



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2026,
Volumen 10, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i3

**ANÁLISIS ESPACIAL DE LA PRODUCCIÓN
DE LECHE BOVINA EN MÉXICO PARA
IDENTIFICAR PATRONES DE
ESPECIALIZACIÓN REGIONAL (1993–2022)**

**SPATIAL ANALYSIS OF BOVINE MILK PRODUCTION IN
MEXICO: IDENTIFYING REGIONAL SPECIALIZATION
PATTERNS (1993–2022)**

Rodrigo Alberto Flores Garnica

Universidad Autónoma del Estado de México

Gabriela Rodríguez Licea

Universidad Autónoma del Estado de México

Roberto Franco Plata

Universidad Autónoma del Estado de México

Enrique Espinosa Ayala

Universidad Autónoma del Estado de México

Análisis espacial de la producción de leche bovina en México para identificar patrones de especialización regional (1993–2022)

Rodrigo Alberto Flores Garnica¹

rfloresg008@alumno.uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5591-6188>

Universidad Autónoma del Estado de México
México

Gabriela Rodríguez Licea

grodriguezl@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0003-2529-3367>

Universidad Autónoma del Estado de México
México

Roberto Franco Plata

rfp@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0002-3031-6562>

Universidad Autónoma del Estado de México
País México

Enrique Espinosa Ayala

eespinosaa@uaemex.mx

<https://orcid.org/0000-0002-7916-2146>

Universidad Autónoma del Estado de México
País México

RESUMEN

En México, la producción de leche bovina se mantiene por debajo del consumo nacional, con una diferencia del 30 % asociada con la heterogeneidad productiva y territorial. En este contexto, el objetivo es analizar la distribución espacial para identificar patrones de especialización regional durante 1993–2022. Utilizando datos estatales, se aplicó el Coeficiente de Localización (LQ) para identificar procesos de especialización regional y el Índice de Moran (IM) para evaluar la autocorrelación espacial y, se estimaron modelos de regresión espacial retardada (SLRM) para el inventario bovino y el precio rural de la leche. Los resultados evidencian que cinco estados de la región centro-norte del país aportan más del 50 % de la producción nacional, y que, solo 12 entidades presentan especialización productiva ($LQ > 1$). El índice de Moran (IM) arrojó valores bajos (0.0473–0.0601) que indican la ausencia de autocorrelación espacial a nivel estatal. Los modelos SLRM mostraron que el inventario bovino explica el 84.4 % de la variabilidad productiva ($R^2 = 0.844$ en 2022), mientras que, el coeficiente de retardo espacial no fue significativo ($\rho \approx 0$). Se concluye la dinámica productiva no responde a interacciones entre entidades vecinas sino a factores locales.

Palabras clave: producción de leche bovina; especialización regional; coeficiente de localización; autocorrelación espacial; regresión espacial

¹ Autor principal.

Correspondencia: rfloresg008@alumno.uaemex.mx

Spatial Analysis of Bovine Milk Production in Mexico: Identifying Regional Specialization Patterns (1993–2022)

ABSTRACT

In Mexico, bovine milk production remains below national consumption levels, with a gap of approximately 30% associated with productive and territorial heterogeneity. In this context, the objective of this study is to analyze the spatial distribution of milk production in order to identify patterns of regional specialization during the period 1993–2022. Using state-level data, the Location Quotient (LQ) was applied to identify regional specialization processes, and Moran's Index (MI) was used to evaluate spatial autocorrelation. In addition, spatial lag regression models (SLRM) were estimated incorporating variables such as cattle inventory and the rural price of milk. The results show that five states in the north-central region of the country account for more than 50% of national production, while only 12 states exhibit productive specialization ($LQ > 1$). Moran's Index (MI) yielded low values (0.0473–0.0601), indicating the absence of spatial autocorrelation at the state level. The SLRM results indicate that cattle inventory explains 84.4% of the variability in production ($R^2 = 0.844$ in 2022), whereas the spatial lag coefficient was not statistically significant ($\rho \approx 0$). These findings suggest that production dynamics respond primarily to local factors rather than spatial interactions among neighboring states.

Keywords: cow milk production; regional specialization; location quotient; spatial autocorrelation; spatial regression.

*Artículo recibido 25 abril 2026
Aceptado para publicación: 25 mayo 2026*



INTRODUCCIÓN

La producción de leche bovina en México es una actividad estratégica para el sector agropecuario dada su contribución al empleo rural, al ingreso de los productores y al abastecimiento de alimentos. Hasta la década de 1980, esta rama económica operaba bajo un esquema de regulación estatal caracterizado por el control de precios, subsidios y programas de apoyo destinados a garantizar la estabilidad del mercado y el suministro interno, además, predominaban sistemas productivos de pequeña escala con tecnologías tradicionales, infraestructura limitada y bajos niveles de productividad (Poméon & Escoto, 2010).

A partir de la década de 1990, con la liberalización económica y la implementación del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), se permitió la entrada de productos lácteos importados y la eliminación de controles de precios, lo que obligó a productores nacionales a competir en un mercado más abierto con adopción de tecnologías orientadas a mejorar la productividad y la eficiencia, como el ordeño mecanizado y la inseminación artificial, mientras que, muchos pequeños productores enfrentaron dificultades para mantener su participación en el mercado (Outlaw et al., 1994; Bacchi et al., 2022).

Actualmente, México cuenta con aproximadamente 2.6 millones de vacas lecheras y una producción anual superior a 13 mil millones de litros. Sin embargo, la producción presenta una marcada heterogeneidad territorial, con una alta concentración en estados del centro-norte del país, como Jalisco, Durango, Coahuila y Chihuahua, que en conjunto aportan más del 50 % de la producción nacional (SIAP, 2022). Estas diferencias reflejan la coexistencia de sistemas productivos con distintos niveles de tecnificación, infraestructura y acceso a mercados.

