

Optimización de rutas comerciales de frijol en México mediante programación lineal

José Miguel Almendra-Santos¹

Natividad Hernández-Mendoza²

Pablo Iván Flores-González²

Carlos Ernesto Luquez-Gaitan^{1,§}

¹ Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. Tel. 595 9521500. almendramiguel479@gmail.com

² Universidad Politécnica de Texcoco. Carretera Federal los Reyes-Texcoco km 14.2, San Miguel Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. CP. 56250. Tel. 55 88440102.

§Autor para correspondencia: carlosluquezgaitan@gmail.com

Resumen

Este estudio optimizó las rutas de distribución de frijol en México mediante programación lineal para reducir costos logísticos. Se analizaron dos escenarios: uno de economía cerrada, que demostró que la producción nacional es insuficiente para cubrir la demanda total y otro de economía abierta, que consideró el déficit productivo causado por la sequía de 2024, la cual, como parte de un patrón climático creciente, intensificó la presión sobre la producción agrícola mexicana y redujo rendimientos en cultivos como el frijol. Este choque amplió el déficit estructural que México cubre con importaciones. Este segundo modelo determinó las rutas óptimas para distribuir 286 411.31 t de frijol importado, identificando a las aduanas de Veracruz, Manzanillo y Nuevo Laredo como los principales puntos de entrada. La investigación concluye que la optimización logística de la producción interna y las importaciones es crucial para la seguridad alimentaria del país.

Palabras clave:

logística agrícola, programación lineal, seguridad alimentaria.



Introducción

El frijol es un alimento básico en la dieta mexicana, con gran relevancia social y económica. En 2024, la producción nacional alcanzó 996 392.77 t, cifra insuficiente para cubrir el consumo nacional aparente de 1 376 310.56 t (SIAP, 2024 ; FAO, 2024), lo que ha incrementado las importaciones, pasando del 2023 con 286 411.31 t a 2024 con 409 366.16 t, un incremento del 42.9% (FAO, 2024).

A esto se suman deficiencias logísticas que elevan los costos y afectan a los consumidores, especialmente a los más vulnerables. En este contexto, optimizar la distribución se vuelve una estrategia clave para mejorar la eficiencia comercial y la seguridad alimentaria.

De las 996 392.77 t de frijol producidas en 2024, el 70% de la producción se concentra en los estados de Zacatecas (342 452.16 t), Sinaloa (172 238.91 t), Nayarit (70 050.6 t), Chiapas (69 711.88 t) y Durango (58 574.82 t), mientras que el consumo se ubica principalmente en zonas urbanas del centro y sur del país (SIAP, 2024). Sin embargo, el sistema actual carece de modelos optimizados, lo que genera mayores costos y pérdida de eficiencia en la cadena de valor.

Ante esta problemática surge la pregunta: ¿es posible optimizar las rutas de transporte del frijol nacional para reducir distancias y mejorar la logística? El objetivo de este estudio es determinar rutas óptimas de transporte mediante programación lineal, minimizando la distancia total recorrida y satisfaciendo la demanda en dos escenarios: uno cerrado, considerando únicamente la producción nacional y otro abierto, incorporando importaciones a través de aduanas. Bajo esta premisa, se plantea la hipótesis de que la aplicación de modelos de programación lineal permitirá identificar rutas más eficientes que reduzcan costos logísticos y mejoren el acceso al frijol en distintas regiones del país.

Materiales y métodos

Este trabajo se basó en un enfoque cuantitativo y aplicado. Se construyó un modelo de programación lineal con el método simplex, el cual permite encontrar la distribución más eficiente del frijol desde los estados oferentes hacia los estados demandantes, minimizando la distancia total recorrida (Castillo-Altamirano *et al.*, 2024).

Se recopilaron datos del volumen de producción de frijol por estado del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Los datos de población por entidad federativa fueron tomados del Consejo Nacional de Población (CONAPO) censo 2025 y los registros de importaciones de frijol obtenidas del Banco de México, 2024 . El consumo de los estados se determinó con el consumo nacional aparente (CNA): $CNA = \text{producción nacional} + \text{importaciones} - \text{exportaciones}$, cabe señalar que la producción nacional utilizada fue tanto de producción de temporal como de riego.

