

Modelo de transporte en México para la minimización de costos de distribución de tuna (*Opuntia* spp.) en fresco*

Transportation model in Mexico to minimize distribution costs of fresh prickly pear (*Opuntia* spp.)

Julio César Ayllon Benítez^{1§}, José Miguel Omaña Silvestre¹, Dora Ma. Sangerman-Jarquín², Laura Elena Garza Bueno¹, Juan Manuel Quintero Ramírez¹ y Felipe de Jesús González Razo³

¹Colegio de Postgraduados-Campus Montecillos. Carretera México-Texcoco km 36.5. C. P. 56230. Montecillo, Texcoco, Estado de México. Tel. 01 595 9520200. Ext. 1839. (miguelom@colpos.mx; garzal@colpos.mx; quintero.juan@colpos.mx). ²Campo Experimental Valle de México-INIFAP, km 18.5 carretera Los Reyes- Lechería, A. P. 10. C. P. 56230. Chapingo, Texcoco, Estado de México. Tel. y Fax. 01 800 088 2222. Ext. 85353. (sangerman.dora@inifap.gob.mx). ³Centro Universitario UAEM Temascaltepec-Universidad Autónoma del Estado de México. Carretera Toluca-Cd. Altamirano, Gro., km. 67.5., Col. Barrio de Santiago S/N, Temascaltepec, Estado de México. C. P. 51300. (fegora24@yahoo.com.mx). [§]Autor para correspondencia: julio.ayllon@colpos.mx.

Resumen

En México la zona centro es la mayor productora y consumidora de tuna a nivel nacional, en las zonas costeras, noreste, sur y sureste es bajo el consumo del fruto debido a la falta de distribución y al elevando costo de transporte a estas zonas geográficas. Esta investigación se realizó en 2014, con la finalidad de desarrollar un modelo que permita mejorar la distribución del producto a través de la minimización de costos del transporte de zonas productoras a las zonas consumidoras; obteniendo la óptima distribución y rutas para comercializar el producto, utilizando el modelo de transporte correspondiente a técnicas matemáticas de la programación lineal, basado en el método de costo mínimo donde asigna la mayor cantidad posible de oferta a menor costo unitario, planteándose dos escenarios el primero es la dinámica del mercado cerrado y el segundo muestra la solución de mercado abierto. En los resultados se observa que solo cinco estados son autosuficientes y tienen la capacidad de ofrecer sus excedentes a los estados demandantes, permitiéndoles participar en exportaciones en economía abierta, o industrializar en subproductos su excedente. Los costos de transporte demuestran como son proporcionales a las distancias recorridas, por lo cual a partir del modelo se activaron las rutas que permitieron minimizarlos.

Abstract

In Mexico the central area is the largest producer and consumer of prickly pear nationally, in coastal, northeast, south and southeast areas has low consumption of fruit due to the lack of distribution and to the high cost of transport to these geographic areas. This research was conducted in 2014 with the aim to develop a model to improve product distribution through minimization of transport costs from producing areas to consuming areas; obtaining optimal distribution and routes to market the product, using the appropriate transport model corresponding to mathematical techniques of linear programming, based on the least-cost method which assigns the highest amount possible of offer to lower unit cost, considering two scenarios, first is the closed market dynamics and second shows the open market solution. The results show that only five states are self-sufficient and have the capability to offer their surplus to the demanding states, enabling them to participate in open economy exports, or industrialize in sub products their surplus. Transportation costs demonstrate how these are proportional to the distances touring, so from the model were activated the routes that allowed to minimize them.

Keywords: linear programming, model, optimization.

* Recibido: enero de 2015
Aceptado: mayo de 2015

Palabras clave: modelo, optimización, programación lineal.

Introducción

El fruto del nopal tuna (*Opuntia* spp.) es carnoso, de forma ovoide a esférica, su tamaño y color varía según la especie; pueden ser verdes, blancas o rojas, tienen espinas finas y frágiles que miden entre dos y tres milímetros, la pulpa es gelatinosa y tiene muchas semillas (Flores *et al.*, 1995; Sumaya, 2010). Los nopales tuneros es una planta xerófila que se desarrollan en temperaturas de 12 a 34 °C y con precipitaciones de 400 a 800 mm al año (SIAP-SAGARPA, 2014; Zegbe *et al.*, 2014).