Dada la heterogeneidad productiva y territorial, resulta fundamental comprender su distribución regional y dinámicas productivas. Si bien existen estudios que analizan la especialización lechera en México y la dinámica espacial en otros países (Nicholson et al., 1996; Vera et al., 2017; Bacchi et al., 2022), aún es necesario actualizar el análisis de su distribución espacial en el ámbito nacional. En este contexto, el objetivo es analizar la distribución espacial de la producción de leche bovina en México para identificar patrones de especialización regional durante el periodo 1993–2022 mediante la aplicación de herramientas de econometría espacial.



METODOLOGÍA

El análisis espacial comprende las 32 entidades federativas de México, considerando la heterogeneidad productiva que caracteriza a las regiones lecheras del país (Vera et al., 2017); mientras que, el análisis temporal abarca el período 1993- 2022, considerando intervalos de diez años (1993, 2003, 2013 y 2022) con el fin de analizar cambios estructurales en la distribución espacial de la producción lechera.

Las variables utilizadas para el análisis fueron: volumen de producción de leche, inventario bovino lechero, precio pagado al productor (precio medio rural) y población, a partir de las cuales se estimaron la demanda estatal de leche utilizando el consumo nacional per cápita y, el saldo neto de producción (superávit o déficit) derivado de la diferencia entre la producción estatal y la demanda estimada.

Los datos utilizados provienen del Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), particularmente de las bases SIACON (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta) y Panorama Agroalimentario. Asimismo, se utilizaron datos del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal (1991, 2007 y 2022) y de la Encuesta Nacional Agropecuaria (2012, 2014, 2017 y 2019) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), así como estadísticas de FAOSTAT (FAO, 2023).

Métodos de análisis

Se trata de un estudio cuantitativo de carácter exploratorio, descriptivo y explicativo, basado en técnicas de análisis espacial.

Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (ESDA)

Se realizó para identificar patrones espaciales y evaluar la distribución territorial de la producción de leche en México. Este enfoque permite detectar agrupamientos espaciales, valores atípicos y posibles dependencias espaciales entre las unidades geográficas analizadas. Como parte del análisis exploratorio se calcularon estadísticas descriptivas y se elaboraron mapas coropléticos para visualizar la distribución espacial de las principales variables del estudio (producción de leche, inventario bovino y precio pagado al productor) en los años seleccionados.

Coefficiente de localización (LQ)

Se estimó para evaluar el grado de especialización regional de la estructura productiva láctea a través de la siguiente expresión matemática:



$$LQ_i = \frac{(e_i/E_i)}{(e_t/E_t)}$$

donde e_i corresponde a la producción estatal de leche, E_i a la producción nacional, e_t al valor de la producción pecuaria estatal y E_t al valor nacional de la producción pecuaria.

Valores de $LQ > 1$ indican especialización productiva relativa en la producción de leche, mientras que valores inferiores a uno reflejan una menor participación en comparación con el promedio nacional.

Índice global de Moran (IM)

La autocorrelación espacial se evaluó mediante el IM (Moran, 1950), el cual permite determinar si la distribución espacial de una variable presenta patrones agrupados, dispersos o aleatorios.

$$I = \frac{N}{W} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}$$

La matriz de pesos espaciales se construyó mediante contigüidad tipo Queen de primer orden, considerando la interacción entre entidades federativas que comparten frontera o vértice.

Regresión espacial con retardo (SLM)

Para evaluar la posible influencia de la dependencia espacial en la producción de leche se estimó la SLM siguiendo a Anselin (1988):

$$y_i = \rho \sum_j w_{ij} y_j + X_i \beta + \varepsilon_i$$

donde y_i representa la producción de leche en la entidad i , ρ es el coeficiente de retardo espacial, w_{ij} los pesos espaciales que reflejan la proximidad geográfica entre entidades, X_i el vector de variables explicativas y ε_i el término de error.

Previo a la estimación de los modelos espaciales se evaluó la autocorrelación espacial mediante el IM, dado que los resultados sugieren la posible presencia de dependencia espacial en la variable de estudio, se estimó un modelo de regresión espacial con retardo que permite capturar posibles efectos de interacción entre unidades geográficas.

Las variables demanda y saldo neto se excluyeron del modelo por ser combinaciones lineales de la producción, mientras que el consumo per cápita se omitió por carecer de variabilidad entre entidades federativas durante un mismo año.



Procesamiento y visualización de datos

El análisis espacial se realizó mediante el software GeoDa 1.22 (Anselin & Syabri, 2006), el cual permitió calcular los estadísticos espaciales y estimar los modelos de regresión espacial. La representación cartográfica de los resultados se elaboró mediante QGIS 3.38 (QGIS Development Team, 2023).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis exploratorio de la producción y variables asociadas

Entre 1993 y 2022, la producción promedio de leche por entidad federativa aumentó de 231.4 a 409.5 millones de litros, lo que representó un crecimiento acumulado de 77 %. Sin embargo, este incremento no fue homogéneo entre estados. La mediana se mantuvo relativamente estable durante el periodo, mientras que la desviación estándar aumentó de 271.8 a 598.6 millones de litros, lo que evidencia una creciente concentración de la producción en un grupo reducido de entidades.

El inventario bovino lechero mostró un comportamiento similar. La media estatal pasó de 51,017 cabezas en 1993 a 83,705 en 2022, mientras que la mediana permaneció cercana a 20 mil cabezas, lo que confirma una distribución estatal desigual del inventario. En ambos casos, los coeficientes de asimetría fueron positivos y crecientes, reflejando que pocos estados concentran valores altos de producción e inventario.