Posteriormente, se obtuvo el consumo per cápita (CNP), resultado de la división del CNA entre la población total al 2024, $CNP = CNA / \text{población total}$. El consumo estatal aparente CEA se obtuvo del multiplicar el CNP por la población estatal respectiva a cada entidad federativa $CEA = CNP * \text{población estatal}$.

Se construyó una matriz en la que las filas representaron los estados demandantes y las columnas los estados oferentes. A cada combinación se le asignó una distancia en km obtenida a través del sistema 'ruta punto a punto' de la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT, 2025), dicha variable solo considera la distancia de origen-distancia, no considera costos explícitos, volúmenes ni temporalidad.

El modelo de programación lineal para economía cerrada fue el siguiente: la función objetivo minimiza, en ambos escenarios, al costo generalizado de transporte, expresado dimensionalmente en toneladas-kilómetro (t km). Esta unidad representa el trabajo físico real realizado por el sistema logístico, corrigiendo la interpretación previa de 't km'.

Para el escenario de economía cerrada, el modelo resuelto responde a la siguiente formulación:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Donde: X_{ij} = cantidad expresada en toneladas de frijol a transportar del estado i (oferente) al estado j (demandante); C_{ij} = distancia expresada en km entre el estado i (oferente) y al estado j (demandante). Para todo $i= 1, 2, \dots, m$ estados oferentes; $j= 1, 2, \dots, n$ estados demandantes.

Restricción de Oferta Nacional: no se puede distribuir más de lo producido en cada estado oferente.

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq E_i \text{ para todo } i$$

Donde: E_i = oferta expresada en toneladas de frijol del estado i .

Restricción de demanda: el abasto está limitado por la demanda real, permitiendo identificar déficits.

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq D_j \text{ para todo } j$$

D_j = demanda expresada en toneladas de frijol del estado j ; restricción de no negatividad:

$$X_{ij} \geq 0$$

En el escenario de economía cerrada, solo se consideró la producción nacional de temporal y de riego, obtenidas de las 32 entidades federativas. En el escenario de economía abierta se agregaron las 38 aduanas (fronterizas y marítimas) como puntos de internación de la leguminosa importada, para tomar cantidades de importación de frijol y ser distribuidas hacia las zonas de mayor consumo.

Quedando el modelo en economía abierta de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} + \sum_{k=1}^w \sum_{j=1}^n B_{kj} M_{kj}$$

Donde: X_{ij} = cantidad de frijol a transportar del estado i (oferente) al estado j (demandante); C_{ij} = distancia entre el estado i (oferente) y al estado j (demandante); M_{kj} = cantidad de frijol a importar por la aduana k al estado j (demandante) siendo únicamente empleadas las 38 aduanas: marítimas y terrestres fronterizas; B_{kj} = distancia entre la aduana k y al estado j (demandante).

Sujeto a la restricción de oferta nacional, oferta importada y demanda nacional:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n X_{ij} &\leq E_i \text{ para todo } i \\ \sum_{j=1}^n M_{kj} &\geq 0 \text{ para todo } k \\ \sum_{i=1}^m X_{ij} &\leq D_j \text{ para todo } j \end{aligned}$$

Donde: E_i = oferta del frijol del estado i ; M_{kj} = oferta del frijol importada por la aduana k ; D_j = demanda de frijol del estado j . El modelo fue resuelto con el software LINGO 18.0, que permitió calcular las rutas de distribución óptimas bajo cada escenario.

Resultados y discusión

En el escenario de economía cerrada, donde no se consideró el comercio exterior, se identificaron seis estados de la república que lograron satisfacer su demanda local y además, generar un excedente para distribuir. El valor de la función objetivo fue de 296 077 092 t km. Este valor

representa la distancia total mínima ponderada por volumen que se debe recorrer para transportar todo el excedente de frijol desde los seis estados productores hacia los 26 estados deficitarios, garantizando el completo abastecimiento de la demanda nacional.

Este resultado indica que, bajo las condiciones del modelo, es posible garantizar el abastecimiento completo de la demanda nacional mediante una asignación espacial eficiente que minimiza los costos logísticos asociados al transporte interno. Los resultados obtenidos para el mercado cerrado se presentan a continuación en el Cuadro 1, el cual detalla las rutas de distribución óptimas desde cada estado oferente hacia los estados demandantes, así como el volumen total que cada estado oferente distribuye.