La producción de tuna en México tiene una gran variedad de oferta por la riqueza genética con la que se desarrolla el fruto con tonalidades rojo, blanco, amarillo, teniendo estacionalidad en frutos de maduración temprana en mayo, intermedia en agosto y tardía en noviembre (Méndez, 2006). Las variedades que se cultivan son alfajayacucan, amarilla, blanca burrón, blanca cristalina, criolla, pico chulo, roja, xoconostle y otras sin clasificar.

El cultivo de tuna en México para el periodo 2004-2013 respecto a los 16 principales frutales se ubica en el séptimo lugar por superficie sembrada y cosechada, el onceavo por producción y el catorceavo por valor de la producción. El total promedio de la superficie sembrada de los principales frutales es de 1 249 164.59 ha⁻¹, destinando 53 919.08 ha⁻¹ de nopal para producir tuna, representando 4.32% de la superficie sembrada, cosechando 46 737.34 ha⁻¹. Los estados que tuvieron mayores (TCMA) en sus cosechas de tuna fueron: Guanajuato con 9.55%, Puebla 6.98%, Jalisco 1.85% y últimamente Aguascalientes 1.59%. Guanajuato es el más dinámico en los últimos años, cosecho 1 707 ha⁻¹ más superando las 751 ha⁻¹ de 2004 para el cultivo de tuna. Mientras que San Luis Potosí y Querétaro han disminuido considerablemente en 1 657 ha⁻¹ y 492 ha⁻¹ respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2014). En el país los principales estados productores son el Estado de México, Zacatecas, Puebla e Hidalgo (Financiera Rural, 2011; Ramírez *et al.*, 2012).

En el periodo 2004-2013 el comportamiento del volumen de producción nacional fue de 397 467.55 t, en primer lugar se ubica el Estado de México con 152 129.13 t equivalente a una participación de 38.27%, seguido de Zacatecas con 117 625.46 t contribuyendo con 29.59%, Puebla 59 623.23

Introduction

The fruit of prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) is fleshy, ovoid to spherical, size and color varies by species; can be green, white or red, have thin and fragile prickles that measure between two and three millimeters, the pulp is gelatinous and has many seeds (Flores *et al.*, 1995; Sumaya, 2010). Prickly pear cactus is a xerophytic plant growing in temperatures from 12 to 34 °C and rainfall of 400 to 800 mm per year (SIAP-SAGARPA, 2014; Zegbe *et al.*, 2014).

Prickly pear production in Mexico has a wide variety of offer for the genetic wealth with which the fruit grows with red, white, yellow hues, bearing seasonality in fruit of early ripening in May, intermediate in August and late on November (Méndez, 2006). The varieties grown are alfajayacucan, amarilla, blanca Burrón, blanca cristalina, criolla, pico chulo, roja, xonocostle and other unclassified.

Prickly pear production in Mexico for the period 2004-2013 compared to 16 major fruit ranks seventh for sown and harvested surface, eleventh for production and fourteenth for production value. The total average of planted area from the main fruits is 1 249 164.59 ha⁻¹, allocating 53 919.08 ha⁻¹ to produce prickly pear cactus, representing 4.32% of the area planted, harvesting 46 737.34 ha⁻¹. The states that had higher (TCMA) in their prickly pear crops were: Guanajuato with 9.55%, Puebla 6.98%, Jalisco 1.85% and at last Aguascalientes 1.59%. Guanajuato is the most dynamic in recent years, harvesting 1 707 ha⁻¹ more surpassing 751 ha⁻¹ in 2004 for prickly pear; while San Luis Potosí and Querétaro decreased significantly by 1 657 ha⁻¹ and 492 ha⁻¹ respectively (SIAP-SAGARPA, 2014). In the country the main producing states are the State of Mexico, Zacatecas, Puebla and Hidalgo (Financiera Rural, 2011; Ramírez *et al.*, 2012).

