

Estudios Sociales

Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional

Volumen 35, Número 65. Enero – Junio 2025
Revista Electrónica. ISSN: 2395-9169

Artículo

Vulnerabilidad de la producción de leche
en la Comarca Lagunera ante cambios en el precio de la alfalfa

Vulnerability of Milk Production
in the Comarca Lagunera to Changes in the Alfalfa Price

DOI: <https://doi.org/10.24836/es.v35i65.1568>
e251568

José Cupertino Salas-Gutiérrez*
<https://orcid.org/0000-0001-5011-0759>
salas.cupertino@colpos.mx

José Alberto García-Salazar**
<https://orcid.org/0000-0002-9892-7618>
jsalazar@colpos.mx

José Saturnino Mora-Flores**
<https://orcid.org/0000-0003-0052-8422>
saturmf@colpos.mx

Lenin Gerardo Guajardo-Hernández**
<https://orcid.org/0000-0002-5658-7424>
glenin@colpos.mx

José Miguel Omaña-Silvestre**
<https://orcid.org/0000-0002-5356-549X>
miguelom@colpos.mx

Ángel Garduño-García***
<https://orcid.org/0000-0002-0038-9074>
agardunog@chapingo.mx

Fecha de recepción: 26 de julio de 2024.

Fecha de aceptación: 04 de marzo de 2025.

*Estudiante de Doctorado en Socioeconomía, Estadística e Informática-Economía.

Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. México.

**Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, México.

***Universidad Autónoma Chapingo Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, México.

Autor para correspondencia: José Alberto García-Salazar.

Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo 56264. Texcoco, Estado de México.

Tel. 01(55)58045984 ext. 1800

Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C.
Hermosillo, Sonora, México.



Resumen

Objetivo: analizar el impacto de aumentos en el precio de la alfalfa sobre el inventario, la producción y el precio de la leche de bovino, para determinar la tendencia dinámica del mercado del lácteo en la Comarca Lagunera. **Metodología:** se estimó un modelo dinámico de ecuaciones simultáneas del mercado de la leche en la región de estudio y se usaron series de tiempo de 1997 a 2022. **Resultados:** bajo un escenario que considera un aumento del 50 % en el precio de la alfalfa, se originarían efectos directos sobre el mercado de la leche, al disminuir el inventario y la producción en 6.2 y 25.3 %, respectivamente, con un consecuente aumento de 8.7 % en el precio del lácteo. **Limitaciones:** por ser un mercado regional no se consideró la variable de importaciones. **Conclusiones:** el mercado de la leche presenta una tendencia estable y la producción es vulnerable a los aumentos en el precio de la alfalfa. Para disminuir dicha vulnerabilidad es necesario el aumento de la producción regional de alfalfa, haciendo un uso más eficiente del agua lo que permitiría aumentar la superficie de riego.

Palabras clave: desarrollo regional, mercado, inventario, bovino, elasticidad, modelo dinámico.

Abstract

Objective: To analyze the impact of increases in the price of alfalfa on the inventory, production and price of bovine milk, to determine the dynamic trend of the milk market in the Comarca Lagunera. **Methodology:** A dynamic simultaneous equations model of the milk market was estimated in the study region, and time series from 1997 to 2022 were used. **Results:** under a scenario where there is a 50 % increase in the price of the alfalfa, it would have a direct effect on the alfalfa market, by decreasing inventory and production by 6.2 and 25.3 % respectively, with a consequent increase of 8.7 % in the price of milk. **Limitations:** Because it is a regional market, the import variable was not considered. **Conclusions:** The milk market shows a stable trend, but production is vulnerable to increases in the price of alfalfa. To reduce this vulnerability, it is necessary to increase regional alfalfa production, making more efficient use of water, which would allow for an increase in irrigated areas.

Keywords: regional development, market, inventory, cattle, elasticity, dynamic model.

Introducción

La leche de bovino es un alimento básico en la alimentación humana, por su contenido en nutrientes y el aporte energético (Fernández-Fernández et al., 2015). El producto desempeña un papel crucial en la dieta humana, además de un significativo aporte proteico y cantidades de magnesio, selenio y vitaminas B2 (riboflavina), B5 (ácido pantoténico) y B12. Un vaso de 250 mililitros de leche cubre el 48% de las necesidades de proteínas y 9% de calorías requeridas, además de aportar micronutrientes esenciales (FAO, 2024).

La producción global de este producto procede casi en su totalidad de ganado bovino, especie que aporta el 81% de la oferta mundial; el restante 19 % proviene de otras especies como los búfalos (15.1 %), cabras (2.2 %), ovejas (1.3 %) y camellos (0.4%) (FAO, 2021). En 2024 los principales diez países productores de leche fueron la India, EE. UU., Pakistán, China, Brasil, Alemania, Rusia, Francia, Turquía y Nueva Zelanda, los cuales aportaron el 60 % del suministro mundial de leche (GeeksforGeeks, 2024).

Países como EE. UU. y la Unión Europea producen un gran volumen con excedentes que terminan vendiéndose en el mercado internacional a precios subsidiados (SE, 2012). Algunos países consideran a la producción de leche como prioridad nacional, por la cual establecen políticas de proteccionismo para el sector, tratando de garantizar el acceso al producto. México es uno de ellos, de acuerdo con información de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2022) el abasto y consumo de leche entre la población del país es de la más alta prioridad para el Gobierno de México, por lo que ha tomado acciones, en coordinación con productores y la industria pecuaria, con el objetivo de aumentar la productividad y competitividad del sector pecuario.