Por su parte, el precio pagado al productor registró un incremento sostenido, al pasar de \$1.04 en 1993 a \$7.74 en 2022. No obstante, la variabilidad regional del precio fue moderada en comparación con la observada en la producción y el inventario. En cuanto al consumo per cápita, el promedio nacional fue de 110.2 litros por habitante al año durante el periodo analizado, con fluctuaciones moderadas.

El saldo neto de producción mostró una tendencia predominantemente deficitaria. La media estatal pasó de -41 millones de litros en 1993 a -108 millones en 2022, lo que indica un aumento en la brecha entre producción y consumo. Asimismo, la elevada dispersión de los saldos netos refleja fuertes diferencias entre estados superavitarios y entidades con déficits persistentes.

Mapeo de la distribución espacial de la producción lechera

Producción

El desarrollo geoeconómico de la producción de leche en México muestra una concentración progresiva



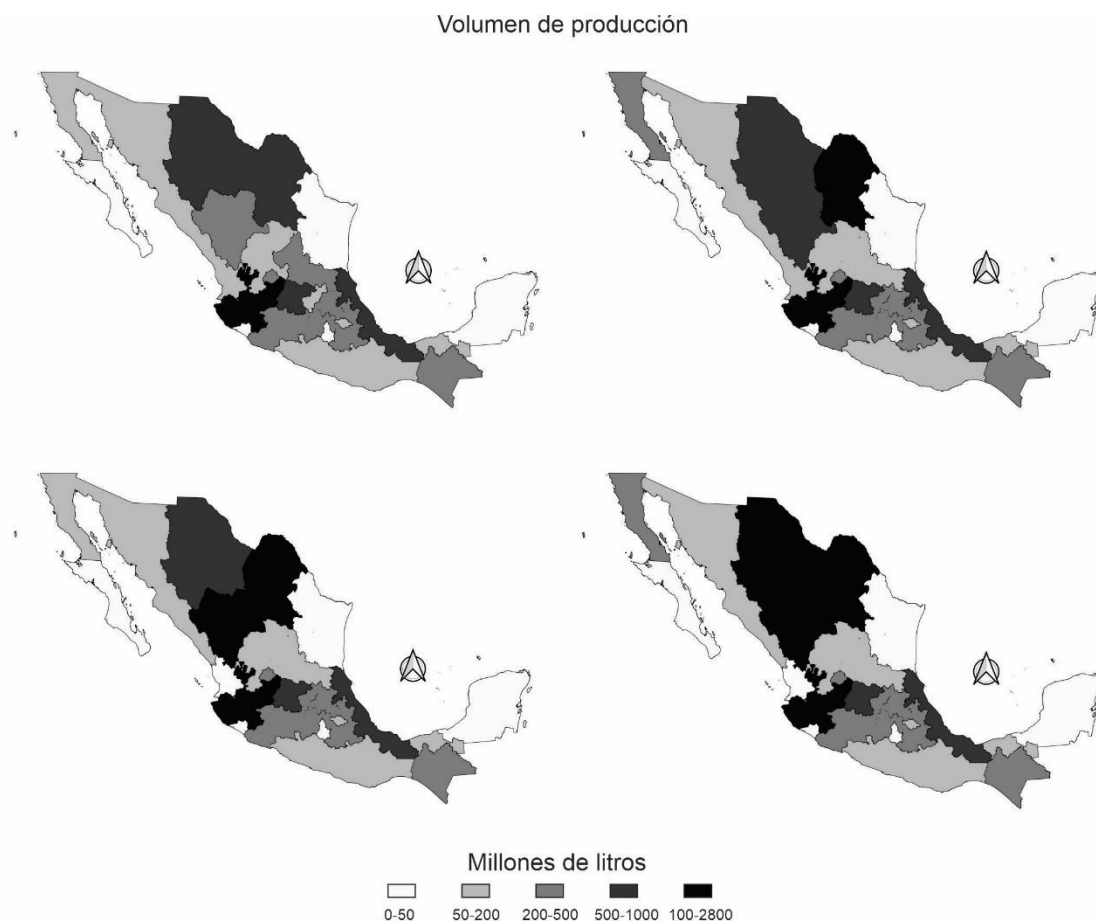
en corredores productivos regionales. En 1993, la producción presentaba una estructura policéntrica liderada por Jalisco (1,251 millones de litros -ML) y Chihuahua (601 ML), seguidos por Coahuila (575 ML), Veracruz (665 ML) y Guanajuato (560 ML), lo que evidenciaba la presencia de polos productivos en el norte, occidente y algunas zonas del trópico húmedo. Para 2003, Jalisco consolidó su liderazgo con un incremento de 36.9% en su producción (1,712 ML). Paralelamente, se fortaleció el eje productivo del norte con el crecimiento de Coahuila (1,058 ML) y Durango (953 ML), mientras que Veracruz y Guanajuato mantuvieron un crecimiento moderado por encima de la media nacional. En este periodo también se identificaron entidades con niveles productivos intermedios, principalmente en la región centro del país.

En 2013 se observó una mayor consolidación del corredor lechero del norte, destacando Coahuila y Durango como importantes polos productivos, mientras que Jalisco continuó ampliando su ventaja productiva respecto a otros estados. En contraste, varias entidades del centro y sur del país registraron reducciones en su producción, reflejando una pérdida relativa de participación en el sector.

Hacia 2022 se consolida un clúster regional de producción lechera integrado por Jalisco (2,753 ML), Coahuila (1,507 ML), Durango (1,477 ML) y Chihuahua (1,242 ML), entidades que concentraron una proporción significativa de la producción nacional. Por el contrario, las regiones del centro-sur y del trópico presentaron niveles productivos más bajos o una pérdida relativa de participación, lo que evidenció un patrón territorial cada vez más concentrado en el norte y occidente del país (Mapa 1).



Mapa 1. Distribución espacial del volumen de producción de leche en México (1993, 2003, 2013 y 2022).



Fuente: Elaboración propia.

