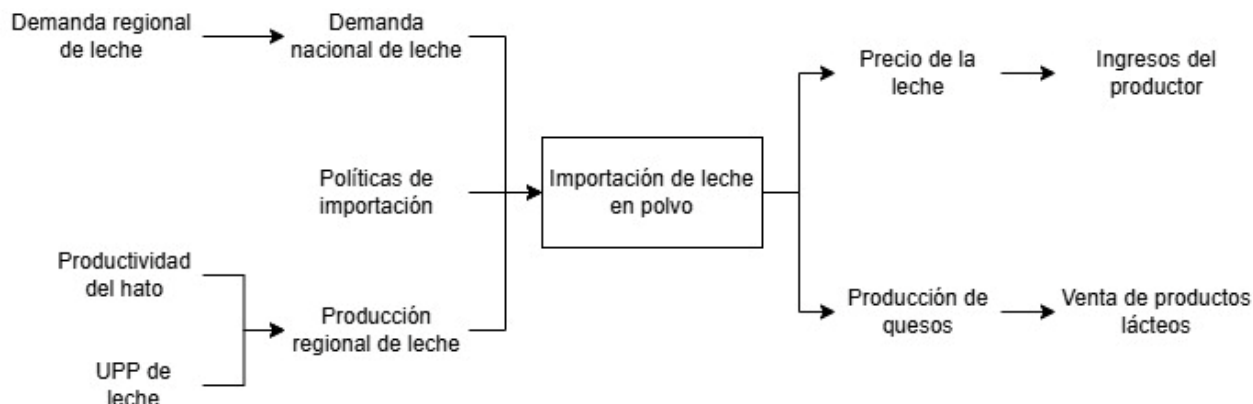


Figura 16. Impactos de la importación de leche en polvo

Fuente: elaboración propia

La demanda regional y nacional de leche es un factor clave que impulsa la necesidad de importar, especialmente en regiones donde la producción local no es suficiente para satisfacer el consumo de la industria. Esto genera una dinámica compleja entre la producción interna, liderada por las UPP, y la competencia con los productos importados. Desde el punto de vista de la producción, la productividad del hato y el desempeño de las UPP determinan la capacidad de las regiones para contribuir a la oferta nacional. Sin embargo, la dependencia de importaciones de leche en polvo afecta directamente la producción regional de leche, lo que, a su vez, influye en los precios ofrecidos a los productores locales.

Por lo anterior, podemos destacar que las políticas de importación de leche en polvo no solo afectan la dinámica de precios y la competitividad de los productores locales, sino también el equilibrio entre oferta y demanda a nivel nacional y regional. Por ello, un enfoque estratégico que considere los intereses de los productores locales y el fortalecimiento del sistema lechero podría mitigar los efectos negativos asociados con las importaciones.

En general, los cinco bucles identificados reflejan tres arquetipos clásicos de la dinámica de sistemas: i) éxito para los exitosos (bucles 1 y 2), donde los actores con más recursos tienden a concentrar ventajas competitivas; ii) Límites al crecimiento (bucles 3 y 4), que emergen cuando el sistema encuentra restricciones estructurales como la falta de infraestructura o agua; y iii) Desplazamiento de la carga (bucle 5), donde se opta por soluciones externas (como las importaciones) que alivian síntomas, pero debilitan el sistema a largo plazo.

Estos patrones explican cómo las estructuras causales del sistema lácteo regional refuerzan desigualdades preexistentes y limitan su desarrollo sostenible. La conjunción de brechas tecnológicas, restricciones logísticas, escasez hídrica y competencia desleal con productos importados crea un entorno particularmente adverso para las UPP, es decir, son los desafíos a los que se enfrentan día con día. En este sentido, se identifican cinco acciones sistémicas orientadas a disminuir, o paliar sus efectos. Sin embargo, es necesario recalcar que estos resultados, son válidos únicamente para los actores que participaron en la muestra; pero muestran acciones concretas que podrían ser imitadas en otras regiones lecheras mexicanas, que tengan similitudes con la zona centro de Veracruz:

1. Programas diferenciados de adopción tecnológica, adaptados al tamaño y capacidades de las UPP, para contrarrestar el efecto del arquetipo “éxito para los exitosos”.