Cuadro 1. Distribución óptima de frijol en un mercado cerrado, 2024.

Origen (i)	Cantidad distribuida (t)	Destino (j)
Chiapas	13 373	Tabasco
Durango	40 630	Coahuila, Chihuahua, Jalisco
Nayarit	57 909	Jalisco
San Luis Potosí	11 123	Guanajuato
Sinaloa	143 158	Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora, Jalisco, Michoacán, Nuevo León
Zacatecas	326 827	Aguascalientes, Campeche, Ciudad de México, Estado de México, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz, Yucatán

Zacatecas como estado con la mayor cantidad de frijol disponible para distribuir, tuvo un total de 326 827 t. Este origen abastece a diecisiete estados destino, de los cuales el Estado de México recibe la mayor parte con un 49.72% (162 507.78 t) de su oferta, seguido por Ciudad de México que recibe un 26.71% (87 292.27 t).

El segundo oferente más importante es Sinaloa, que distribuye 143 158.76 t. Su principal destino es Michoacán, al cual le provee el 28.77% de su excedente, equivalente a 41 188.7 t. el siguen en importancia Baja California con el 25.74% (35 845.49 t) y Nuevo León con el 19% (27 279.67 t) de su oferta. Nayarit distribuye 57 909.62 t, teniendo como único destino el estado de Jalisco, con un 100% (57 909.62 t). Por su parte, Durango oferta un total de 40 630.95 t, enviando sus mayores volúmenes a Coahuila (74%) y Jalisco (21.38%).

Los estados restantes distribuyen cantidades menores. Chiapas oferta 13 373.2 t, repartidas únicamente en Tabasco. San Luis Potosí proporciona 11 123.78 t a la oferta nacional, las cuales se envían todas a la demanda de Guanajuato. Se observó que algunos estados demandantes, como Jalisco, Guanajuato y Nuevo León, son abastecidos por más de un estado oferente para poder satisfacer sus necesidades, lo que evidencia la complejidad de la red de distribución nacional.

A pesar de la optimización de las rutas, la cantidad que ofertan los orígenes nacionales solo logra cubrir una porción de la demanda total del país, lo que sugiere que, en un escenario real, las importaciones del comercio exterior juegan un papel crucial para complementar la demanda nacional de frijol en todo el territorio.

La Figura 1 detalla un mapa de cobertura por estado distribuidor y el alcance que tienen los seis ofertantes, destacando Zacatecas con una cobertura del centro y sur sureste del país, mientras que, Durango y Sinaloa cubren la demanda del norte; Nayarit, San Luis Potosí y Chiapas cubren demandas cercanas al propio estado.

Figura 1. Mapa de la cobertura de frijol por estado distribuidor, 2024.



Respecto al escenario de economía abierta. La producción nacional de frijol en 2024, cifrada en 996 392.77 t, fue drásticamente afectada por una de las sequías más severas de las últimas décadas (Vaca-Genuit y Reyes-Hernández, 2025). Este fenómeno climático provocó una pérdida de más de un millón de ha de cultivos a nivel nacional, siendo el frijol uno de los más perjudicados. El estado de Zacatecas, pilar de la producción nacional, experimentó una caída en su cosecha de hasta un 52.2% en comparación con años anteriores, un colapso que repercutió en toda la cadena de suministro (Guzmán-López *et al.* , 2024).

Como consecuencia directa de esta merma productiva, México se vio obligado a recurrir al mercado exterior de una manera sin precedentes. Las importaciones de frijol en México durante 2024 alcanzaron niveles históricos, superando ampliamente las estimaciones iniciales. Si bien los datos preliminares del balance nacional proyectaban un volumen cercano a 82 580.61 t, los informes consolidados revelaron un incremento sustancial.

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2024), el ciclo comercial 2023-2024 cerró con 464 000 t importadas, lo que representa un aumento del 134.3% respecto al ciclo anterior. Por otra parte, en 2023 se importaron 313 000 t, y para 2024 se proyectó un volumen récord superior a 400 000 t, consolidando la dependencia del frijol extranjero en la dieta mexicana (Aduanas y Comercio, 2024).