Precio medio rural de la leche

El precio mostró incrementos generalizados a lo largo del periodo, aunque con diferencias regionales. En 1993, fueron relativamente similares con valores semejantes entre entidades federativas. Para 2003 se observó un aumento significativo, particularmente en algunas entidades del centro y sur, mientras que otros estados registraron incrementos más moderados.

En 2013 se intensificaron las diferencias regionales, con precios máximos registrados en entidades como la Ciudad de México y otros estados del centro del país, mientras que la mayoría de las entidades mantuvieron precios dentro de rangos intermedios. Hacia 2022, estas asimetrías se consolidaron, destacando nuevamente la Ciudad de México y algunos estados del norte y centro como las entidades con los precios más altos.

En contraste, varios estados del sureste mantuvieron sistemáticamente los precios más bajos, lo que refleja diferencias regionales en las condiciones de mercado y en los sistemas productivos. En conjunto, estos resultados evidencian una estructura territorial diferenciada en la formación de precios, con brechas regionales que alcanzan hasta 30% entre los valores máximos y mínimos observados (Tabla 1).

Tabla 1. Precios por estado (1993, 2003, 2013, 2022)

ESTADO	1993	2003	2013	2022
Aguascalientes	0.95	2.93	5.63	7.06
Baja California	1.01	3.78	5.14	7.70
Baja California Sur	1.16	3.95	7.21	7.84
Campeche	0.92	3.27	5.04	7.17
Coahuila de Zaragoza	0.93	3.40	5.73	7.99
Colima	1.02	4.08	7.11	8.00
Chiapas	1.16	2.81	4.80	6.64
Chihuahua	0.96	3.25	5.80	8.82
Ciudad de México	0.99	5.00	9.11	9.44
Durango	1.10	3.68	6.08	7.95
Guanajuato	0.95	2.87	5.26	7.79
Guerrero	1.02	4.86	7.02	9.03
Hidalgo	1.00	3.25	5.38	7.32
Jalisco	1.14	2.66	5.05	7.71
México	1.00	3.20	5.61	7.63
Michoacán de Ocampo	1.04	3.36	5.29	8.51
Morelos	1.00	4.55	7.65	8.33
Nayarit	1.10	3.35	6.57	7.96
Nuevo León	1.05	3.44	5.55	8.09
Oaxaca	1.06	4.66	5.74	6.97
Puebla	1.00	3.22	5.66	7.17
Querétaro	1.01	3.47	6.33	7.56

Quintana Roo	1.00	3.69	5.11	7.01
San Luis Potosí	1.05	3.09	5.52	7.38
Sinaloa	1.03	3.26	5.50	7.36
Sonora	1.04	3.79	5.78	7.94
Tabasco	1.16	2.94	5.16	6.57
Tamaulipas	1.08	3.94	6.86	7.42
Tlaxcala	1.07	3.23	5.40	7.30
Veracruz de Ignacio de la Llave	1.08	3.24	5.31	7.47
Yucatán	0.95	4.07	5.67	8.15
Zacatecas	1.13	3.48	5.31	8.34

Inventario de ganado bovino lechero

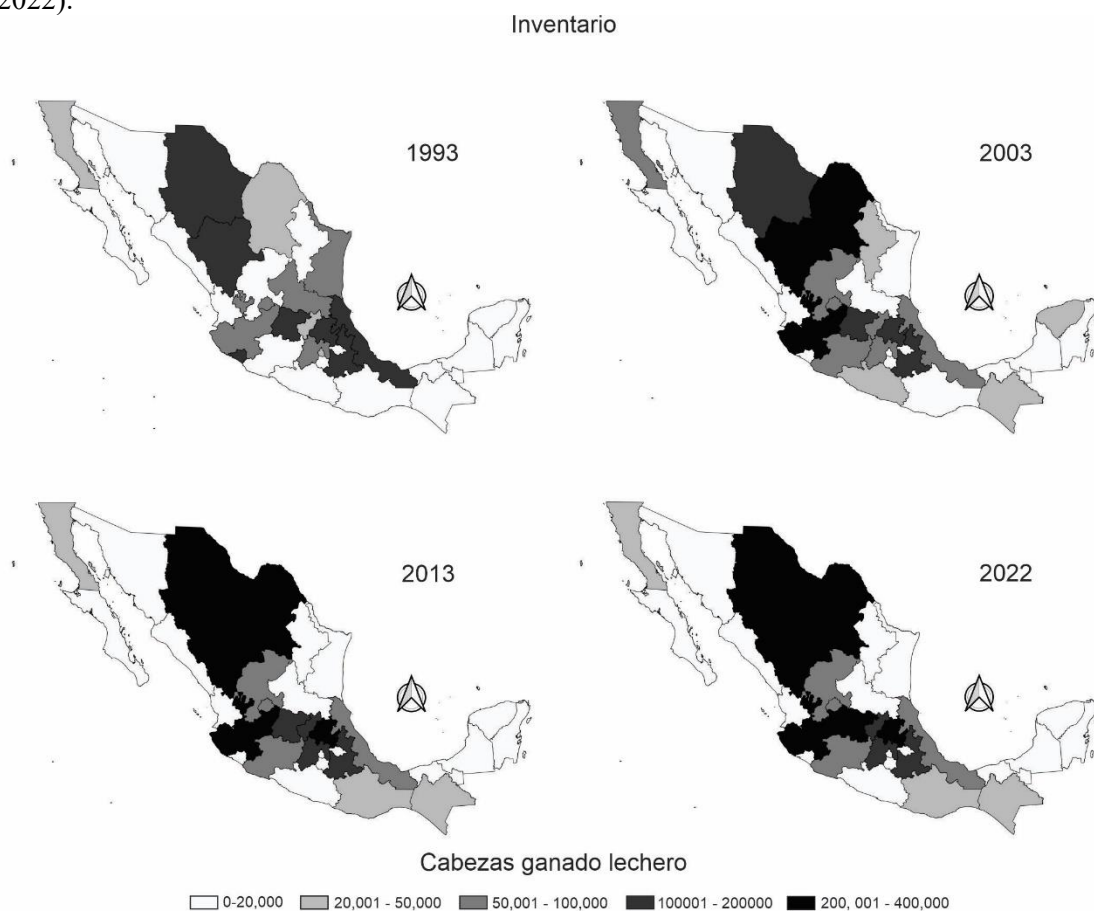
Mostró una reconfiguración territorial progresiva hacia el norte y occidente del país. En 1993, la distribución presentaba un patrón policéntrico, con importantes concentraciones en estados del centro y norte como Puebla, Chihuahua, Hidalgo, Durango y Guanajuato, mientras que gran parte del sureste registraba inventarios significativamente menores. Para 2003 se observó un desplazamiento al norte y occidente, destacando el crecimiento de Durango, Coahuila y Jalisco, que comenzaron a consolidarse como los principales núcleos ganaderos del país. En contraste, algunas entidades del centro y del trópico experimentaron reducciones en sus niveles de inventario.