En la actualidad se observa un incremento de la población en grandes ciudades en países en desarrollo, la cual está acompañada generalmente de un incremento en el poder adquisitivo, lo que

provoca un aumento en la demanda de una variedad de alimentos, entre los que se encuentran la leche y sus derivados, ya que una vez establecida en zonas urbanas la población cuenta con los servicios básicos de electricidad, que les permite conservar y consumir productos frescos altamente perecederos (Gallardo-Nieto, 2005).

En México los principales estados productores de leche son Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato y Veracruz, y juntos producen 692 millones de litros; es decir, un 65 % de la producción nacional (SIAP, 2024a). Datos del SIAP (2024b), indican que durante las últimas dos décadas el sector lechero nacional de ganado bovino ha experimentado un notable crecimiento; mientras que en 2003 la producción nacional de leche fue de 9.78 miles de millones de litros, para 2020 esta se ubicó en 12.55 miles de millones de litros, lo que representó un incremento de 27 %. En el mismo período, la Comarca Lagunera aumentó su producción de 1.83 a 2.58 miles de millones de litros, lo que representó un incremento del 41 %. En ese mismo año la Comarca Lagunera produjo el 19 % de la producción nacional de leche y en 2020 este porcentaje aumentó a 21 por ciento.

La Comarca Lagunera es una región del norte de México integrada por quince municipios, de los cuales diez corresponden a Durango (General Simón Bolívar, Gómez Palacio, Lerdo, Mapimí, Nazas, Rodeo, San Juan de Guadalupe, San Luis del Cordero, San Pedro del Gallo y Tlahualilo) y cinco al estado de Coahuila (Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón y Viesca). Se trata de la principal región productora de leche en el país; aporta el 50 % del PIB agropecuario de los estados de Coahuila y Durango, generando casi 200 mil empleos en la región (SADER, 2020).

En la Comarca Lagunera existen además, más de 380 establos tecnificados que generan una producción diaria de diez millones de litros (Alvarado, 2024). En el año 2022 la población de ganado bovino en la zona fue de 536 mil cabezas (SIAP, 2024b).

De acuerdo con datos del SIAP (2023a), en 2023 la producción de leche de bovino en la Comarca Lagunera fue de 2.896 miles de millones de litros, lo que representó el 21.7 % de la producción nacional. De acuerdo con Gómez (Citado en Gallegos-Daniel, Taddei-Bringas y González-Córdova, 2023), la industria láctea genera un efecto multiplicador en la economía de 1.71, es decir, cada peso ingresado por los productores genera una derrama económica de 71 centavos en el resto de la cadena de producción.

El fuerte crecimiento de la producción de leche en la Comarca Lagunera podría verse limitado en el futuro por diversos factores. La teoría económica señala que la producción de un producto específico, en este caso la oferta de leche de bovino, depende de precio del producto y otras variables determinantes como el precio del principal insumo usado en su producción (Nicholson, 2008), que en este caso es la alfalfa. Por lo tanto, la disponibilidad de forrajes en la región es indispensable para que continúe el crecimiento de la producción de leche en La Laguna, pues solo de esta manera se garantiza un precio bajo de los forrajes.

Las condiciones agroecológicas de la Comarca Lagunera se caracterizan por la escasez de agua, temperaturas extremas y condiciones de sequía. De acuerdo con datos del Observatorio Meteorológico de Torreón, los meses de más lluvia van de junio a septiembre con medias mensuales históricas de 30 milímetros en junio, 42.8 en julio, 40.9 en agosto y 51.6 en septiembre; los meses de enero a mayo y de octubre a diciembre presentan precipitaciones menores a 20 milímetros (Producción Agropecuaria y el Clima, 2024).

Bajo este escenario de escasez de agua, los cultivos de maíz (*Zea mays* L.) y alfalfa (*Medicago sativa* L.) son los principales cultivos forrajeros en la cuenca lechera de La Laguna. El estudio de Villavicencio-Gutiérrez et al. (2023) indica que del 100% del consumo de ingredientes de una dieta para la alimentación de ganado bovino en un sistema semintensivo, es la alfalfa verde,

la cual es el insumo más importante (52.4 %), seguido por el ensilado de maíz (25.8 %) y el rastrojo de maíz (13.5 %).

La alfalfa es una leguminosa que se siembra en climas templados húmedos, áridos y semiáridos del mundo, para la alimentación de ganado productor de carne y leche (Sánchez-Gutiérrez, Servín-Palestina, Gutiérrez-Bañuelos y Serna-Pérez, 2017). Este forraje puede ser usado en pastoreo directo, verde picado y henificado (Zapata-Moreno, Burboa-Cabrera, Cabanillas-Cruz y Domínguez-Canizales, 2021). Además permite mantener el paisaje verde durante su ciclo, evita la erosión de los suelos, enriquece el suelo con nitrógeno y, dado que no necesita de grandes labores, también permite ahorrar maquinaria y combustible, ayudando así a la salud del ambiente (Baldomero, 2022).

De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023b), en el cierre agrícola 2023 la superficie sembrada de alfalfa fue de 40 mil hectáreas. Sin embargo, el problema que limita la siembra y producción de la alfalfa en la Comarca Lagunera es el gasto de agua de riego ya que se requieren alrededor de 150 milímetros de agua por corte, lo que significaría un gasto anual 1,500 milímetros con sistemas de riego por goteo y aspersión considerando que se realizan hasta diez cortes al año (Baldomero, 2022).

