

Optimización de las rutas comerciales de maíz en México mediante programación lineal

Madelyne Castillo-Altamirano¹

Daira Danae Martínez-Jiménez¹

Carlos Ernesto Luquez-Gaitan²

Juan Manuel Aguirre-López^{1,§}

1 Universidad Politécnica de Texcoco. Carretera Federal los Reyes-Texcoco km 14.2, San Miguel Coatlinchán, Texcoco de Mora, México. CP. 56250. Tel. 595 921 3027.

2 Universidad Autónoma Chapingo, División de Ciencias Económicas Administrativas. Texcoco, México.

Autor para correspondencia: jm.aguirre@outlook.com

Resumen

El maíz es uno de los alimentos más importantes en la dieta de los mexicanos, se observó un crecimiento sostenido de las importaciones desde la apertura comercial de México desde 1994 con la entrada en vigor del TLCAN, las importaciones han crecido a tal grado que en 2021 México fue el segundo importador mundial de maíz con 17.4 millones de toneladas, tan solo después de China. El objetivo de esta investigación fue determinar las rutas de transporte de maíz durante 2020 a través de programación lineal, minimizando sus distancias para satisfacer las demandas de cada destino en dos escenarios: una supuesta economía cerrada y la actual economía abierta con intercambios globales. Se determinaron las rutas óptimas de distribución nacional que implican en conjunto las menores distancias de transporte para ambos escenarios. Para el supuesto de la economía cerrada se identificaron siete estados orígenes y 25 estados demandantes de maíz. En la economía abierta, se plantearon un total de 49 oferentes para los mismos 25 destinos. Se concluyó que México depende comercialmente de las importaciones de maíz, en 37% de su consumo total; debido al reto logístico que representa la minimización de las distancias recorridas para la transportación, el obtener una asignación óptima implica una mejora del bienestar social a nivel país, fácilmente tangible en la mejora del precio final del maíz.

Palabras clave:

capacidad de almacenamiento, comercio de maíz, raíces adventicias, costos de transporte de maíz, mercados agrícolas eficientes, reserva estratégica nacional de maíz.



Introducción

El maíz en México es un cultivo de gran importancia en el ámbito social, cultural y económico (ASERCA, 2018), durante 2021 se produjeron más de 27 millones de toneladas en más de siete millones de hectáreas, además, juega un rol fundamental en la alimentación de la población humana (Pérez-Solís, 2021), también es utilizado para la alimentación de pecuarios; el maíz blanco se destina a consumo humano, mientras que el maíz amarillo se usa principalmente en la industria agropecuaria (ASERCA, 2018).

Haciendo esta distinción, en el 2018 la producción de maíz blanco mostró suficiencia para cubrir la demanda; sin embargo, se importó más del 80% del maíz amarillo necesario para satisfacer la demanda (CEDRSSA, 2019). Lo anterior implica mayor dependencia del extranjero, pero fue desde la crisis agrícola presentada a mediados de los años sesenta que México dejó de ser autosuficiente, a tal grado que en 2021 México fue el segundo importador de maíz con 17.4 millones de toneladas, solo después de China (FAOSTAT, 2024).

Además, la creciente población urbana demanda cada vez más productos cárnicos y esto implica que una parte importante de este grano se destine al consumo animal (Rubio, 1987). Por ello, la importación de este grano es la de mayor relevancia en cuestión de la industria agropecuaria (González-Estrada y Alferes-Varela, 2010), las importaciones han crecido a partir de la apertura comercial y en especial, desde la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (Moreno-Sáenz *et al.*, 2016).

En el año 2002 se detectó un déficit importante de maíz, dando pie a desestabilizar la seguridad alimentaria y reforzar la sujeción del exterior (Saad, 2004), esta dependencia se evidenció por medio del índice de dependencia a las importaciones de cereales (indicador de seguridad alimentaria) de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el cual muestra que, durante el año 2011, el 35% del maíz consumido provino de territorio extranjero (FAO, 2010).