In the period 2004-2013 the behavior of domestic production volume was 397 467.55 t, on first place the State of Mexico with 152 129.13 t equivalent to a participation of 38.27%, followed by Zacatecas with 117 625.46 t contributing 29.59 %, Puebla 59 623.23 t collaborating with 15% and in fourth place Hidalgo 28 418.29 t participating with 7.15%, together have 90% of the average national total. The remaining 10% with lower volumes is distributed among Jalisco with 11 925.23 t, Guanajuato 8 682.18 t, Aguascalientes 2 285.99 t, Tamaulipas 1 700.90 t, Querétaro 1 462.46 t and finally other states with only 965.34 t (SIAP-SAGARPA, 2014).

t colaborando con 15% y en cuarto lugar Hidalgo 28 418.297 t participando con 7.15%, juntos reúnen 90% del total nacional promedio. El 10% restante con volúmenes inferiores se encuentra distribuido entre Jalisco con 11 925.23 t, Guanajuato con 8 682.18 t, Aguascalientes 2 285.99 t, Tamaulipas 1 700.90 t, Querétaro 1 462.46 t y finalmente otros estados con solo 965.34 t (SIAP-SAGARPA, 2014).

Las tasas de crecimiento que representan contracciones en algunos estados y las variaciones porcentuales decrecientes en cuanto a la producción, ocurrieron en 2011 debido a una baja del 15.10% con respecto al 2010, teniendo este último una producción de 415 086.46 toneladas y el 2011 solo 352 374.15 t, viéndose recuperada para el año 2012 duplicándose a 527 627.12 t, que en términos porcentuales se expresan en 49.7% para después tener decremento en el 2013 por 487 375.29 t.

Los estados de la zona centro del país son los mayores productores del fruto, abasteciendo a las diferentes zonas consumidoras llevando su producción directamente a la central de abastos (CEDA), cuando estas se ubican a distancias considerables se incrementan significativamente por el costo del transporte (Flores *et al.*, 1995; Fundación Produce SLP, 2003) dejando fuera a los estados costeros y la región tropical de México (ASERCA, 2011). Por lo que es necesario aplicar estrategias para la comercialización, optimizando los recursos que permitan el balance de la oferta y la demanda a través de un modelo de transporte el cual se define como una clase de programación lineal que tiene que ver con transportar un artículo desde sus fuentes hasta sus destinos con el objetivo de minimizar el costo de transporte total al mismo tiempo que se satisfacen las restricciones de la oferta y la demanda de manera óptima (Taha, 2004; Hillier y Lieberman, 2010 y 2012).

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un modelo de distribución de la tuna en fresco, que permita la distribución óptima de zonas excedentarias a zonas deficitarias, minimizando el costo total de transporte de zonas origen a zonas destino. Las hipótesis fueron: 1) El costo de transporte se incrementa debido a que la producción de este fruto se lleva a cabo en áreas de producción significativamente distintas a las zonas consumidoras afectando directamente el precio del consumidor final; y 2) Al identificar las zonas oferta y demanda del producto es posible optimizar distribución en el mercado nacional activando rutas que permita la disminución en costo de las zonas productoras a los centros consumidores para la mejor asignación de la producción.

Growth rates representing contractions in some states and declining percentage variations in production occurred in 2011 due to a decrease of 15.10% compared to 2010, the latter having a production of 415 086.46 tons and in 2011 only 352 374.15 t, recovering for 2012, doubled to 527 627.12 t, which are expressed in percentage terms in 49.7% and then have a decrease in 2013 for 487 375.29 t.

The states from the central region of the country are the largest producers of fruit, supplying to the different consuming areas carrying their products directly to the central market (CEDA), when these are located at considerable distances, transport cost significantly increase (Flores *et al.*, 1995; Fundación Produce SLP, 2003) leaving out the coastal states and the tropical region of Mexico (ASERCA, 2011). So it is necessary to implement marketing strategies, optimizing resources to balance supply and demand through a transportation model which is defined as a class of linear programming that has to do with transportation of an item from the source to their destinations with the aim to minimize the total transportation cost and at the same time satisfying supply and demand restrictions optimally (Taha, 2004; Hillier and Lieberman, 2010 and 2012).