A pesar de que una parte considerable de la superficie irrigable de la Comarca Lagunera se dedica a la producción de alfalfa, la producción local no es capaz de abastecer el consumo regional. La Comarca Lagunera realiza compras en otras regiones del país para poder abastecer el enorme consumo de forrajes que demanda el sector pecuario lagunero. Alvarado-Ríos, Guerrero-Morales, Anchondo-Nájera, Rivas-Lucero y Palacios-Monarez, (2017), reportan que el 51% (equivalente a 310 mil toneladas) de la producción de alfalfa de la región centro-sur del estado de Chihuahua se exporta principalmente a los estados de Durango, Coahuila y Zacatecas.

Al cierre de 2023 la producción nacional de alfalfa fue de 39.2 millones de toneladas con una superficie cosechada de 409 mil hectáreas; es Chihuahua el principal productor con 9.8 millones de toneladas (SIAP, 2023b). En ese estado se ha desarrollado una cadena de compra y distribución, donde los beneficios se distribuyen entre productores y comercializadores; es el consumidor final quien se encarga de fijar el precio. La superficie sembrada de este cultivo se ha incrementado en la región, porque gran parte de la producción se exporta a otros estados. El envío de alfalfa a otras regiones significa en los hechos una manera de exportar agua, un recurso cuya disponibilidad se reduce día con día en la zona agrícola de la región de Delicias (Alvarado-Ríos et al., 2017).

La dependencia de la Comarca Lagunera a las importaciones de alfalfa provenientes de otras regiones del país hace vulnerable al sector lechero de la Comarca Lagunera. El fuerte dinamismo que ha caracterizado al sector lechero regional podría verse obstaculizado por cambios en el precio de la alfalfa en las regiones productoras abastecedoras. Un aumento en el precio de la alfalfa, principal insumo usado en la producción de leche disminuiría la producción de leche.

Considerando la importancia del mercado de leche en México, la presente investigación tiene como objetivos, estimar la tendencia dinámica del inventario de bovino, la producción de leche y el precio real de la leche al productor derivado de los aumentos en el precio de la alfalfa. La hipótesis fue que tanto el inventario y la producción son afectados por aumentos en los precios del insumo.

Metodología

Se estimó un modelo dinámico del mercado de la leche en la Comarca Lagunera, integrado por tres ecuaciones simultáneas. Se usaron series de tiempo de 1997 a 2022. Las variables endógenas, aquellas cuyo valor se determina con la solución del modelo, son $INVG_t$, $QPLB_t$, y $PRLB_t$. Y con el propósito de darle dinamismo al modelo se consideraron variables endógenas con rezagos ($INVG_{t-1}$ y $PRLB_{t-1}$). El valor de una variable rezagada en el año t se refiere al valor observado de

es variable en el año posterior, o sea en el año $t-1$. Las variables exógenas, aquellas a las que se les tiene que dar un valor, fueron: $PALF_{t-1}$, $INGR_t$, y POB_t .

$$INVG_t = \beta_{10} + \beta_{11} INVG_{t-1} + \beta_{12} PRLB_{t-1} + \beta_{13} PALF_{t-1} + e_{1t} \quad (1)$$

$$QPLB_t = \beta_{20} + \beta_{21} INVG_t + \beta_{22} INVG_{t-1} + \beta_{23} PRLB_{t-1} + \beta_{24} PALF_{t-1} + e_{2t} \quad (2)$$

$$PRLB_t = \beta_{30} + \beta_{31} QPLB_t + \beta_{32} INGR_t + \beta_{33} POB_t + e_{3t} \quad (3)$$

Donde para el año t : $INVG_t$ es el inventario de ganado bovino para producción de leche, en miles de cabezas; $INVG_{t-1}$ es el inventario de ganado bovino con un período de rezago, en miles de cabezas; $PRLB_{t-1}$ es el precio real de la leche de bovino al productor con un período de rezago, en pesos por litro; $PALF_{t-1}$ es el precio medio rural real de la alfalfa verde al productor con un período de rezago, en pesos por tonelada; $QPLB_t$ es la producción de leche de bovino para la región lagunera, en millones de litros; $PALF_{t-1}$ es el precio medio rural real de la alfalfa verde al productor, con un período de rezago, en pesos por tonelada; $PRLB_t$ es el precio real de la leche de bovino al productor, en pesos por litro; $INGR_t$ es el ingreso real per cápita, en pesos anuales; POB_t es la población del país, en millones de personas y; los β 's son los parámetros estructurales del modelo, su valor indica el cambio en la variable dependiente, cuando la variable independiente cambia en una unidad.

La justificación de la formulación del modelo se basó en la teoría microeconómica (García-Mata, García-Salazar y García-Sánchez, 2003), así como en evidencia empírica. En el análisis de mercado de un bien, las leyes de oferta y demanda explican la conducta de los productores y consumidores a cambios en el precio. De acuerdo con García-Mata et al. (2003), los factores determinantes de la cantidad ofertada de un producto, son el precio del producto, el precio de los insumos usados en la producción, la tecnología, el clima y las expectativas del productor; y los factores determinantes de la cantidad demandada son el precio del bien, los precios de los bienes sustitutos o complementarios, el ingreso disponible y la población. En el modelo dinámico de la

presente investigación las funciones de oferta y demanda dependen de algunos de los implícitamente se incluye la oferta y la demanda representada por la población y los ingresos.

Con base en lo anterior, las variables que determinan el inventario ganadero se conforma de el inventario de ganado bovino con un período de rezago, el precio real de la leche de bovino al productor con un período de rezago y el precio medio rural real de la alfalfa verde al productor, con un período de rezago. Los determinantes de la producción de leche de bovino son el inventario de ganado bovino para producción de leche, el inventario de ganado bovino con un período de rezago, el precio real de la leche de bovino al productor con un período de rezago y el precio medio rural real de la alfalfa verde al productor, con un período de rezago. Los determinantes del precio real de la leche de bovino al productor son la cantidad producida de leche de bovino para la región lagunera, el ingreso real per cápita y la población del país.