2. Regulación comercial efectiva, que limite la competencia desleal de importaciones y disminuya el “desplazamiento de la carga”.
3. Fortalecimiento de la asociatividad, para mejorar acceso a insumos, logística de acopio, mercados y capacitación, abordando los límites al crecimiento.
4. Inversión pública en infraestructura hídrica y logística, coordinada con gobiernos locales, como respuesta a los cuellos de botella físicos del sistema.
5. Sistemas integrados de extensión y financiamiento, que articulen calidad, sanidad y productividad, promoviendo resiliencia estructural a largo plazo.

4.4 Conclusiones

El análisis del sistema lácteo desde una perspectiva sistémica revela una alta interdependencia entre los factores de producción, comercialización y sostenibilidad ambiental. La calidad de la leche y la innovación en productos son determinantes para mejorar la rentabilidad y competitividad del sector, mientras que el cambio climático y la escasez de recursos, como el agua, limitan la producción. Esto subraya la necesidad de estrategias resilientes que permitan mitigar estos efectos adversos. Para enfrentarlos, es fundamental implementar medidas que fortalezcan la resiliencia de los sistemas de producción lechera. Esto incluye fomentar la innovación tecnológica, mejorar la infraestructura y promover prácticas sostenibles que optimicen el uso de los recursos y minimicen los impactos ambientales. Asimismo, es esencial impulsar la organización de los productores y su integración en cadenas de valor robustas, lo cual no solo aumentaría su capacidad de negociación, sino que también garantizaría una distribución más equitativa de los beneficios económicos.

Las políticas públicas deben enfocarse en regular la competencia desleal, fortalecer las capacidades técnicas y financieras de los pequeños productores y establecer normativas que favorezcan la diferenciación de productos genuinos.

Solo mediante un enfoque estratégico que contemple las múltiples dimensiones del sistema será posible superar las limitaciones actuales y promover un desarrollo sostenible del sector lácteo en la región centro de Veracruz.

Este estudio proporciona una base metodológica para futuras evaluaciones en la dinámica de sistemas complejos en otros productos y cultivos; lo cual permitirá visualizar los efectos de las políticas públicas y las estrategias propuestas sobre la sostenibilidad y competitividad del caso seleccionado.

4.5 Agradecimientos

A todos los actores clave de la región Centro de Veracruz, por su disposición, colaboración y apoyo mostrado en todo momento para el desarrollo del estudio. Se declara el uso de IA como asistente para mejorar la sintaxis y la fluidez del texto. Todas las modificaciones fueron revisadas y aprobadas por los autores.

Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

4.6 Literatura citada

Álvarez Macías, A. G., Cesín Vargas, J. A., Santos Chávez, V. M., & Cárcamo Mallen, R. W. (2024). Características y perspectivas del sistema productivo de lácteos en México: un análisis coyuntural. *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente*, 157–180.

Asif, M., Inam, A., Adamowski, J., Shoaib, M., Tariq, H., Ahmad, S., Reza, M., & Nazeer, A. (2023). Development of methods for the simplification of complex group built causal loop diagrams: A case study of the Rechna doab. *Ecological Modelling*, 476, 110192. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110192>

- Buzogany, R. F., Kopainskyb, B., & Gonçalves, P. (2024). Developing theoretically grounded causal maps to examine and improve policy narratives about global challenges. *System Dynamics Review*, 40(4), 1–26. <https://doi.org/10.1002/sdr.1788>
- Camacho-Vera, J. H., Cervantes-Escoto, F., Palacios-Rangel, M. isabel, Cesín-Vargas, A., & Ocampo-Ledesma, J. (2017). Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: la difusión del modelo tecnológico Holstein Specialization of dairy production systems in Mexico: Diffusion of Holstein technological model. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(3), 259–268. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4191>
- Camacho-Vera, J. H., Vargas-Canales, J. M., Quintero-Salazar, L., & Apan-Salcedo, G. W. (2021). Características de la producción de leche en La Frailesca, Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 12(3), 845–860. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v12i3.5375>
- Espinoza Arellano, J., Fabela Hernández, A., López Chavarría, S., & Martínez Gómez, F. (2019). Impact of imports of powdered milk and dairy byproducts on the producer price of cow milk in Mexico. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 16(1), 123–139.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). El estado de los mercados de productos básicos agrícolas 2020. Los mercados agrícolas y el desarrollo sostenible: cadenas de valor mundiales, pequeños agricultores e innovaciones digitales. In *El estado de los mercados de productos básicos agrícolas 2020*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb0665es>
- Fiorillo, V., & Amico, B. M. (2024). Milk Quality and Economic Sustainability in Dairy Farming: A Systematic Review of Performance Indicators. *Dairy*, 5, 384–402. <https://doi.org/doi.org/10.3390/dairy5030031>
- Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (1967). *The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research*. Aldine.