Orientando en contribuir con la seguridad alimentaria, el segundo objetivo de desarrollo sostenible de la ONU (2015) y el plan nacional de desarrollo 2019-2024 mediante la seguridad alimentaria mexicana (SEGALMEX, 2024), se han establecido estrategias para aumentar la producción del sector agrícola y la comercialización de los productos de la canasta básica (SEGALMEX, 2020), en el que está el maíz (SADER, 2024).

En el año 2020 los principales estados productores de maíz blanco, según el servicio de información agroalimentaria y pesquera (SIAP, 2024), fueron: Sinaloa, Jalisco, Michoacán y Guanajuato, el volumen que produjeron dichos estados corresponde al 51% del total de producción nacional (SIAP, 2024). La producción nacional es insuficiente para satisfacer la demanda del país, la importación del grano es por diferentes aduanas del país.

De ahí que tanto la ubicación de las zonas productoras, como los puntos de acceso del grano, determinan las distancias hacia los centros de consumo. En ese sentido, la programación lineal (Moncayo-Martínez y Muñoz, 2018), aplicando el método simplex formulado por Dantzing (1947) resultó ser una opción para determinar las distancias mínimas entre los diferentes orígenes y destinos considerando que representan en cierta medida, los costos de transporte de los volúmenes demandados por los centros de consumo (Dantzig y Thapa, 1997).

Para dicho análisis se hace el planteamiento de una función objetivo que maximice o minimice (Dantzing y Cottle, 2003) que estará sujeta a diferentes restricciones de igualdad o desigualdad (Del Río-Gómez, 2021). Algunos autores lo han utilizado por su practicidad para resolver el problema de transporte (Díaz-Parra y Cruz-Chavez, 2006); para la minimización de costos de distribución de tuna en México 2016.

Con base en lo anterior, el objetivo de esta investigación fue determinar las rutas de transporte de maíz durante 2020 a través de programación lineal, minimizando sus distancias para satisfacer las demandas de cada destino en dos escenarios: una supuesta economía cerrada y la actual economía abierta con intercambios globales. Y, con ello, contribuir a la seguridad alimentaria

debido a que la optimización implicaría una reducción de precios. La hipótesis planteada es: si se determinan las rutas óptimas de transporte, tanto los proveedores como los compradores de maíz percibirán una reducción en costos y con ello, se eleva la tasa de utilidad del grano de maíz

Materiales y métodos

Para la recopilación de los datos de importación de 15 953 291 t de maíz durante 2020 (FAOSTAT, 2024) se consideró la clasificación arancelaria 100 590, que incluyó todas las variedades de maíz grano que, sumados a la producción nacional de 27 424 528 t, arroja el consumo total nacional de 47 377 819 t, correspondiente a la demanda total.

La solución fue a través del software linear generalize optimizer 18.0 (Lingo), una herramienta matemática que resuelve problemas de optimización (Dorta-González *et al.*, 2001); para establecer el modelo se requieren las variables básicas: función objetivo, establecida con las distancias que existen entre cada uno de los orígenes a cada destino y las restricciones tanto de oferta como de demanda.

Se determinó la solución óptima de las rutas de transporte con base en una matriz de las distancias donde las columnas representan los orígenes y las filas, los destinos del grano mediante el método simplex de programación lineal que minimiza los costos de transporte mediante la asignación óptima de rutas acorde a las distancias entre cada ubicación del oferente y demandante.

En el supuesto de una economía cerrada, considerando los 31 estados y la Ciudad de México se determinó déficit o, superávit en la producción a fin de determinar los estados orígenes y destinos, utilizando la producción nacional y estatal obtenida del cierre agrícola 2020, de igual forma la población nacional y estatal extraída del actual censo de población y vivienda (INEGI, 2020) y finalmente las cantidades importadas y exportadas obtenidas de (FAOSTAT, 2024)

El cálculo preliminar del consumo nacional aparente (CNA) que estima lo que se consume en un país durante un período de tiempo (Bustamante-Muñoz, 2015), se obtiene de sumar la producción nacional e importaciones menos las exportaciones. El CNA per cápita es el cociente de dividir el CNA entre la población del país, posteriormente se determinó el CNA estatal, resultado de la multiplicación de CNA por la población estatal.