Con base en Reutlinger (1966) y Brambila-Paz (2011), el modelo de ecuaciones simultáneas se puede establecer de manera matricial de la siguiente manera:

$$AY_t + BY_{t-1} + CZ_t = 0 \quad (4)$$

Donde para el año t , A es la matriz de parámetros estructurales asociados a las variables endógenas, de orden $n \times m$; Y_t es el vector de variables endógenas o dependientes del modelo, de orden $n \times 1$; B es la matriz de parámetros estructurales asociados a las variables endógenas rezagadas, de orden $n \times m$; Y_{t-1} es el vector de variables endógenas rezagadas, de orden $n \times 1$; C es la matriz de parámetros estructurales asociados a las variables exógenas, de orden $(k+1) \times n$, donde k es el número de variables exógenas del modelo más la ordenada al origen y; Z_t es el vector de variables exógenas, de orden $n \times 1$.

La forma reducida del modelo se obtuvo despejando el vector Y_t de la ecuación 4, y expresa a las variables endógenas en términos de variables endógenas rezagadas y de variables exógenas.

La forma reducida del modelo queda de la siguiente manera:

$$Y_t = -A^{-1}B Y_{t-1} + -A^{-1}C Z_t = D_1 Y_{t-1} + D_2 Z_t \quad (5)$$

Dónde D_1 y D_2 son los multiplicadores de impacto o de corto plazo, y su valor indica en cuanto cambian las variables endógenas ante el cambio en una unidad en alguna variable endógena rezagada o exógena.

Para analizar el comportamiento del mercado se analizó la tendencia dinámica de las principales variables dependientes del modelo. Usando la matriz de multiplicadores de corto plazo, se analizó la condición de estabilidad del mercado de leche y se calculó la raíz característica o Eigen valor, esto es:

$$ID_1 - \lambda I = 0 \quad (6)$$

Dónde D_1 es el multiplicador de corto plazo; λ es la raíz característica o Eigen valor e; I es la matriz unitaria.

Para saber si el modelo tiende a estabilizarse se debe saber si la matriz D_1^k tiende a cero, de ahí que se calculó el rango de la matriz. Una vez calculadas las raíces características se procedió a analizar la raíz dominante para conocer el comportamiento del mercado; es decir, si converge o diverge hacia el equilibrio. Solo en el caso de que la raíz característica sea un número complejo (compuesto de una parte real y otra imaginaria) se calcula el módulo de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$M = \sqrt{(h)^2 + (v)^2} \quad (7)$$

Dónde M es el módulo de un número complejo; h es la parte real del número complejo y; v es la parte imaginaria del número complejo.

Con base al valor del módulo se tendrán las siguientes alternativas: a) Si M es menor a 1, el precio se mueve en ciclos, pero el sistema es estable y converge; b) Si M es mayor a 1 el precio se comporta en forma de ciclos, pero el precio diverge del equilibrio; c) Si M es igual a 1 el precio es estable y constante.

Las integraciones de las series de tiempo usadas para la estimación del modelo provinieron de varias fuentes. La información de 1997 del inventario ganadero provino del anuario estadístico de la producción agropecuaria de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) en la Región Lagunera (Sagarpa, 1998); los datos de 1998 a 2012 se obtuvieron de El Siglo de Torreón (2008, 2009, 2012) y, de 2013 a 2020 del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024b). La información sobre cantidad producida de leche en el período 1997-2002 se obtuvo de El Siglo de Torreón (2008) y de 2003 a 2020 se obtuvo del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024a).

El precio de la leche al productor de bovino provino del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024c) y el precio medio rural de la alfalfa verde provino también del SIAP (2024d). La serie de ingreso per cápita provino del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2024) y la población se obtuvo de los censos de población levantados por el INEGI (2000, 2005, 2010, 2020).

El método de estimación de los parámetros que relacionan las variables dependientes con las independientes se llevó a cabo por el método de mínimos cuadrados ordinarios utilizando el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2002).

Resultados

En la tabla 1 se presentan los resultados a partir de la forma estructural del modelo. Se obtuvieron coeficientes de determinación (R^2) de 0.67, 0.90 y 0.69, lo que significa que las variables independientes explican en 67, 90 y 69 % el comportamiento de las variables dependientes. Todas las F calculadas (F_c) fueron mayores a las F de la tabla (F_t)($p > 10$), lo que a nivel global expresa que las variables explicativas son significativas para determinar las variables exógenas, ya que los valores de F son casi cero. Con la prueba t se encontró que en las tres ecuaciones estimadas todos

los parámetros fueron significativos, pues la mayoría de los valores de t resultaron ser mayores a la unidad, por lo que el modelo resulta con un ajuste estadísticamente apropiado.

Tabla 1.

Resultados estadísticos del modelo dinámico del mercado de la leche en la Comarca Lagunera, en el período 1997-2022

Variable dependiente		Variables explicativas			R ²	F-valor	Prob>F	
<i>INVG_t</i>	Intercepto	<i>INVG_{t-1}</i>	<i>PRLB_{t-1}</i>	<i>PALF_{t-1}</i>	0.67	17.48	0.0001	
<i>Coef.</i>	-12.4279	0.811155	26.93819	-0.12244				
<i>Valor t</i>	-0.12	6.01	1.89	-1.71				
<i>P</i>	0.9079	0.0001	0.073	0.1014				
<i>QPLB_t</i>	Intercepto	<i>INVG_t</i>	<i>INVG_{t-1}</i>	<i>PRLB_{t-1}</i>	<i>PALF_{t-1}</i>	0.90	53.49	0.0001
<i>Coef.</i>	-1,468.35	1.953964	5.170418	300.342	-2.4937			
<i>Valor t</i>	-2.43	1.57	4.07	3.41	-5.73			
<i>P</i>	0.0249	0.1321	0.0006	0.0028	0.0001			
<i>PRLB_t</i>	Intercepto	<i>QPLB_t</i>	<i>INGR_t</i>	<i>POB_t</i>		0.69	19.27	0.0001
<i>Coef.</i>	-3.54154	-0.00077	0.000015	0.078834				
<i>Valor t</i>	-1.55	-1.18	4.66	3.92				
<i>P</i>	0.1342	0.2497	0.0001	0.0007				

Fuente: elaboración propia con datos del modelo estimado.