Este incremento pone de manifiesto la vulnerabilidad de la cadena de suministro frente a fenómenos climáticos, así como la necesidad de implementar estrategias logísticas más eficientes. Los resultados del modelo muestran que las importaciones necesarias para satisfacer la demanda nacional restante se canalizan de manera óptima a través de 10 de las 38 aduanas consideradas, las cuales se identifican en el Cuadro 2 .



Cuadro 2. Distribución óptima de frijol importado por aduana de entrada, 2024.

Aduana de entrada (k)	Destino (j)	Cantidad importada (t)	Importación (%)
Veracruz	Ciudad de México, Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz	89 887	30
Manzanillo	Aguascalientes, Colima, Jalisco, Michoacán	65 403	22
Nuevo Laredo	Nuevo León, Tamaulipas	58 731	19
Lázaro Cárdenas	Estado de México, Guerrero, Morelos	21 489	7
Tijuana	Baja California	18 252	6
Progreso	Yucatán	11 167	4
Subteniente López	Campeche, Quintana Roo	10 409	3
Piedras Negras	Coahuila	10 049	3
Coatzacoalcos	Oaxaca, Tabasco	8 837	3
Nogales	Sonora	7 759	3
Total		301 983	100

Estas aduanas, tanto fronterizas como marítimas, se convierten en orígenes estratégicos debido a su cercanía con los principales estados con déficit. La optimización de estas rutas de importación no solo busca reducir los costos de transporte, sino que también contribuye a mejorar la disponibilidad del producto y a estabilizar los precios para el consumidor final, un factor de suma importancia dado el estatus del frijol como pilar de la canasta básica mexicana.

Sin embargo, se deben considerar otros rubros para un mejor panorama de disponibilidad como la temporalidad de la producción y la disponibilidad de este, recordando que el presente trabajo tiene alcances limitados de solo estimar cantidades de distribución.

Tres de las diez aduanas seleccionadas (Manzanillo, Nuevo Laredo y Veracruz) destacan por su importancia estratégica, canalizando el mayor volumen de las importaciones de frijol debido a su infraestructura y su ubicación geográfica privilegiada, cercana a los estados con mayor déficit, se puede observar la concentración de las importaciones por aduana de entrada, destacando las tres aduanas referidas anteriormente.

Las tres aduanas destacan por su rol preponderante, canalizando conjuntamente el 71% del total de las importaciones: Veracruz, Manzanillo y Nuevo Laredo. Veracruz se posiciona como el principal puerto de entrada para el frijol importado, gestionando un flujo óptimo de 89 887 t (30% del total). Manzanillo, en Colima, es el segundo punto de entrada más importante, con un flujo asignado de 65 403 t (22%). Este puerto es el más importante de México en la costa del Pacífico y su relevancia en el modelo se explica por dos factores clave.

Primero, su infraestructura incluye una terminal especializada para el manejo de graneles agrícolas con capacidad para 45 000 t, además de terminales de carga refrigerada y una moderna red de transporte terrestre y ferroviario que la conecta con el corazón del país (CBRE Research, 2022). Segundo, su posición en el Pacífico es ideal para recibir importaciones de Sudamérica, como las provenientes de Argentina, un proveedor emergente para México.

Por otro lado, Nuevo Laredo, en Tamaulipas, se consolida como el tercer origen más relevante y el principal punto de entrada terrestre, con un flujo de 58 731 t (19%). Su elección es una consecuencia directa de la geografía del comercio de frijol siendo Estados Unidos el principal proveedor de México.

Otros estudios refieren que México posee el potencial para alcanzar la autosuficiencia alimentaria en frijol mediante políticas integrales y la adopción de tecnologías agrícolas sostenibles. Borja-Bravo y García-Salazar (2022) demostraron que la implementación del Programa de Fertilizantes

para el Bienestar podría incrementar la producción nacional en un 22.1%, disminuyendo la necesidad de importaciones y generando beneficios económicos significativos.

De manera complementaria, Ayala-Garay *et al.* (2021) sostienen que la mejora genética y el uso de semillas certificadas son factores clave para elevar los rendimientos y garantizar la estabilidad productiva. Ruiz y Ruiz (2021) enfatizan que la biotecnología agrícola y la conservación de la agrobiodiversidad fortalecen la resiliencia del sistema productivo frente a la variabilidad climática, asegurando la soberanía alimentaria.