En 2013 este patrón se acentuó con la consolidación del corredor lechero del norte y occidente, encabezado por Jalisco, Chihuahua, Durango y Coahuila, estados que concentraron los mayores hatos bovinos especializados en producción de leche. Paralelamente, otras entidades del centro mantuvieron niveles intermedios de inventario y, el sureste continuó registrando valores relativamente bajos.

Hacia 2022, Jalisco, Durango, Chihuahua y Coahuila concentraron cerca del 45% del inventario nacional. El Bajío mantuvo una participación relevante, mientras que el sureste y parte del centro-sur redujeron sus inventarios. Este patrón territorial reflejó la consolidación de sistemas productivos más especializados en las regiones con mayor infraestructura, tecnificación y vinculación con los principales mercados lecheros del país (Mapa 2).



Mapa 2. Distribución espacial del inventario de ganado bovino lechero en México (1993, 2003, 2013 y 2022).



Fuente: Elaboración propia.

Consumo per cápita

El consumo nacional de leche mostró variaciones moderadas durante el periodo analizado. En 1993 fue de 107.3 litros (L), el cual aumentó a 113.5 L en 2003. Posteriormente, en 2013 se observó una ligera disminución hasta 106.9 L, seguida de un incremento significativo en 2022, cuando el consumo alcanzó 131.4 L por habitante. Este comportamiento refleja una tendencia general de crecimiento en la demanda de leche en el país a lo largo del periodo de estudio.

Saldo neto

Mostró una diferenciación territorial entre estados con superávit productivo y aquellos con déficits persistentes. En 1993, el superávit se concentró en entidades del norte y occidente, destacando Jalisco, Coahuila, Durango y Chihuahua, mientras que estados altamente urbanizados como la Ciudad de México y el Estado de México registraron los mayores déficits. En 2003 se mantuvo este patrón

territorial, aunque algunas entidades como Veracruz mostraron mejoras asociadas al incremento de su producción.

Para 2013 se observó mayor concentración del superávit en los estados referidos y, saldo negativos en entidades del centro y sur del país, el Estado de México como la entidad con mayor déficit.

Hacia 2022 el patrón territorial se consolidó con superávits productivos en estados del norte y occidente integrándose Aguascalientes. La Ciudad y Estado de México fueron las entidades con alta demanda y baja producción. Estos resultados evidenciaron una estructura territorial desigual en el balance entre producción y consumo de leche en el país (Tabla 2).

Tabla 2. Saldos netos por Estado (1993, 2003, 2013, 2022)

DEFICIT / SUPERAVIT				
Estado	1993	2003	2013	2022
Aguascalientes	179383589.3	287810652.5	247784007.6	246916530.2
Baja California	-26613741.5	-81455374.5	-179459983	-286594618
Baja California Sur	-14212077.2	-8477653.5	-28612179.4	-70187535.8
Campeche	-44884350.5	-52509501.5	-49751422.9	-76574918.2
Coahuila de Zaragoza	364089918	798054805	1033668142	1094151621
Colima	-10069123	-23740904.5	-34228089.5	-50137417.4
Chiapas	-122242220.8	-124098582	-108605992	-272898359.2
Chihuahua	339507027.1	366322685.5	616605741.5	750674683.4
Ciudad de México	-869773331.2	-963739866.5	-931993932	-1198760422
Durango	346322740.6	788892606.5	842459615.4	1236067910
Guanajuato	132667771.1	118210868	126543373.2	86182822.4
Guerrero	-219762350.1	-271324921.5	-272306279.2	-374874719
Hidalgo	142770328.2	161284331.5	142826205.8	17597292.6
Jalisco	682345470.3	994999153	1292415484	1656154199
México	-643356803.5	-996845581	-1154327538	-1804103365
Michoacán de Ocampo	-116491752.7	-139332924.5	-129057155.3	-246802114.4
Morelos	-109216830.7	-67715486.5	-168085186.3	-237323298

Nayarit	-31209193.9	12406752.5	-73357715.1	-123152488.4
Nuevo León	-304217372.8	-175760926.5	-460620150.2	-741485198.8
Oaxaca	-189605788	-45214471	-261144607.8	-392808927.2
Puebla	-168179637.3	85357116.5	-178808780.1	-408441509.2
Querétaro	44736484.5	138533129	146195544.7	101533036.2
Quintana Roo	-50233622.1	-45908778	-137136858.2	-237759619
San Luis Potosí	62316034.9	15632880.5	-152060814.2	-215265667
Sinaloa	-121264994.2	-61115500.5	-202228890.9	-299702270.2
Sonora	-112108923.8	22038035	-173243832	-269276886
Tabasco	-76597131.2	-10026012.5	-138031660.7	-211153227.2
Tamaulipas	-218290041.3	-126458909	-321728462.6	-442203369
Tlaxcala	-576022.1	104661102	-22321628.4	-93612197.8
Veracruz de Ignacio de la Llave	-3000044.7	339615076	-110076558.6	-265745510.6
Yucatán	-128708462	-83613047.5	-206521121.3	-302744477.2
Zacatecas	-27534457.9	61748409.5	2066750.8	-21059643.2