The objective of this research was to develop a distribution model of fresh prickly pear, allowing optimal distribution from surplus areas to shortage areas, minimizing the total cost of transportation from origin to destination areas. The hypothesis were: 1) Transportation cost increases because the production of this fruit is made out in significantly different production areas to consuming areas directly affecting the price of the final consumer; and 2) by identifying supply and demand areas is possible to optimize product distribution in the domestic market activating routes that allow to decrease production cost from origin to consumer centers for better allocation of production.

Materials and methods

A model was designed to minimize transportation costs, economic variables were included and the demand from the consumer centers, the capacity of the production units and transportation cost of the product to shortage areas was calculated, the theoretical basis of the model are from Hitchcock (1941) published in the article "The distribution of a product from several sources to Numerous Localities",

Materiales y métodos

Se diseñó un modelo para minimizar los costos del transporte, se incluyeron variables económicas y se calculó la demanda de los centros consumidores, la capacidad de las unidades de producción y el costo de traslado del producto hasta las zonas deficitarias, las bases teóricas de modelo parten de Hitchcock (1941) publicadas en el artículo "The distribution of a product from several sources to numerous localities", posteriormente por Koopmans (1951) "A model of transportation", y el método simplex el cual da resolución del problema (Dantzig, 1947). Actualmente se han encontrado algoritmos que resuelven el problema de una manera rápida (Alonso *et al.*, 1999).

Utilizando programación lineal se obtuvo la solución del modelo, a través del procedimiento de costo mínimo por el método de transporte, escrito en el lenguaje de programación LINDO 6.1 (Linear, Interactive and Discrete Optimizer), software diseñado para problemas de optimización de funciones lineales. En el procesamiento de datos se determinaron las variables de decisión del problema, la función objetivo, las restricciones lineales y las restricciones de no negatividad.

Formulación del modelo

De acuerdo al modelo las variables se expresan de la siguiente manera con (m) orígenes y (n) destinos. La cantidad de la oferta en el origen (i) es (E_m) y la demanda en el destino (j) es (D_n). El costo de transporte unitario entre el origen (i) y el destino (j) es (C_{ij}) finalmente (X_{ij}) representa la cantidad transportada desde el origen (i) al destino (j).

Cuando se determinan las cantidades ofertadas y demandas en cada uno de los estados de la República Mexicana (donde la expresión será (X_{mn}) para cada una de las restricciones y los costos de transporte de cada uno de los orígenes a cada uno de los destinos expresado por (C_{ij}). En el diseño del modelo la función objetivo se representa de la siguiente manera:

$$Y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Donde: $X_{ij} \geq 0$; $i = 1, 2, \dots, m$ (regiones productoras); $j = 1, 2, \dots, n$ (regiones consumidoras)

$$\text{Min } Y = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn}$$

then by Koopmans (1951) "a model of transportation"; and the simplex method which gives resolution of the problem (Dantzig, 1947). Currently there are algorithms that solve the problem in a quick manner (Alonso *et al.*, 1999).

Through linear programming the solution of the model was obtained by the method of least cost transportation method, written in the programming language LINDO 6.1 (Linear, Interactive and Discrete Optimizer) software designed for linear optimization problem. In data processing decision variables of the problem, the objective function, linear constraints and non-negativity restrictions were determined.

Model formulation

According to model variables are expressed as follows with (m) origin and (n) destinations. The supply amount at the origin (i) is (E_m) and demand in the destination (j) is (D_n). The unit transport cost between the origin (i) and destination (j) is (C_{ij}) finally (X_{ij}) represents the quantity transported from origin (i) to the destination (j).

Cuando se determinan las cantidades ofertadas y demandas en cada uno de los estados de la República Mexicana (donde la expresión será (X_{mn}) para cada una de las restricciones y los costos de transporte de cada uno de los orígenes a cada uno de los destinos expresado por (C_{ij}). En el diseño del modelo la función objetivo se representa de la siguiente manera:

When supply and demand quantities are determined in each of the states of the Mexican Republic (the expression will be (X_{mn}) for each of the restrictions and transportation costs in each of the origins to each of the destinations expressed by (C_{ij}). In the model design the objective function is represented as follows:

$$Y = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Where: $X_{ij} \geq 0$; $i = 1, 2, \dots, m$ (producing regions); $j = 1, 2, \dots, n$ (consuming regions)

$$\text{Min } Y = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn}$$

Where: Y = value of objective function; C_{ij} = unit transportation cost from the producing center i to the consumer center j; X_{ij} = number of units designed from