Asimismo, De Luis-Peralta *et al.* (2025) subrayan que la rentabilidad y competitividad del frijol pueden consolidarse mediante políticas públicas orientadas a los cultivos de temporal. Estos hallazgos confirman que México no solo tiene la capacidad productiva, sino también las herramientas técnicas y políticas para garantizar el abasto interno de frijol sin depender del comercio exterior.

En otra postura, mediante un modelo de equilibrio espacial del mercado frijolero mexicano, se concluyó que ante escenarios de sequía la oferta nacional cae, suben los precios al productor y aumentan las importaciones, incluso si no existen restricciones a las compras externas (Borja#Bravo *et al.*, 2023). Este resultado refuerza que, bajo condiciones climáticas reales, la autosuficiencia no se sostiene.

Hallazgos localizados por Han y Singh (2023) documentan cómo la correcta estimación de PET y la combinación de múltiples índices es fundamental para monitorear sequías que, por el cambio climático, son más frecuentes y severas, el corolario práctico para cultivos de temporal como el frijol es que la probabilidad de déficit hídrico crónico aumenta, con implicaciones directas sobre rendimientos y seguridad alimentaria.

A escala global, en escenarios de cierre de brechas de rendimiento, los potenciales simulados son a menudo optimistas frente a los empíricos y que la elección metodológica altera fuertemente los resultados de autosuficiencia; aplicado al contexto mexicano, ello sugiere que metas de 'autosuficiencia' basadas en potenciales teóricos subestiman las restricciones reales (Ollenburger *et al.*, 2022).

En este sentido Wu *et al.* (2024) demuestran, con indicadores de sequía de tiempo variable y análisis de propagación, que la transición del déficit meteorológico al agrícola tarda de 1 a 4 meses y afecta con más fuerza primavera-verano, justo cuando el frijol de temporal depende de lluvias oportunas, esa ventana de propagación hace que las políticas reactivas resulten tardías y que el sistema requiera importaciones para estabilizar el consumo.

En paralelo, el vínculo entre estrés hídrico y anomalías de productividad agrícola es robusto, Chen *et al.* (2024) hallan correlaciones significativas entre SPEI a 3-6 meses y anomalías de productividad, destacando que los sistemas de temporal presentan perturbaciones prolongadas bajo sequía, coherentes con pérdidas sostenidas en cultivos básicos.

A nivel hidrológico local en zonas frijoleras, las simulaciones confirman balances de agua muy restrictivos. En una cuenca semiárida del sur de Zacatecas, Hernández-Marín *et al.* (2024) calibran y validan el modelo (Soil and Water Assessment Tool (SWAT), un modelo hidrológico y eco#hidrológico semidistribuido diseñado para simular, de manera continua, los procesos de escurrimiento, evapotranspiración, infiltración, balance hídrico, erosión, transporte de sedimentos y calidad del agua en cuencas hidrográficas, donde encontraron que >90% de la precipitación se pierde por evapotranspiración y apenas 8.6% contribuye al escurrimiento, lo que limita la disponibilidad efectiva de agua para agricultura y condiciona los rendimientos en sistemas de riego y con mayor severidad en temporal. Tales restricciones físicas imposibilitan sostener aumentos de producción del orden requerido para suplir las importaciones sin inversiones estructurales masivas y persistentes.

Finalmente, la dependencia comercial del frijol en México respecto a Estados Unidos de América se ha convertido en un factor determinante para la estabilidad del mercado interno. La apertura comercial y la falta de políticas efectivas para fortalecer la producción nacional han incrementado las importaciones, principalmente desde Estados Unidos de América. Esta situación generó vulnerabilidad ante fluctuaciones internacionales y limita la capacidad de respuesta del sistema productivo nacional (Caballero-García *et al.*, 2025).

Por otro lado, la transmisión de precios entre regiones productoras y centros de consumo en México refleja una integración parcial del mercado, lo que amplifica los efectos de las variaciones externas. Investigaciones recientes señalan que existe cointegración y causalidad en los precios del frijol entre zonas como Zacatecas y Ciudad de México, lo que indica que los cambios en precios internacionales pueden repercutir en el mercado interno a través de mecanismos indirectos (González-Andrade y Aguilar-López, 2024).

Este comportamiento confirma que la dependencia comercial no solo es un fenómeno de volumen de importaciones, sino también de formación de precios, lo que compromete el abasto de este producto hacia todo el país y la estabilidad económica de los productores.