- Hanrahan, L., Mchugh, N., Hennessy, T., Moran, B., Kearney, R., Wallace, M., & Shalloo, L. (2018). Factors associated with profitability in pasture-based systems of milk production. *Journal of Dairy Science*, 101(6), 5474–5485. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13223>
- Herrero, M., Wirsenius, S., Henderson, B., Rigolot, C., Havlík, P., Boer, I. De, & Gerber, P. J. (2015). Livestock and the Environment: What Have We Learned in the Past Decade ? *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 40(177), 177–202. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-031113-093503>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). *Censo agropecuario 2022: Veracruz De Ignacio de la Llave*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ca/2022/doc/ca2022_rdVER.pdf
- Joubran, A. M., Pierce, K. M., Callaghan, T. F. O., Garvey, N., & Shalloo, L. (2021). Invited review: A 2020 perspective on pasture-based dairy systems and products. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7364–7382. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19776>
- Kiambi, S., Alarcon, P., Rushton, J., Murungi, M. K., Muinde, P., Akoko, J., Aboge, G., Gikonyo, S., Momanyi, K., Kang, E. K., & Fèvre, E. M. (2018). Mapping Nairobi ' s dairy food system : An essential analysis for policy, industry and research. *Agricultural Systems*, 167(July 2017), 47–60. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.08.007>
- Lie, H., & Rich, K. M. (2016). Modeling Dynamic Processes in Smallholder Dairy Value Chains in Nicaragua : A System Dynamics Approach. *International Journal on Food System Dynamics*, 7(4), 328–340. <http://dx.doi.org/10.18461/ijfsd.v7i4.744>
- Lie, H., Rich, K. M., & Burkart, S. (2017). Participatory system dynamics modelling for dairy value chain development in Nicaragua. *Development in Practice*, 27(6), 785–800. <https://doi.org/10.1080/09614524.2017.1343800>

- Maani, K. E., & Cavana, R. Y. (2007). Systems thinking and modeling: Understanding change and complexity. *The Systems Thinker. Pegasus Communications.*, 18(8).
- Mackay-Smith, T. H., Spiekermann, R. I., Richards, D. R., Harcourt, N., & Burkitt, L. L. (2024). An integrative approach to silvopastoral system design: perspectives, potentials and principles. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 1–41. <https://doi.org/10.1080/00288233.2023.2298922>
- Mashamaite, C. V., Phiri, E. E., Mandizvidza, T. C., Mothapo, P. N., Pieterse, P. J., & Albien, A. J. (2024). Assessing a potential conflict associated with the production of *Moringa oleifera* in the Limpopo Province of South Africa: A systems thinking approach. *Heliyon*, 10, e26906. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26906>
- Muflikh, Y. N., Smith, C., & Aziz, A. A. (2021). A systematic review of the contribution of system dynamics to value chain analysis in agricultural development. *Agricultural Systems*, 189(April 2020), 103044. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.103044>
- Parkin, M., & Loría, E. (2015). *Microeconomía* (11va. edic). Pearson Educación.
- Peixoto Simões, A. R., Nicholson, C. F., Novakovic, A. M., & Protil, R. M. (2020). Dynamic impacts of farm-level technology adoption on the Brazilian dairy supply chain. *International Food and Agribusiness Management Review*, 23(1), 71–84. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2019.0033>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology And Society*, 14(2), 32. <https://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Romo-Bacco, C. E., Parga-Montoya, N., Valdivia-Flores, A. G., Carranza-Trinidad, R. G., Montoya Landeros, M. del C., Llamas-Martínez, A. A., & Aguilar Romero, M.