Por último, a la producción de cada estado se le resta su consumo para identificar si el estado satisface su demanda, ante un resultado positivo el estado será oferente mientras que, de lo contrario es un estado demandante (Martínez-Jiménez *et al.*, 2023).

En el escenario de un mercado cerrado, sin importaciones. Una vez identificados los orígenes, la cantidad ofertada, los destinos, la cantidad demandada y las distancias se elaboró la función objetivo considerando exclusivamente orígenes nacionales (m) y destinos (n)= a la cantidad de la oferta en el origen (i)= E_m y la demanda en el destino (j)= D_n , la distancia existente entre el origen (i); el destino (j)= C_{ij} ; finalmente, X_{ij} es la cantidad transportada desde el origen hasta el destino. La función objetivo del modelo cerrado es la siguiente:

$$Y = \sum_i^m \sum_j^n C_{ij} X_{ij}$$

Donde: las regiones productoras (i) = 1, 2, ... m; y las regiones consumidoras (j) = 1, 2, ... n, construyendo así la función de minimización: $\text{Min } Y = C_{11}X_{11} + \dots + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn}$. Donde: C_{11} representa la distancia del origen 1 al destino 1; C_{12} representa la distancia del origen 1 al destino 2, así sucesivamente hasta incluir todos los orígenes y destinos nacionales; X_{11} , X_{12} hasta X_{mn} serán las cantidades de maíz que se deben enviar de acuerdo con la asignación óptima del planteada.

En consecuencia, las restricciones que condicionan la función objetivo, denotando la cantidad disponible de cada oferente y la cantidad necesitada por cada demandante fueron las siguientes: oferta. $X_{11} + X_{12} + X_{13} \dots + X_{1n} = E_1$. $X_{21} + X_{22} + X_{23} \dots + X_{2n} = E_2$. $X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} \dots + X_{mn} = E_m$. $X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} \dots + X_{mn} = E_m$. Estas restricciones muestran que la producción de cada origen supera su demanda, por lo que dispone de excedente para enviar a los centros consumidores una cantidad igual que su oferta.

Demanda. $X_{11}+X_{21}+X_{31}+\dots+X_{m1}=D_1$. $X_{12}+X_{22}+X_{32}+\dots+X_{m2}=D_2$... $X_{1n}+X_{2n}+X_{3n}+\dots+X_{mn}=D_n$. Estas restricciones indican que las cantidades enviadas desde los diferentes oferentes deben coincidir con la demanda de cada centro consumidor. En el segundo escenario, de un mercado abierto como el de México, a diferencia del cerrado, este sí considera las importaciones.

Además de los oferentes nacionales, se incluyeron 38 ofertas exteriores, correspondientes a las 38 aduanas como puntos de ingreso de las importaciones de maíz. debido a la limitada capacidad que tiene México para ser autosuficiente alimentariamente, además que el fenómeno de la demanda de maíz para uso pecuario ha ocasionado que el país requiera importarlo para abastecer su consumo (Schwentesiús y Ayala-Garay, 2014).

De las 38 aduanas, 21 son fronterizas con los EE. UU. lo que ha facilitado las importaciones de nuestro principal proveedor de maíz, aunado a que en la última década (2010-2020), EE. UU. se ha convertido en el mayor productor y exportador de maíz en el mundo (FAOSTAT, 2024), sumado a que a partir de la entrada en vigor del T-MEC el total de importaciones de maíz originario de dicho país se incrementó 14 veces (García-Salazar y Santiago-Cruz, 2004), además de las 21 aduanas fronterizas referidas, se analizaron 17 aduanas marítimas que facilitan la distribución hacia los centros de consumo nacional del centro y sur del país.

Con base en lo anterior, la función objetivo consideró la base del mercado nacional incorporándole las restricciones que representan las aduanas, simbolizadas con la literal 'w' dentro de la función objetivo y manteniendo los mismos destinos nacionales, tal como se muestra enseguida: $\text{Min } Y = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn} + C_{wn}X_{wn}$. Donde: C_{wn} = a la distancia de las aduanas a los destinos nacionales y X_{wn} = a la cantidad de maíz que debe ingresar por las aduanas para satisfacer la demanda nacional faltante. Oferta. $X_{w1} + X_{w2} + X_{w3} \dots + X_{wn} < 0$. Estas restricciones muestran que la oferta de cada aduana será mayor a 0, ya que estará sujeta a la cantidad necesaria para terminar de abastecer a los demandantes nacionales.