Especialización regional y autocorrelación espacial

Coficiente de localización (LQ)

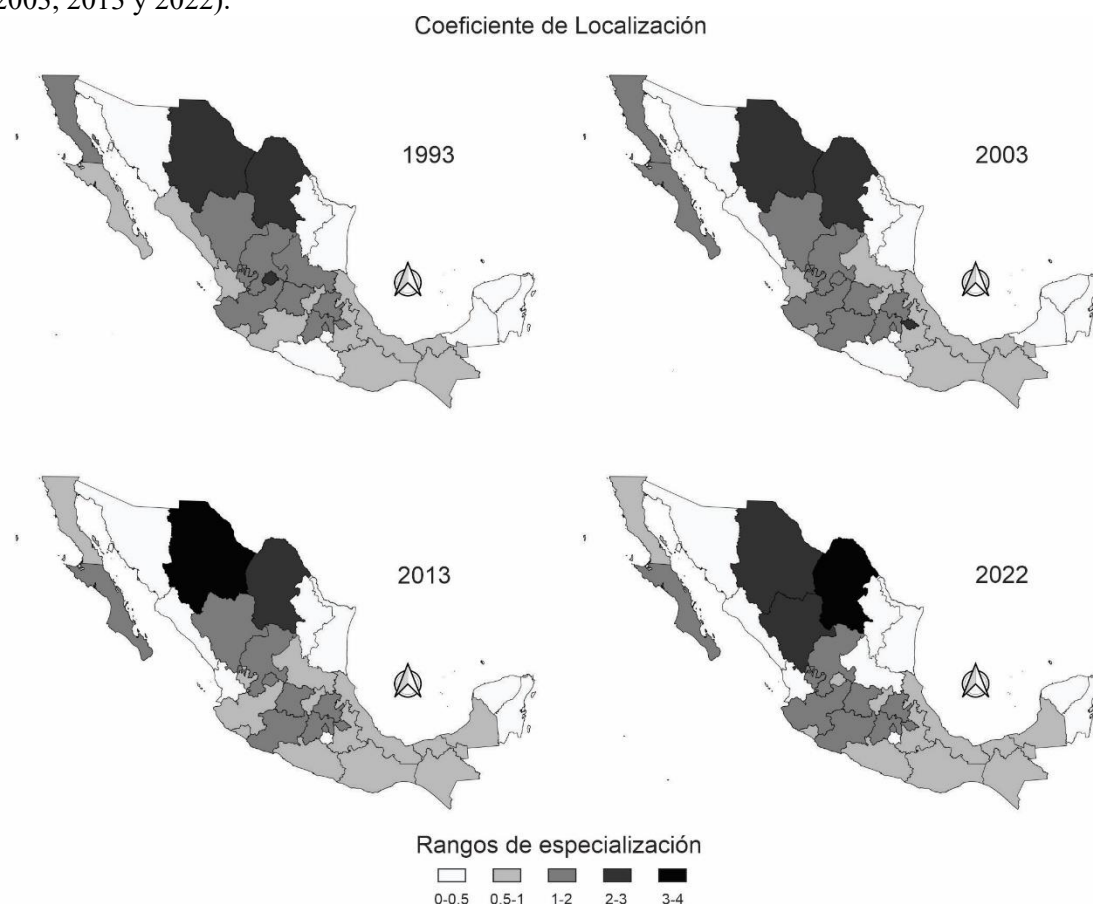
Permitió identificar el grado de especialización de la producción de leche bovina en relación con la actividad pecuaria en las entidades federativas. Considerando como criterio de especialización valores de $LQ > 1$, los resultados muestran variaciones en la configuración territorial de la actividad lechera durante el periodo analizado. En 1993, 13 de las 32 entidades presentaban niveles de especialización, destacando estados del centro-norte como Aguascalientes, Coahuila y Chihuahua, donde la producción de leche representaba una actividad pecuaria relevante. Para 2003, el número de estados especializados se mantuvo, aunque se observaron cambios en la distribución geográfica de la especialización, con incrementos en algunos estados y reducciones en otros.

En 2013, el número de entidades especializadas disminuyó a 12, lo que reflejó un proceso de



reconfiguración en la estructura productiva. Durante este año se observaron aumentos en el nivel de especialización en algunos estados del norte, particularmente en Chihuahua. Finalmente, para 2022 se mantuvieron 12 estados especializados, con incrementos en los coeficientes de especialización en Coahuila y Durango, lo que confirmó la consolidación de la región centro-norte como uno de los principales núcleos de producción lechera del país (Mapa 3).

Mapa 3. Distribución espacial del coeficiente de localización de producción de leche en México (1993, 2003, 2013 y 2022).