En la tabla 2 se presentan las elasticidades de oferta y demanda relacionadas con las variables de inventario ganadero, cantidad producida de leche y el precio real de la leche. Se observa que la mayoría de los valores absolutos son menores a la unidad, lo que indica que las variables endógenas responden de manera inelástica a los cambios en los factores que las determinan. Las elasticidades que relacionan las variables exógenas con las endógenas, que se presentan en la tabla 2, se calcularon usando los coeficientes estimados de la forma estructural y los valores promedio de las variables en el período 1997-2022.

Tabla 2.
Elasticidades estimadas a partir de la forma estructural del modelo

Variables endógenas	Variables exógenas						
	$INVG_t$	$INVG_{t-1}$	$PRLB_{t-1}$	$PALF_{t-1}$	$QPLB_t$	$INGR_t$	POB_t
$INVG_t$		0.81	0.32	-0.12			
$QPLB_t$	0.38	0.99	0.69	-0.48			
$PRLB_t$					-0.34	0.31	1.61

Fuente: elaboración propia con datos del modelo estimado y valores medios de las variables.

En la tabla 3 se presentan los datos observados y estimados de las tres variables endógenas del modelo (inventario ganadero, producción leche y precio al productor de leche). La diferencia entre el valor observado y estimado del inventario de ganado bovino es de 1.39 %, en el caso de la cantidad producida de leche de bovino la diferencia es de 3.6 % y para la variable precio real de la leche de bovino, se observa que existe una diferencia de 0.81 %. En general el modelo estimado presenta un buen ajuste.

Tabla 3.

Efectos de corto plazo de los factores que afectan el mercado de leche en México

Cambios en las variables exógenas	Variables endógenas		
	$INVG_t$	$QPLB_t$	$PRLB_t$
	Miles de cabezas	Miles de litros	\$ por litro
Datos observados	521.67	2,706.67	6.21
Datos estimados (escenario base)	514.43	2,804.12	6.26
Diferencia estimada (%)	-1.39 %	3.60 %	0.81 %
Cambio absoluto			
<i>PRLB_{t-1}</i> aumenta en:			
10 %	531.16	3,023.32	6.09
20 %	547.88	3,242.51	5.92
<i>PALF_{t-1}</i> aumenta en:			
30 %	495.35	2,378.32	6.59
50 %	482.63	2,094.45	6.81
<i>INGR_t</i> aumenta en:			
10 %	514.43	2,804.12	6.46
20 %	514.43	2,804.12	6.65
<i>POB_t</i> aumenta en:			
10 %	514.43	2,804.12	7.26
20 %	514.43	2,804.12	8.26
Cambio respecto al escenario base en %			
<i>PRLB_{t-1}</i> aumenta en:			
10 %	3.3	7.8	-2.7
20 %	6.5	15.6	-5.4
<i>PALF_{t-1}</i> aumenta en:			
30 %	-3.7	-15.2	5.2
50 %	-6.2	-25.3	8.7
<i>INGR_t</i> aumenta en:			
10 %	-	-	3.1
20 %	-	-	6.2
<i>POB_t</i> aumenta en:			
10 %	-	-	16.0
20 %	-	-	31.0

Fuente: elaboración propia con datos del modelo estimado.

Discusión

En el análisis económico se analizan los signos obtenidos de la estimación de las variables de las ecuaciones, los cuales son consistentes con la teoría económica (Gracia-Mata et al., 2003) de acuerdo con su conveniencia en el marco de la teoría económica, comparando el signo de los parámetros estimados con ciertos principios de la misma.

En la tabla 2 se observa que el coeficiente de la elasticidad que relaciona el inventario ganadero con el precio al productor de la leche es de 0.32, esto indica que el inventario responde

de manera inelástica a cambios en el precio con una relación positiva. Lo anterior significa que la variable dependiente responde menos que proporcionalmente a los cambios en la variable independiente; por ejemplo, si el precio de la leche de bovino al productor aumenta un 10 %, la cantidad producida de leche aumentara en 3.2 %. Por otro lado, la elasticidad que relaciona el inventario y el precio de la alfalfa fue de -0.12; lo que significa que por cada aumento del 10 % en el precio de la alfalfa, el inventario ganadero disminuirá en 1.2 por ciento.

También se observa que el coeficiente de elasticidad que relaciona la cantidad producida con el precio de la leche de bovino al productor fue de 0.69, lo que significa que la oferta de leche responde de manera inelástica a cambios en el precio con una relación positiva; un aumento de 10 % en el precio de la leche de bovino al productor, aumentará las ganancias del productor lo que aumentará la cantidad producida de leche en 6.9 %. La elasticidad que relaciona la oferta de leche con el precio de la alfalfa fue de -0.48, lo que significa que por cada aumento de 10 % en el precio de la alfalfa, la cantidad producida de leche disminuirá en 4.8 %, la disminución de la producción se debe a que un aumento en el precio del insumo origina un aumento en el costo de producción con la consecuente disminución en la ganancia del productor. Los resultados anterior son similares a los reportados por otros autores como Calderón-Chávez, García-Mata, López -Díaz, Mora-Flores y García-Salazar, (2004) y Reyes-Santiago, Bautista-Mayorga y García-Salazar, (2022), quienes reportan una elasticidad precio de la oferta de maíz de 0.027 y 0.20, respectivamente. Vázquez-Alvarado y Martínez-Damián (2017) también reportan que la oferta de leche de bovino es inelástica a cambios en el precio con una elasticidad precio de 0.157.