Conclusiones

Los resultados confirmaron que la producción nacional de frijol en 2024 es insuficiente para cubrir el consumo interno y que las rutas actuales de distribución no permiten compensar esta brecha de manera eficiente. La programación lineal permitió demostrar que, en un escenario cerrado, la oferta doméstica no puede satisfacer la demanda territorial, evidenciando una insuficiencia estructural que la logística por sí sola no puede resolver sin apoyo de importaciones. Al incorporar un escenario abierto, el modelo identificó que los flujos provenientes de puertos y aduanas fronterizas, particularmente Veracruz, Manzanillo y Nuevo Laredo, son determinantes para cerrar la brecha oferta#demanda y garantizar el abasto en las regiones más pobladas del país.

Asimismo, los modelos optimizados validaron la hipótesis planteada: es posible reducir distancias, costos logísticos e ineficiencias mediante la asignación matemática de rutas. La optimización mostró una reconfiguración territorial de nodos estratégicos y reveló que una logística basada en criterios cuantitativos contribuye a mejorar la seguridad alimentaria en un contexto de cambio climático y mayor dependencia de importaciones. Estos hallazgos subrayan la necesidad de fortalecer la infraestructura ferroviaria y portuaria del país, especialmente en el sureste y el Pacífico, para asegurar un sistema de distribución capaz de responder con eficiencia cuando la producción nacional se vea comprometida.

Bibliografía

- 1 Aduanas y Comercio. 2024. Importaciones de maíz y frijol en México alcanzan niveles récord en 2023, superando expectativas del gobierno. Recuperado de <https://aduanasycomercio.mx/blog/importaciones-de-maiz-y-frijol-en-mexico-alcanzan-niveles-record-en-2023-superando-expectativas-del-gobierno>.
- 2 Ayala-Garay, A. V.; Acosta-Gallegos, J. A. and Reyes-Muro, L. 2021. El cultivo del frijol presente y futuro para México. INIFAP-CIRCE. Campo Experimental Bajío. Celaya, Guanajuato, México. Libro técnico núm. 1. 81-98 pp. Doi:10.4236/oalib.1110996.
- 3 Banco de México. 2025. Matriz producto-región (volumen). Cubo de Información de Comercio Exterior. <https://www.banxico.org.mx/CuboComercioExterior/Volumen/matrizprodregion>.
- 4 Borja-Bravo, M. y García-Salazar, J. A. 2022. El programa de fertilizantes para el bienestar y el mercado de frijol en México. *Agronomía Mesoamericana*. 33(2):e47216. <https://doi.org/10.15517/am.v33i2.47216>.
- 5 Borja-Bravo, M.; García-Salazar, J. A.; Arellano-Arciniega, S.; Almeraya-Quintero, S. X. and Guajardo-Hernández, L. G. 2023. Effects of drought on the Mexican bean market. *Interciencia*, 48(2):76-85. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2023/02/01-6936-A-garcia-salazar-v48n2-7.pdf>.
- 6 Caballero-García, M. A.; Santoyo-Cortés, V. H.; Ramírez-Galindo, J. y Rebollar-Ávila, C. 2025. Efectos del precio de garantía sobre el precio medio rural del frijol en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 16(2):365-378. <https://doi.org/10.29312/remexca.v16i2.3645>.