Demanda. $X_{1wn} + X_{2wn} + X_{3wn} + \dots + X_{wn} = D_n$. Estas restricciones llevan la secuencia numérica 1w, 2w, 3w... (con fines demostrativos) lo que indica el conteo solo de las aduanas, en la función terminada seguirán la secuencia numérica de los oferentes nacionales e indican que las cantidades enviadas desde las diferentes aduanas deben coincidir con la demanda de cada centro consumidor.

Resultados y discusión

El consumo total de maíz de México en el año 2020 fue de 43 065 437 t, de las cuales, solamente el 63% proviene de la producción nacional, de esta manera el 37% faltante proviene de las importaciones, el proveedor principal son los Estados Unidos de América país que provee el 92% del total de las importaciones. A partir del CNA se calculó el CNA per cápita que resulta de dividir el consumo entre la población del mismo año (126 014 024 habitantes) se obtuvo el consumo per cápita que correspondió a 341 75 kg por persona.

A partir del CNA per cápita es posible determinar con la población de cada estado de la república el total de cada estado y posteriormente decidir si son oferentes o demandantes, de dichos resultados se obtienen dos escenarios, uno de economía cerrado y otro con apertura comercial a continuación, se analizan de manera individual.

Escenario uno: economía cerrada

Se identificaron únicamente siete estados de la república que satisficieron su demanda local (Cuadro 1). Es decir, solo el 22% de las entidades mexicanas pudieron ser autosuficientes, y proveer de maíz a otros estados dependientes del grano de maíz; estos aportaron el 64% del total de la producción en México y cubrieron la demanda del 39% de la población nacional. Estos estados (Sinaloa, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Veracruz, México y Zacatecas), son los que se reconocieron como orígenes u oferentes en la optimización de la distribución del maíz en el 78% del territorio restante, ofertando un total de 13 196 001 t.

Cuadro 1. Distribución óptima de orígenes y destinos nacionales en un mercado cerrado.

Origen (i)	Destino (j)
Veracruz	Tabasco
Sinaloa	Nayarit, Baja California Sur, Durango, Chihuahua y Sonora
Jalisco	Nayarit, Aguascalientes, San Luis Potosí, Colima y Tlaxcala
Michoacán	Morelos, Ciudad de México e Hidalgo
México	Morelos
Guanajuato	Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala
Zacatecas	Coahuila

INEGI, SIAP, FAOSTAT, LINGO (2020).

Los 25 estados demandantes o destinos fueron: Puebla, Chihuahua, Colima, Coahuila, Guerrero, Ciudad de México, Nayarit, Campeche, Aguascalientes, Hidalgo, Querétaro, Yucatán, Nuevo León, Tabasco, San Luis Potosí, Quintana Roo, Tamaulipas, Morelos, Sonora, Chiapas, Baja California Sur, Durango, Oaxaca, Baja California y Tlaxcala, estos estados son recurrentes como demandantes en otros estudios realizados como por ejemplo el de Gómez y García (2013).

El desabastecimiento de maíz presentado en estos estados es de 28 836 910 t. De acuerdo con la metodología utilizada se identificaron los orígenes (i) y destinos (j) al optimizar la distribución de maíz tomando como variable la distancia entre oferentes y demandantes, los resultados obtenidos para el mercado cerrado se presentan a continuación en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Cantidades óptimas de los oferentes nacionales en un mercado cerrado.

Origen (i)	Cantidad distribuida (t)
Veracruz	664 292
Sinaloa	5 811 166
Jalisco	2 654 942
Michoacán	1 789 731
México	590 817
Guanajuato	1 450 275
Zacatecas	234 777

INEGI, SIAP, FAOSTAT, LINGO (2020).