Fuente: Elaboración propia

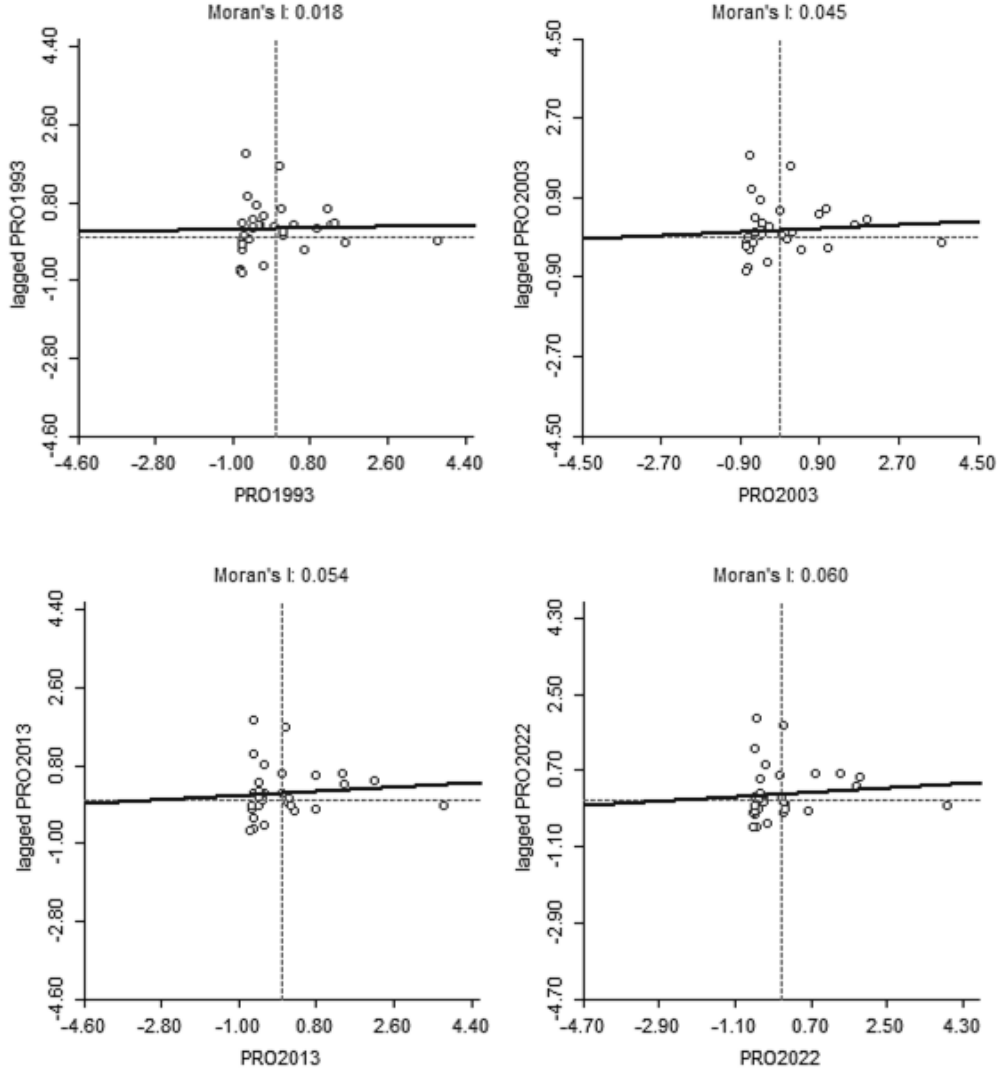
La media de LQ se mantuvo inferior a la unidad (0.96–0.99) durante el periodo, lo que indica ausencia de especialización de la producción de leche bovina respecto al valor de la producción pecuaria nacional.

Indice de Moran (IM)

El IM para el volumen de producción de leche no mostró evidencia de autocorrelación espacial significativa en ninguno de los años analizados (1993–2022). Los valores del estadístico se mantuvieron bajos (0.0449–0.0601) y no significativos, lo que sugiere una distribución espacial esencialmente

aleatoria de la producción entre entidades federativas (Gráfico 1), es decir, que el comportamiento productivo de un estado no depende del nivel de producción de sus entidades vecinas. En consecuencia, la dinámica productiva parece estar determinada principalmente por factores locales asociados a la estructura productiva de cada región, como el tamaño del inventario bovino, la infraestructura productiva y el grado de especialización del sector. Estos resultados son consistentes con los modelos de regresión espacial estimados, los cuales muestran que la variabilidad en la producción se explica por el inventario bovino, mientras que el componente espacial no presenta un efecto estadísticamente significativo.

Gráfico 1. Dispersión de Índice de Moran de producción de leche en México (1993, 2003, 2013, 2022).



Fuente: Elaboración propia.



Regresión espacial retardada (SLMRI)

Los SLMR para la producción de leche en México (1993, 2003, 2013 y 2022) se estimaron excluyendo las variables endógenas demanda (DEM) y saldo neto (SAL), debido a su dependencia matemática con los volúmenes de producción. Asimismo, se omitió el consumo per cápita (CON) por su falta de variabilidad espacial, ya que presenta el mismo valor para todas las entidades federativas en cada año analizado.

En 1993, el modelo incluyó como variables explicativas el precio rural de la leche (PRE1993) y el inventario bovino lechero (INV1993). Los resultados evidenciaron ausencia de dependencia espacial significativa, con un coeficiente de retardo espacial ($\rho = -0.1506$; $p = 0.4876$), lo que indica que la producción de las entidades vecinas no influyó de manera relevante en la producción local. En contraste, el inventario bovino mostró un efecto positivo y altamente significativo ($\beta = 0.6240$; $p < 0.00001$), confirmando que el incremento en el número de cabezas de ganado se asocia con mayores niveles de producción. Por su parte, el precio rural no presentó significancia estadística ($p = 0.3186$). El modelo explicó el 37.1 % de la variabilidad de la producción ($R^2 = 0.371$) y evidenció heterocedasticidad significativa (Breusch-Pagan $p = 0.0276$).

Para 2003, el modelo mostró un aumento en su capacidad explicativa ($R^2 = 0.745$). El inventario bovino continuó siendo el principal determinante de la producción ($\beta = 0.788$; $p < 0.001$) y, el coeficiente de retardo espacial permaneció no significativo ($\rho = -0.102$; $p = 0.510$). El precio rural presentó un efecto negativo marginalmente significativo ($\beta = -0.175$; $p = 0.072$). No obstante, también se detectó heterocedasticidad significativa (Breusch-Pagan $p = 0.00057$).