- 7 Castillo-Altamirano, M.; Martínez-Jiménez, D. D.; Luquez-Gaitan, C. E. y Aguirre-López, J. M. 2024. Optimización de las rutas comerciales de maíz en México mediante programación lineal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 15(8):e3535. <https://doi.org/10.29312/remexca.v15i8.3535>.
- 8 CBRE Research. 2022. Global Seaport Review. Manzanillo, Mexico. Cbre. <https://www.cbre.com/insights/local-response/2022-global-seaport-review-manzanillo>.
- 9 Chen, X.; Wang, L.; Cao, Q.; Sun, J.; Niu, Z.; Yang, L. Jiang, W. 2024. Response of global agricultural productivity anomalies to drought stress in irrigated and rainfed agriculture. *Science China Earth Sciences*, 67(11):3579-3593. <https://doi.org/10.1007/s11430-023-1328-2>.
- 10 CONAPO. 2025. Consejo Nacional de Población. Datos abiertos. Gobierno de México. <https://conapo.segob.gob.mx/es/conapo/datos-abiertos>.
- 11 De Luis-Peralta, A.; Vega-Valdivia, D. D.; Garza-Bueno, L. E. y Barrios-Puente, G. 2025. Análisis de la política agrícola en México: rentabilidad, competitividad y autosuficiencia alimentaria en granos básicos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. 22(1): 107-122. <https://doi.org/10.22231/asyd.v22i1.1693>.
- 12 FAOSTAT. 2024. Trade data for Mexico beans (*Phaseolus* spp.), imports and exports 2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/>.
- 13 González-Andrade, S. y Aguilar-López, A. 2024. Análisis de simetría en la transmisión de precios de mercado del frijol negro en México: casos Zacatecas y Ciudad de México. *Acta Universitaria*. 34(1):1-15. <https://doi.org/10.15174/au.2024.4064>.
- 14 Guzmán-López, F.; Guerrero-Medina, M. del R. y Durán-Sosa, R. Y. 2024. Escasez hídrica en la agricultura como impacto del cambio climático en Zacatecas, México, 2000-2022. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*. 20(2):56-66. <https://revista.itson.edu.mx/index.php/rlrn/article/view/346>.
- 15 Han, J. and Singh, V. P. 2023. A review of widely used drought indices and the challenges of drought assessment under climate change. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12):1438. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12062-3>.
- 16 Hernández#Marín, M. A.; Ortiz#Gómez, R.; Zavala, M.; Rodríguez#Rodríguez, J. A.; Alvarado Medellín, P. and Ortiz#Robles, F. A. 2024. Hydrological simulation using the SWAT model in a semi#arid region in the southern part of Zacatecas, Mexico. *Environmental Earth Sciences*, 83(540):1-16 <https://doi.org/10.1007/s12665-024-11837-2>.
- 17 Murray-Tortarolo, G. N.; Mendoza-Ponce, A.; Martínez-Salgado, M. y Sánchez Guijosa, K. 2024. Cambio climático y el agro mexicano: desafíos alimentarios. *Revista Digital Universitaria*. 25(4):1-12. <https://doi.org/10.22201/ceide.16076079e.2024.25.4.5>.
- 18 Ollenburger, M. H.; Kyle, P. and Zhang, X. 2022. Uncertainties in estimating global potential yields and their impacts for long-term modeling. *Food Security*. 14(6):1177-1190. <https://doi.org/10.1007/s12571-021-01228-x>.
- 19 Ruiz-Valdiviezo, V. M. y Ruiz-Sánchez, E. X. 2021. Autosuficiencia alimentaria y rescate del campo mexicano: una perspectiva desde la biotecnología agrícola y la conservación de la agrodiversidad. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 38(2):45-60. <https://www.redalyc.org/journal/944/94480005003/>.
- 20 SCT. 2025. Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes. Sistema de información de rutas (SIBUAC). Gobierno de México. <https://app.sct.gob.mx/sibuac-internet/controllerui?action=cmdescogeruta>.

- 21 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera Dirección General del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Cierre agrícola y pecuario 2024. Gobierno de México. <https://nube.agricultura.gob.mx/cierre-agricola/>.
- 22 Vaca-Genuit, R. A. y Reyes-Hernández, H. 2025. Análisis del peligro de sequía meteorológica y percepción social del fenómeno en las regiones Media y Huasteca Potosina, México. Investigaciones Geográficas. 116:e60919. <https://doi.org/10.14350/rig.60919>.
- 23 Wu, C.; Xu, Y.; Jin, J.; Zhou, Y.; Nie, B.; Li, R.; Cui, Y.; Tong, F. and Zhang, L. 2024. Meteorological to agricultural drought propagation time analysis and driving factors recognition considering time#variant characteristics. Water Resources Management. 38(3):991-1010. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03705-8>.



Optimización de rutas comerciales de frijol en México mediante programación lineal

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 February 2026
Date accepted: 01 April 2026
Publication date: 01 July 2026
Publication date: 2026
Volume: 17
Issue: 4
Electronic Location Identifier: e4120
DOI: 10.29312/remexca.v17i4.4120

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

logística agrícola
programación lineal
seguridad alimentaria

Counts

Figures: 1
Tables: 2
Equations: 8
References: 23