Por el lado de la demanda, los resultados indican que un aumento del 10 % en el ingreso per cápita provocará un incremento del 3.1 % en el precio real de la leche de bovino al productor. De manera similar, un aumento del 10 % en la población incrementará en un 16.1 % el precio real de

la leche de bovino. Por último, si la cantidad producida de leche aumenta un 10 %, el precio real de la leche de bovino disminuirá en un 3.4 %.

Al analizar la condición de estabilidad, los resultados indican que la raíz característica toma valores negativos de $-0.54+0.26i$ y $-0.54-0.26i$. Para resolver esto, se utilizó un número imaginario aplicando la fórmula 7, donde h es un valor real y v es un valor imaginario, resultando con un M igual a 0.90. Este valor indica que el sistema representa un mercado que se mueve en ciclos, es decir, es estable y converge. Dado que los datos utilizados en la presente investigación son anuales, la estimación del ciclo es de aproximadamente tres años.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la tabla 3 se presentan los efectos sobre las variables endógenas del modelo ante cambios en las variables exógenas (precio real de la leche, precio real de la alfalfa, ingreso real per cápita y población). El objetivo de las simulaciones fue analizar el comportamiento de las variables endógenas ante incrementos o decrementos en las variables exógenas de manera individual y para ello se utilizaron las matrices $D1$ y $D2$, para poder hacer las simulaciones ante cambios en las variables exógenas.

El escenario 1 considera un aumento en el precio real de la leche al productor. Los valores obtenidos indican que, si este aumenta un 10 %, el inventario ganadero se incrementará en un 3.3 %, la producción en un 7.8 %, y el precio de la leche disminuirá en un 2.7 %.

Una de las variables que influye en la ganancia del productor es el aumento de los costos de producción, representado por el precio de la alfalfa, principal insumo en la alimentación del ganado. En un escenario 2, si el precio real de la alfalfa aumentara un 30 %, se observaría una disminución del 3.7 % en el inventario ganadero, una reducción del 15.18 % en la producción de leche y un incremento del 5.2 % en el precio de la leche. Estos cambios implicarían una caída en los ingresos del productor de leche de bovino. El precio de la alfalfa depende de las condiciones

del mercado, y la variación en la oferta y la demanda provocarán fluctuaciones en el precio del cultivo a lo largo del año.

La alfalfa es un insumo esencial para la alimentación del ganado. Sin embargo, los productores deben adquirir forrajes independientemente de las fluctuaciones en su precio, ya que no hacerlo provocaría una disminución en la producción y en el inventario debido a la inelasticidad de la demanda frente a las variaciones de precio.

En el escenario 3 se considera un aumento del ingreso per cápita del 10 y 20 %. En el corto plazo, las variables de inventario y producción no muestran cambios significativos. Sin embargo, el impacto se refleja en la variable del precio real de la leche de bovino al productor, con aumentos del 5.2 y 8.7 %, respectivamente.

En el escenario 4 se considera un aumento de la población del 10 y 20 %. Los efectos de este cambio son los siguientes: en el corto plazo, tanto el inventario como la producción no presentan variaciones significativas. Sin embargo, el impacto se refleja en el precio real de la leche de bovino, con incrementos del 15.9 y 31.9 %, respectivamente. Un aumento en la población provoca un desplazamiento de la demanda, similar a los incrementos en el ingreso del consumidor. Este comportamiento es coherente con la teoría económica, que predice un aumento en el precio de un bien ante incrementos en la demanda impulsados por el crecimiento de la población.

Los valores obtenidos en la presente investigación muestran que el precio de la alfalfa tiene un fuerte efecto sobre la producción de leche en la Comarca Lagunera. Aunque actualmente el modelo es estable, esta situación podría no ser la misma en el futuro. La escasez de agua, la sobreexplotación de los mantos acuíferos y las sequías que han azotado la región en los últimos años, representan una posible amenaza para la producción agrícola y para la producción del sector lechero. En 2013 el Siglo de Torreón (2013) alertaba por un posible aumento en los precios de forrajes para la Comarca Lagunera debido a las condiciones de sequía, reducción de volumen de

agua y altos costos de producción. Ocho años después, Carbajal (2021) alertaba sobre la problemática de los productores por los altos costos de producción, como la alfalfa, a consecuencia de la sequía y de los combustibles, siendo el productor el más afectado por tener que absorber los altos costos. Diez años después Ponce (2023) y Buitimea (2023) alertaban sobre el encarecimiento del precio de los forrajes debido a los fenómenos climáticos.

La producción y el abasto de la alfalfa como uno de los alimentos principales y un cultivo considerado con alta demanda de agua, es uno de los principales retos para el futuro. Dado que en la región uno de los problemas principales es la falta de disponibilidad hídrica, agudizada por las sequías y su consecuente efecto sobre la recarga de los mantos acuíferos, es necesario implementar capacitación y asistencia técnica no solo en cuanto a la producción de leche y de insumos como la alfalfa o maíz forrajero, sino también a la regeneración de los recursos naturales, en especial la recuperación de los recursos hídricos.