Según los cálculos realizados, solo se cubre la demanda nacional en un 60% de los destinos con excedentes de los siete estados oferentes. Sinaloa es el estado con mayor cantidad disponible con 5 811 166 t, pudo proveer a Nayarit, Baja California Sur, Durango, Chihuahua y Sonora se distribuyó el 4%, 33%, 36%, 60% y 25% de su oferta, respectivamente. El estado con menor cantidad excedente fue Zacatecas con 234 777 t y le ofertó el 100% a Coahuila.

Con respecto a Jalisco con un excedente de 2 654 942 t le ofertó el mayor porcentaje de dicha cantidad a San Luis Potosí y el menor fue para Nayarit y el 32% y 11% respectivamente. Michoacán le ofertó entre el 30% y 36% a cada uno de los estados de Morelos, Ciudad de México e Hidalgo. El estado de Veracruz y México le proveyeron el 100% de sus excedentes a Tabasco y Morelos, respectivamente finalmente, Guanajuato distribuyó su oferta a Querétaro, Hidalgo y Tlaxcala, este último es el que recibió la proporción mayor (58%).

Se observó que los destinos más recurrentes son: Morelos, Hidalgo, Nayarit y Tlaxcala, también se encontró que con la cantidad que ofertan los orígenes nacionales solo se logra cubrir el 46% de la cantidad total requerida en los 25 destinos. En la Figura 1, desarrollada con la plataforma (MapChart, 2020), se mostró la distribución ya mencionada y el resto lo debió cubrir el comercio internacional con las importaciones, pues en investigaciones como la de Tejeda-Villanueva et al. (2019) se reafirma que cuando existe escasez de cierto producto, se hace uso de las importaciones.

Figura 1. Flujos comerciales óptimos de maíz en un mercado cerrado. INEGI, SIAP, FAOSTAT, LINGO (2020).



Segundo escenario: economía abierta

En el modelo de mercado abierto, tal como el de mayoría de los países como México, a los estados oferentes se agregaron 38 puntos de entrada. Estas aduanas son: Agua Prieta, Ciudad Acuña, Ciudad Camargo, Ciudad Juárez, Ciudad Miguel Alemán, Ciudad Reynosa, Colombia, Matamoros, Mexicali, Naco, Nogales, Ojinaga, Piedras Negras, Puerto Palomas, San Luis Río Colorado, Sonoyta, Tecate, Tijuana, Altamira, Tampico, Tuxpan, Veracruz, Coatzacoalcos, Dos bocas, Ciudad del Carmen, Puerto Progreso, Cancún, Subteniente López, Ciudad Hidalgo, Salina Cruz, Acapulco, Lázaro Cárdenas, Manzanillo, Mazatlán, Guaymas, La Paz, Ensenada, para abastecer las 15 640 909 t faltantes de la demanda nacional.

Los resultados para economía abierta mostraron que las importaciones cubren el 54% de la demanda nacional y provienen de 11 de las 38 aduanas contempladas. En el Cuadro 3 se presentó la distribución óptima de las aduanas oferentes y demandantes por las cuales es viable la importación de maíz, desde el punto de vista logístico, lo que implica la optimización de los costos y por lo tanto un aumento del bienestar debido a la reducción de estos (Sánchez *et al.*, 2017).

Cuadro 3. Aduanas de entrada de maíz para una distribución óptima para sus destinos.

Origen (i)	Destino (j)
Ciudad Miguel Alemán	Coahuila y Nuevo León
Mexicali	Baja California
Altamira	Tamaulipas
Veracruz	Puebla y Tlaxcala

Origen (i)	Destino (j)
Coatzacoalcos	Chiapas
Dos bocas	Tabasco
Ciudad del Carmen	Campeche
Puerto progreso	Yucatán
Subteniente López	Quintana Roo
Salina Cruz	Oaxaca
Acapulco	Guerrero

INEGI, SIAP, FAOSTAT, LINGO (2020).

Solo 3 de las 11 aduanas óptimas representan el 57% de las importaciones: Veracruz, Mexicali y Salina Cruz, como se muestra en el Cuadro 4, por la cercana ubicación geográfica con Baja California, Puebla, Oaxaca y Tlaxcala, estados a los que proveen maíz.