- M. (2022). Perspectivas sobre la continuidad, calidad de leche y entorno en unidades de producción de leche en el estado de Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(2), 357–374. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i2.5744>
- Rozhkov, A., Zellner, M., Murphy, J. T., & Massey, D. (2025). Identifying leverage points for sustainable transitions in urban – rural systems: Application of graph theory to participatory causal loop diagramming. *Environmental Science and Policy*, 164(January), 103996. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2025.103996>
- Ruiz-Torres, M. E., Moctezuma-Pérez, S., Arriaga-Jordán, C. M., & Martínez-Castañeda, F. E. (2017). Productive spaces and domestic roles in small-scale dairy farms in México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 14, 367–381. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722017000300367&lng=es&tlng=en
- Sarkar, A., Gupta, H., & Dutta, A. (2022). Dairy value chain operation and dairy producers: its impact and limitations in an emerging economy. *CABI Reviews*, 17(016). <https://doi.org/10.1079/cabireviews202217016>
- Senge, P. M. (1990). *The fifth discipline: The art and practice of the learning organization*. DOUBLEDAY.
- Setianto, N. A., Cameron, D., & Gaughan, J. B. (2014). *Identifying Archetypes of an Enhanced System Dynamics Causal Loop Diagram in Pursuit of Strategies to Improve Smallholder Beef Farming in Java , Indonesia*. 654(August 2013), 642–654. <https://doi.org/10.1002/sres.2312>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2024). *Anuario estadístico de la producción ganadera*. Online. <https://www.gob.mx/siap>
- Singer, J., Kummer, Y., Weber, C., Strobl, M., Burtscher, J., Domig, K. J., & Hirsch, P. (2021). Analysis of the impacts of the COVID-19 pandemic on the drinking milk supply chain in Austria by means of a business process modelling and System

Dynamics approach. *Journal of Land Management, Food and Environment*, 72(2), 73–82. <https://doi.org/10.2478/boku-2021-0007>

Sterman, J. D. (2003). *Systems dynamics: Systems Thinking and Modelling for a Complex World*.

Temesgen, M., Haji, J., Negassa, A., & Galmessa, U. (2023). Exploring policy options to transform traditional dairy system in Ethiopia : A system dynamics approach. *Heliyon*, 9(11), e22286. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22286>

Vargas-Bello-Pérez, E., Espinoza-Sandoval, O. R., & Ghavipanje, N. (2024). Supply and value chain of the dairy industry in Mexico. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 51(3), 219–230. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v51i3.2643>

Villavicencio-Gutiérrez, M. del R., Callejas-Juárez, N., Rogers-Montoya, N. A., González-Hernández, V., González-López, R., Martínez-García, C. G., & Martínez-Castañeda, F. E. (2023). Environmental outlook to 2030 in cow's milk production systems in Mexico. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 14(4), 760–781. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v14i4.6410>

Villegas, A., Santos, A., & Cervantes, F. (2016). Los quesos mexicanos. In J. Pablos (Ed.), *Universidad Autónoma Chapingo*.

Villegas de Gante, A., Cervantes Escoto, F., Cesín Vargas, A., Espinoza Ortega, A., Hernández Montes, A., Santos Moreno, A., & Martínez Campos, A. R. (2014). *Atlas de los quesos mexicanos genuinos*. Biblioteca básica de Agricultura.

Wasserman, S., & Faust, K. (2013). *Análisis de redes sociales* (Primera ed). Centro de Investigaciones Sociológicas.

5 CONCLUSIONES GENERALES

El análisis del sistema alimentario lácteo en la región centro del estado de Veracruz, realizado desde un enfoque sistémico, hizo posible comprender la estructura, el funcionamiento y las interrelaciones que determinan el comportamiento y los principales desafíos del sector. El uso de herramientas que tienen su base en la teoría de sistemas complejos, especialmente la caracterización multidimensional, los diagramas de bucles causales y la identificación de arquetipos, mostró que el desempeño del sistema no depende de factores aislados o desconectados, sino de la interacción simultánea de componentes sociales, económicos, productivos, ambientales y de organización.

En relación con la caracterización y clasificación de las unidades de producción, se evidenció la existencia de tipologías productivas conformadas por distintos tipos de ganaderos y subsistemas productivos claramente diferenciados, con brechas significativas en términos de productividad, acceso a tecnología, asistencia técnica, organización, integración al mercado y disponibilidad de recursos, lo que confirma la hipótesis 1. Estas diferencias reflejan configuraciones sistémicas particulares, que condicionan la toma de decisiones de los productores y su desempeño económico. Así, la identificación de los sistemas especializado, semiespecializado y extensivo permitió comprender cómo las dimensiones social, económica, productiva y técnica se articulan de manera diferenciada en el territorio, generando patrones de desempeño heterogéneos que no pueden abordarse eficazmente mediante estrategias homogéneas de intervención.