Ante la escasez de agua para uso agrícola, es necesario el desarrollo de mejores estrategias para reducir la cantidad de agua aplicada a los cultivos, esto sin afectar su rendimiento, que incluye el desarrollo de sistemas de riego más eficientes. Sánchez-Gutiérrez et al. (2017) indican que el riego por goteo subsuperficial es una técnica de irrigación moderna y efectiva, ya que permite la aplicación de láminas de riego pequeñas a una mayor frecuencia y además reduce pérdidas de agua por evaporación directa, escurrimiento y percolación. Solo haciendo un uso más eficiente del agua será posible disminuir los requerimientos por unidad de superficie, y de esta manera ampliar la superficie dedicada a los forrajes como la alfalfa.

Conclusiones

El precio real de la leche de bovino al productor, el precio real de la alfalfa y el inventario con un período de rezago, son factores que explican el comportamiento del inventario de ganado lechero en la Comarca Lagunera. Un aumento en el precio de la alfalfa, principal insumo usado en la

producción de leche tendría un efecto considerable sobre el mercado del lácteo porque disminuiría el inventario ganadero y la producción de leche con un consecuente aumento en el precio de leche. Los resultados anteriores indican que la producción de leche es vulnerable al comportamiento de la producción y precio de la alfalfa.

La escasez de lluvia y en general la falta de agua son el principal obstáculo para continuar con el crecimiento de la producción de leche, pues esta situación podría tener efectos negativos sobre la producción de alfalfa, provocando aumentos en su precio que impactarían las variables del mercado de la leche como el inventario de ganado, la producción y el precio de leche al productor.

Considerando el aumento nacional de la demanda de leche, el alto consumo de agua para la producción de leche en la Comarca Lagunera y la situación de sobre-explotación del acuífero de la región, es recomendable seguir desarrollando políticas en materia de uso de agua eficiente en la agricultura, incorporando tecnologías eficientes que garanticen el cuidado del agua. Solo de esta manera se garantiza el aumento de la superficie de alfalfa para reducir el impacto negativo que tendría la escasez del principal insumo usado en la producción de leche.

Referencias

- Alvarado, A. (2024). Lanzan S.O.S. productores de leche de La Laguna; baja producción del lácteo a causa de la sequía. *Vanguardia*. Recuperado de <https://vanguardia.com.mx/coahuila/lanzan-s-o-s-productores-de-leche-de-la-laguna-baja-produccion-del-lacteo-a-causa-de-la-sequia-HE12255637>
- Alvarado-Ríos, S., Guerrero-Morales, S., Anchondo-Nájera, J. Álvaro., Rivas-Lucero, B. A. y Palacios-Monarez, A. (2017). Importancia económica y biológica de la alfalfa en el centro de Chihuahua. *Revista Biológico-Agropecuaria Tuxpan* 5(2): 68-74. doi: <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v5i2.114>
- Baldomero, M. (2022). *Alfalfa, más que un forraje*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Desarrollo Estratégico. Recuperado de <https://idp.cimmyt.org/alfalfa-mas-que-un-forraje/>
- Brambila-Paz, J. de J. (2011). *Bioeconomía: Instrumentos para su análisis Económico*. Ciudad de México, México. Primera edición. Sagarpa-Colpos.
- Buitimea, F. (2023). ¡Alerta en la industria lechera! Sequía amenaza con incrementar precios de forrajes. *Sigma Radio Delicias*. Recuperado de <https://sigmaradiodelicias.com/noticias/noticias-delicias-chihuahua/alerta-en-la-industria-lechera-sequia-amenaza-con-incrementar-precios-de-forrajes/>
- Calderón-Chávez, M., García-Mata, R., López-Díaz, S., Mora-Flores, J. S. y García-Salazar, J. A. (2004). Efecto del precio internacional sobre el mercado de la papa en México, 1990-2000. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4): 377-384. Recuperado de <https://revfitotecnia.mx/index.php/RFM/article/view/1185/1135>
- Carbajal, B. (2021). Incremento de insumos ahoga a productores de leche. *La Jornada*. Recuperado de <https://www.jornada.com.mx/2021/05/06/economia/017n2eco>
- El Siglo de Torreón (2008-2012). Producción pecuaria en la región Lagunera. *Revista el Siglo de Torreón*. Suplemento especial Comarca Lagunera. 1 de enero de 2009, 2010, 2011 y 2012 y 2013.