Cuadro 4. Volúmenes óptimos para importar por las aduanas seleccionadas.

Aduana origen (i)	Cantidad importada (t)
Ciudad Miguel Alemán	940 434
Mexicali	2 735 180
Altamira	1 033 534
Veracruz	4 053 897
Coatzacoalcos	1 889 626
Dos bocas	150 479
Ciudad del Carmen	557 625
Puerto progreso	721 149
Subteniente López	960 100
Salina Cruz	2 123 584
Acapulco	475 301

INEGI, FAOSTAT (2020).

De acuerdo con la distribución óptima, el 81% de las aduanas son factibles y deben de abastecer la demanda de su propio estado, como se muestra en la Figura 2, pero a su vez no podrían considerarse como una opción viable para proveer a los demás estados, se identificó que únicamente la aduana Ciudad Miguel Alemán y Altamira son opciones viables para abastecer a otros estados ya que diversifican sus destinos.



Figura 2. Selección de las adunas de entrada de maíz para una distribución óptima. INEGI, SIAP, FAOSTAT, LINGO (2020).



Conclusiones

La variable independiente utilizada para modelar el problema fue la distancia que hay entre las ubicaciones oferentes y los demandantes; a pesar, de que existen otras variables que son más precisas para determinar los costos de transporte, la principal razón por lo cual no se utilizó una variable monetaria es debido a que no se pudo homogenizar los medios ni las vías de transporte; por tanto, determinar un costo homogéneo por tonelada transportada no es posible, esto constituyó la principal limitante de este planteamiento. Se identificaron las mejores rutas para el transporte del maíz con las menores distancias, al cuantificar la demanda nacional del grano de maíz distribuida en los diferentes estados, diferenciando a productores y demandantes, resaltando la utilidad de la programación lineal.

Sin embargo, existe una brecha importante para fortalecer sus valiosos hallazgos y sienta las bases para investigaciones futuras que consideren la variable de la oferta estacional de los estados productores como Sinaloa, Jalisco y Michoacán y las necesidades de los centros de consumo en el tiempo. Aunado a la oferta estacional, será necesario analizar la capacidad de almacenamiento, costos de almacenamiento y transporte, inclusive amenazas al transporte como la inseguridad, variables importantes para que el modelo de programación lineal tenga una representación más apegada a la realidad nacional en el espacio y tiempo.

Tener los elementos necesarios para el diseño de una estrategia nacional que oriente la producción y almacenamiento con la infraestructura de comunicación como el transporte ferroviario que eficientice los intercambios nacionales en miras de fortalecer la seguridad alimentaria. Una vez fortalecida la situación actual nacional, se tendrá que pensar en ampliar la estrategia referida hacia otra que permita garantizar el que México pueda contar con una reserva estratégica de maíz ante cualquier eventualidad mundial que amenace las cadenas globales de suministro.