Asimismo, el estudio permitió analizar los principales desafíos y oportunidades del sistema desde una perspectiva de complejidad. Los resultados confirman la hipótesis 2, al demostrarse que los principales problemas del sistema (baja

productividad, vulnerabilidad económica, dependencia de insumos externos, rezago tecnológico y desigualdad estructural) están asociados a la presencia de relaciones causales, bucles de retroalimentación y patrones recurrentes de comportamiento. Los arquetipos sistémicos identificados: éxito para los exitosos, límites al crecimiento y desplazamiento de la carga, evidencian que la concentración de ventajas competitivas en determinados actores, la insuficiencia de infraestructura productiva y logística, la escasez hídrica y la dependencia de soluciones externas, como las importaciones de leche en polvo, refuerzan desigualdades preexistentes y limitan la capacidad del sistema para desarrollarse de manera sostenible. Estos patrones explican por qué algunas soluciones tradicionales han resultado inefectivas o insostenibles en el largo plazo, al atender síntomas sin modificar las estructuras que generan los problemas.

A partir de estos hallazgos, fue posible identificar con claridad elementos estratégicos para el diseño de políticas públicas orientadas al fortalecimiento del sistema lácteo regional. En este sentido, los resultados confirman la hipótesis 3, ya que el análisis sistémico facilitó la identificación de puntos de apalancamiento e intervenciones estratégicas capaces de generar cambios estructurales en el sistema, reconociendo la diversidad productiva del territorio y las particularidades de cada subsistema. Entre las principales líneas de acción se identifican el fortalecimiento de la organización y la asociatividad productiva, la promoción de procesos de adopción tecnológica acordes con las capacidades locales, la mejora de la infraestructura hídrica y logística, el impulso a esquemas integrales de asistencia técnica y financiamiento, así como la articulación de los flujos comerciales para reducir la dependencia externa y fortalecer los mercados regionales.

Estas estrategias, al incidir directamente sobre los bucles de retroalimentación que condicionan el funcionamiento del sistema, tienen el potencial de generar efectos positivos de carácter estructural, contribuyendo a mejorar la competitividad, reducir la vulnerabilidad productiva y fortalecer la resiliencia del sistema. En este sentido, el estudio confirma que las políticas públicas orientadas

al sector deben trascender los enfoques sectoriales y de corto plazo, y avanzar hacia esquemas integrales que consideren la complejidad del sistema y sus dinámicas internas.

En conjunto, los resultados permiten aceptar la hipótesis general de la investigación, al confirmarse que el sistema alimentario lácteo de la región centro de Veracruz presenta dinámicas complejas caracterizadas por interdependencias, retroalimentaciones y comportamientos no lineales que explican sus principales problemáticas. Asimismo, se confirma que el análisis sistémico constituye una herramienta adecuada para identificar puntos de intervención estratégicos y orientar la toma de decisiones en materia de política pública.

El enfoque de sistemas complejos, si bien puede parecer sencillo a primera vista, presenta algunas complicaciones, especialmente al trabajar con información de carácter cualitativo. No obstante, demostró ser de gran utilidad al centrarse en relaciones causales, patrones estructurales y bucles de retroalimentación, lo que permitió comprender fenómenos que no son visibles mediante enfoques lineales o reduccionistas. La integración de estas herramientas, proporcionó una base sólida para el análisis estratégico del sistema, al permitir identificar las dinámicas que sostienen los problemas estructurales y abrir la posibilidad de generar escenarios de intervención de política pública y analizar sus posibles efectos.

Si bien, el estudio permitió cumplir con los objetivos planteados y aportar evidencia relevante sobre el funcionamiento del sistema, es importante reconocer algunas limitaciones de la investigación. En una primera etapa, se abordaron aspectos de orden cuantitativo con el propósito de generar una caracterización de los sistemas, que, aunque se logró, existieron dificultades para alcanzar un número más amplio de productores durante el levantamiento de la información. En la segunda etapa, basada principalmente en información de carácter cualitativo, se enfrentaron retos asociados a la identificación de metodologías para la sistematización que respaldaran el enfoque propuesto, así como a la construcción de modelos conceptuales propios del enfoque de sistemas

complejos, lo que implica que los resultados reflejan dinámicas estructurales y patrones de comportamiento más que relaciones causales cuantificables. Asimismo, el alcance territorial y temporal del estudio limita la generalización directa de los hallazgos a otros contextos productivos. Sin embargo, esto no invalida su pertinencia ni su potencial de replicabilidad metodológica.

Así, con base en los resultados obtenidos, este trabajo sienta una base metodológica para futuros estudios orientados a la evaluación de sistemas, modelación de escenarios de cambio y el apoyo a la toma de decisiones en políticas y estrategias para el sector lácteo y otros sistemas agroalimentarios del país. Asimismo, contribuye a un entendimiento integral del sistema lácteo en la región centro de Veracruz, evidenciando tanto sus limitantes estructurales como sus oportunidades de transformación.