- El Siglo De Torreón (2013). Preven alza en el precio de forrajes. *El Siglo de Torreón*. Recuperado de <https://www.elsiglodetorreon.com.mx/noticia/2013/preven-alza-en-el-precio-de-forrajes.html>
- Fernández-Fernández, E, Martínez-Hernández, J. A., Martínez-Suárez, V., Moreno-Villares, J. M., Collado-Yurrita, L. R., Hernández-Cabria, M., y Morán-Rey, F. J. (2015). Documento de Consenso: importancia nutricional y metabólica de la leche. *Nutrición Hospitalaria*, 31(1), 92-101. doi: <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8253>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2021). *Global Milk Production By Species 2019*. Recuperado de <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/60012716-5b7d-418a-81b9-543bf6245ca4/content>
- FAO (2024). *Procesamiento de la Leche*. Recuperado de <https://www.fao.org/dairy-production-products/production/milk-production/es>
- Gallardo-Nieto, J. L. (2005). *Situación actual de la producción de leche de bovino en México*. Coordinación General de Ganadería de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado de <https://www.cofemersimir.gob.mx/expediente/4606/mir/12233/anexo/447373>
- Gallegos-Daniel, C., Taddei-Bringas, C. y González-Córdova, A. F. (2023). Panorama de la industria láctea en México. *Estudios Sociales* 33(61): e231251. doi: <https://doi.org/10.24836/es.v33i61.1251>
- García-Mata, R., García-Salazar, J. A. y García-Sánchez, R. C. (2003). *Teoría del mercado de productos agrícolas*. México. Primera Edición. México: Colegio de Postgraduados.
- GeeksforGeeks. (2024). Top 10 largest milk producing countries in the world 2024. *GeeksforGeeks*. Recuperado de <https://www.geeksforgeeks.org/largest-milk-producing-countries-2024/#milk-production-in-the-world-2024>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2000). Subsistema de información demográfica y social. *XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>
- INEGI (2005). Subsistema de información demográfica y social. *II Conteo de Población y Vivienda 2005*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2005/>
- INEGI (2010). Subsistema de información demográfica y social. *Censo de Población y Vivienda 2010*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- INEGI (2020). Subsistema de información demográfica y social. *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI (2024). *Producto Interno Bruto per cápita*. Recuperado de <https://cuentame.inegi.org.mx/economia/pibpc.aspx?tema=e>
- Nicholson, W. (2008). *Teoría Microeconómica: Principios Básicos y Aplicaciones*. Novena edición México, D. F. Editorial: Thomson/Cengage.
- Ponce, S. (2023). Productores lecheros en alerta: sequía causará aumento de precios en alfalfa y forrajes. *El Herald de Chihuahua*. Recuperado de <https://www.elheraldodechihuahua.com.mx/local/delicias/productores-lecheros-en-alerta-sequia-causara-aumento-de-precios-en-alfalfa-y-forrajes-10811709.html>
- Producción Agropecuaria y el Clima (2024). *Boletín Informativo. Subdelegación de Planeación. Región Lagunera*. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/892300/BOLET_N_INF_PROD_AGROP_Y_CLIMA_No_2.pdf
- Reutlinger, S. (1966). Analysis of a dynamic model, with particular emphasis on long-run projections. *Journal of Farm Economics* 48(1), 88-106. doi: <https://doi.org/10.2307/1236181>
- Reyes-Santiago, E., Bautista-Mayorga, F. y García-Salazar, J. A. (2022). Análisis del mercado de maíz en México desde una perspectiva de precios. *Acta Universitaria* 32:1-16. doi: <https://doi.org/10.15174/au.2022.3265>
- Sánchez-Gutiérrez, R. A., Servín-Palestina, M., Gutiérrez-Bañuelos, H. y Serna-Pérez, A. (2017). Eficiencia en el uso del agua de variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con sistema de riego subsuperficial. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 8(4):429-435. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v8n4/2448-6698-rmcp-8-04-00429.pdf>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo rural, Pesca y alimentación (Sagarpa, 1998). *Sagar - Alianza para el campo. Resultados e impactos 1996-1997. Programa 1998. Región Lagunera: Coahuila y Durango*. Recuperado de <https://biblat.unam.mx/es/revista/revista-mexicana-de-agronegocios/articulo/sagar-alianza-para-el-campo-resultados-e-impactos-1996-1997-programa-1998-region-lagunera-coahuila-y-durango>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo rural (SADER, 2020). *Sector Lechero, Vital en el Desarrollo Económico, Social y Alimentario del País: Agricultura*. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/sector-lechero-vital-en-el-desarrollo-economico-social-y-alimentario-del-pais-agricultura>

- SADER (2022). *Apoyo a productores pecuarios contribuye a garantizar abasto de leche entre la población vulnerable: Agricultura*. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/apoyo-a-productores-pecuarios-contribuye-a-garantizar-abasto-de-leche-entre-la-poblacion-vulnerable-agricultura>
- Secretaría de Economía (SE, 2012). *Análisis del Sector Lácteo en México*. Recuperado de https://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2023a). *Anuario Estadístico de la Producción Ganadera*. Recuperado de https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_pecuario/
- SIAP (2023b). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- SIAP (2024a). *Avance Mensual de la Producción Ganadera*. Resumen Nacional. Recuperado de infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp
- SIAP (2024b). *Población Ganadera*. Recuperado de https://nube.siap.gob.mx/poblacion_ganadera/
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024c). *Precio Promedio de Leche de Bovino al productor*. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Pecuario Estatal. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- SIAP (2024d). *Precio Promedio de Alfalfa verde*. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. Agrícola Estatal. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>
- Statistical Analysis System Institute (SAS, 2002). *SAS/ETS User's Guide versión 9.0. Software de computación*. SAS. North Carolina, USA: Statistical Analysis System Institute.
- Vázquez-Alvarado J. M. P. y Martínez Damián M. A. (2017). Estimación empírica de elasticidades de oferta y demanda. *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas* 6(5), 955-965. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i5.590>
- Villavicencio-Gutiérrez, M. del R., Callejas-Juárez, N., Rogers-Montoya, N. A., González-Hernández, V., González-López, R., Martínez-García, C. G. y Martínez-Castañeda, F. E. (2023). Prospectiva ambiental al 2030 en sistemas de producción de leche de vaca en México. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* 14(4):760-781. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v14n4/2448-6698-rmcp-14-04-760.pdf>
- Zapata-Moreno, M. A., Burboa-Cabrera, F. R., Cabanillas-Cruz, R. y Domínguez-Canizales, K. G. (2021). *Elaboración de Heno de Alfalfa*. Centro de Investigación Regional del Noroeste (INIFAP). Desplegable para Productores. Núm. 36 Recuperado de https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/desplegableproductores/12307_5074_Elaboracion_de_heno_de_alfalfa.pdf