Bibliografía

- 1 ASERCA. 2018. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. Maíz grano cultivo representativo de México. Gobierno gob.mx. <https://www.gob.mx/aserca/articulos/maizgranocultivorepresentativodemexico?idiom=es>.
- 2 Bustamante-Muñoz, P. F. 2015. Comparación de métodos de estimación del consumo aparente de carne de cerdo. Tesis de licenciatura. Santiago, Chile: Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias, 1-2 pp. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/136975>.
- 3 CEDRSSA. 2019. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Producción de granos básicos y suficiencia alimentaria 2019-2024 <http://intra.cedrssa.gob.mx/>.
- 4 Dantzig, G. B. y Thapa, M. N. 1997. Linear programming, 1: introduction Ed. Springer. <https://www.academia.edu/19935874/GeorgeBDantzigMukundNThapaLinearProgramming1Introduction>. 13-15 pp.
- 5 Del Río-Gómez, D. 2021. Un método simplex en programación lineal multiobjetivo. Trabajo de grado en Matemáticas. Universidad de Valladolid. 27-28 pp. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50558>.
- 6 Díaz-Parra, O. y Cruz-Chávez, M. A. 2006. El problema del transporte. Reporte técnico. <http://www.gridmorelos.uaem.mx/~mcruz/surveykoko.pdf>.
- 7 Dorta-González, P.; Santos-Peñate, D. R. y Suárez-Vega, R. 2001. Una experiencia práctica de programación matemática con LINGO. Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de Asepuma. 9(1):1-11.
- 8 FAO. 2010. Food and Agriculture Organization. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo: la inseguridad alimentaria en crisis prolongadas. FAO. <https://www.fao.org/4/i1683s/i1683s00.htm>.
- 9 FAOSTAT. 2024. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Banco de datos). Datos sobre alimentación y agricultura (FAOSTAT). <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TM>.
- 10 García-Salazar, J. A. y Santiago-Cruz, M. J. 2004. Importaciones de maíz en México: un análisis espacial y temporal. Investigación Económica. 63(250):131-160.
- 11 González-Estrada, A. y Alferes-Varela, M. 2010. Competitividad y ventajas comparativas de la producción de maíz en México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 1(3):381-396. <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci-arttext&pid=S2007-09342010000300008&lng=es&tlng=es>.
- 12 MapChart. 2020. México. MapChart. <https://www.mapchart.net/mexico.html#>.
- 13 Martínez-Jiménez, D. D.; Castillo-Altamirano, M.; Núñez-Betancourt, E. Y. and Luqués Gaitán, C. E. 2023. Analysis of national and international tomato trade routes through the simplex method. Agro Productividad. Vol. V. <https://doi.org/10.32854/agrop.v16i5.2428>.
- 14 Moncayo-Martínez, L. A. y Muñoz, D. F. 2018. Un Sistema de apoyo para la enseñanza del método simplex y su implementación en computadora. Formación Universitaria. 11(6):29-40. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062018000600029>.
- 15 Moreno-Sáenz, L. I.; González-Andrade, S. y Matus-Gardea, J. A. 2016. Dependencia de México a las importaciones de maíz en la era del TLCAN. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 7(1):115-126.
- 16 Pérez-Solís, I. 2021. Conoce a profundidad al grano más importante de México en "Tierra de Maíces". <https://ciencia.unam.mx/leer/1133/conoce-a-profundidad-al-grano-mas-importante-de-mexico-en-tierra-de-maices>.
- 17 Rubio, B. 1987. Resistencia campesina y explotación rural en México. Primera edición. <https://ru.iis.sociales.unam.mx/handle/IIS/2898>.

- 18 Saad, I. 2004. Maíz y libre comercio en México. *Revista Claridades Agropecuarias*. 127:44-48.
- 19 SADER. 2024. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://www.gob.mx/agricultura>.
- 20 Sánchez-Galván, F.; Garay-Rondero, C. L.; Mora-Castellanos, C.; Gibaja-Romero, D. E. y Bautista-Santos, H. 2017. Optimización de costos de transporte bajo el enfoque de teoría de juegos. Estudio de caso. *Nova Scientia*. 9(19):185-210. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=203353519012>.
- 21 Schwentesius, R. y Ayala-Garay, A. V. 2014. Seguridad y soberanía alimentaria en México: análisis y propuestas de política. Primera edición. Ed. <http://biblioteca.dicea.chapingo.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13004&shelfbrowse-itemnumber=27688>.
- 22 SEGALMEX. 2024. Seguridad Alimentaria Mexicana. <https://www.gob.mx/segalmex>.
- 23 SIAP. 2024. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/>.
- 24 Tejeda-Villanueva, A.; Blanco-Jiménez, M. y Guerra-Moya, S. 2019. Factores que impulsan las importaciones de las empresas de alimentos procesados, mejorando su competitividad. *Investigación Administrativa*. 48(124):1. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=456059299007>.



Optimización de las rutas comerciales de maíz 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 September 2024
Date accepted: 01 December 2024
Publication date: 10 January 2025
Publication date: Nov-Dec 2024
Volume: 15
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3535
DOI: 10.29312/remexca.v15i8.3535

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

capacidad de almacenamiento
comercio de maíz
costos de transporte de maíz
mercados agrícolas eficientes
reserva estratégica nacional de maíz

Counts

Figures: 2
Tables: 4
Equations: 2
References: 24
Pages: 0