En 2013, el modelo alcanzó un R^2 de 0.821, confirmando nuevamente el papel predominante del inventario bovino como variable explicativa ($\beta = 0.8948$; $p < 0.001$). El coeficiente de retardo espacial continuó sin significancia estadística ($\rho = -0.0475$; $p = 0.7038$), mientras que el precio rural mantuvo un efecto negativo no significativo ($\beta = -0.0562$; $p = 0.4674$).

Finalmente, en 2022 el modelo presentó su mayor capacidad explicativa ($R^2 = 0.846$). El inventario bovino mantuvo un efecto positivo altamente significativo ($\beta = 0.928$; $p < 0.001$); en contraste, el coeficiente de retardo espacial no fue significativo ($\rho = -0.053$; $p = 0.648$), confirmando la ausencia de dependencia espacial. De igual forma, el precio rural no mostró una relación estadísticamente

significativa con los volúmenes de producción ($\beta = -0.046$; $p = 0.510$).

En conjunto, los resultados indican que la producción de leche en México se explica principalmente por la disponibilidad de inventario bovino, mientras que los efectos espaciales y las variaciones en el precio rural presentan una influencia limitada en la dinámica productiva entre entidades federativas.

CONCLUSIONES

Los resultados evidencian que la producción de leche bovina en México presenta una marcada heterogeneidad territorial, caracterizada por la coexistencia de sistemas altamente tecnificados en regiones específicas y una amplia base de producción familiar dispersa en el territorio. La concentración productiva en estados del centro-norte —particularmente Jalisco, Coahuila y Durango— refleja procesos históricos de especialización asociados a ventajas productivas, infraestructura agroindustrial y adopción tecnológica. No obstante, esta concentración convive con una estructura productiva fragmentada donde predominan pequeñas unidades de producción con menor integración a mercados formales.

El análisis de especialización regional mediante el Coeficiente de Localización confirma que la producción láctea especializada se encuentra geográficamente limitada: solo 12 entidades federativas presentan valores superiores a la media nacional ($LQ > 1$). A su vez, el Índice de Moran mostró valores bajos y no significativos, lo que indica ausencia de autocorrelación espacial y sugiere que las regiones líderes no generan efectos de derrame productivo sobre sus estados vecinos. Estos resultados evidencian que la dinámica productiva del sector responde principalmente a condiciones locales, más que a procesos de interacción territorial o conformación de clusters regionales integrados.

Los modelos de regresión espacial retardada refuerzan esta interpretación al mostrar que el inventario bovino explica la mayor parte de la variabilidad productiva ($R^2 = 0.844$ en 2022), mientras que el precio rural de la leche y los efectos espaciales no resultaron estadísticamente significativos. En conjunto, estos hallazgos sugieren que la capacidad productiva del sector lácteo mexicano está determinada fundamentalmente por la base ganadera disponible y por las características estructurales de cada región. Finalmente, los resultados destacan la necesidad de políticas diferenciadas de desarrollo regional que reconozcan la diversidad territorial del sector. En este sentido, futuras investigaciones deberían profundizar el análisis a escalas subestatales e incorporar variables institucionales, financieras y sociales



que permitan comprender con mayor precisión los factores que condicionan la competitividad y sostenibilidad de la producción láctea en México.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anselin, L., Syabri, I., & K. (2006). GeoDa: An Introduction to Spatial Data Analysis. *Geographical Analysis*, 38(1), 5–22. <https://doi.org/10.1111/j.0016-7363.2005.00671.x>
- Bacchi, M. D., Almeida, A. N., & Telles, T. S. (2022). Spatio-temporal dynamics of milk production in Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 43(1), 241–261. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2022v43n1p241>
- FAO. (2023). *El sector lechero mundial: Datos*. FAO Global Facts. <http://www.dairydeclaration.org/Portals/153/FAO-Global-Facts-SPANISH-F.PDF?v=1>
- INEGI. (2019). *Encuesta Nacional Agropecuaria. Resultados Nacionales y para el Estado de México* (Vol. 2019, Issue ENA).
- INEGI. (2022). *Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/>
- M. Noureen. (2023). Application of Geospatial Techniques To Evaluate Feeding Patterns for Milk Production of Bubalus Bubalis (Buffaloes) in District Kasur, Pakistan. *Pakistan Journal of Science*, 69(3). <https://doi.org/10.57041/pjs.v69i3.531>
- Moran, P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37, 17–23. <https://doi.org/10.2307/2332142>
- Nicholson, C. F., Ababa, A., Bishop, P. M., Novakovic, A. M., & Pratt, J. E. (1996). *Trade Liberalization and Mexico's Dairy Sector: A Spatial Economic Analysis. 1*.
- Outlaw, J., Knutson, R., Noeholson, C., & Novakovic, A. (1994). Nafta and the U.S. Dairy Industry. *Dairy Markets and Policy Issues and Options*, 1–7.
- Poméon, T., & Escoto, F. C. (2010). *El sector lechero y quesero en México de 1990 a 2009 entre lo global y local*.
- SIAP. (2022). *Anuario Estadístico de la Producción Ganadera*. Leche Bovino. https://nube.siap.gob.mx/cierre_pecuario/
- Team, Q. D. (2023). *QGIS Geographic Information System (versión 3.28)*. Open Source Geospatial Foundation Project. <https://qgis.org>



Vera, J. H. C., Escoto, F. C., Rangel, M. I. P., Vargas, A. C., & Ledesma, J. O. (2017a). Especialización de los sistemas productivos lecheros en México: La difusión del modelo tecnológico holstein. *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias*, 8(3), 259–268.
<https://doi.org/10.22319/rmcp.v8i3.4191>