Donde: Y = valor de la función objetivo; C_{ij} = costo unitario de transporte desde el centro productor i al centro consumidor j ; X_{ij} = número de unidades destinadas desde el centro productor i al centro consumidor j ; X_{11} = representa la cantidad transportada desde el origen 1 al destino 1; X_{12} = representa la cantidad transportada desde el origen 1 al destino 2. Así sucesivamente hasta X_{mn} = representa la cantidad transportada desde el origen m al destino n .

Con estas consideraciones se forman las siguientes restricciones que condicionan a la función objetivo.

Sujeto a:

Oferta

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{1n} \leq E_1$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + \dots + X_{2n} \leq E_2$$

.....

.....

$$X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} + \dots + X_{mn} \leq E_m$$

Estas restricciones dicen que la producción de cada centro supera a la demanda, enviando solamente lo que demandan los centros consumidores.

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 centros productores son igual a la demanda de cada centro consumidor.

Estos grupos de ecuaciones plantean un sistema de $(m + n)$ ecuaciones con $(m \times n)$ incógnitas.

Donde: la primera parte para las restricciones de oferta expresan: X_{11} = representa la unidad transportada del origen 1 al destino 1; X_{12} = representa la unidad transportada del origen 1 al destino 2; y X_{mn} = representa la unidad transportada del origen m al destino n ; $E_i \leq$ cantidad demandada es menor o igual a la cantidad ofrecida.

En la segunda serie de restricciones referentes a demanda expresa: X_{11} = representa lo que recibirá el destino 1 de cada origen; X_{12} = representa lo que recibirá el destino 2 de

the producing center i to the consumer center j ; X_{11} : is the quantity transported from origin 1 to destination 1; X_{12} : is the quantity transported from origin 1 to destination 2. So on until X_{mn} = is the quantity transported from origin m to destination n .

With these considerations the following restrictions which condition the objective function are formed.

Subject to:

Supply

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{1n} \leq E_1$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + \dots + X_{2n} \leq E_2$$

.....

.....

$$X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} + \dots + X_{mn} \leq E_m$$

These restrictions say that the production of each center exceeds demand, sending only what consumer centers demand.

Demand

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + \dots + X_{m1} = D_1$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + \dots + X_{m2} = D_2$$

.....

.....

$$X_{1n} + X_{2n} + X_{3n} + \dots + X_{mn} = D_n$$

These restrictions indicate that the amounts sent from the different production centers are equal to each consumer center demand.

This group of equations poses a system of equations $(m + n)$ equations with $(m \times n)$ unknowns.

Where: the first part for supply restrictions expresses: X_{11} = is the unit transported from origin 1 to destination 1; X_{12} = is the unit transported from origin 1 to destination 2; and X_{mn} = is the unit transported from origin m to destination n ; $E_i \leq$ quantity demanded is less than or equal to the quantity supplied.

In the second series of restrictions concerning demand it expresses: X_{11} = represents what destination 1 will receive from each origin; X_{12} = represents what destination 2 will receive from each origin; X_{mn} = represents what destination n will receive from origins m ; D_j = demand in the respective consumption centers.

cada origen; X_{mn} representa lo que recibirá el destino n de los m orígenes; D_j = demanda en los respectivos centros de consumo.

El modelo descrito anteriormente indica que la oferta total supera a la demanda, en una economía cerrada donde la diferencia entre oferta y demanda se procesa o se industrializa ya que no recurre a mercado abierto.

$$Y = \sum_{i=1}^m E_i > \sum_{j=1}^n D_j$$

Para resolver la problemática de producción excedentaria fue necesario considerar un centro de consumo, el cual se le envíe la cantidad sobrante. En una economía abierta se tomaron los puntos frontera por donde sale el producto, cumpliendo la condición de que la suma de las ofertas coincide con la suma de las demandas, la formulación resultante fue un modelo de transporte balanceado.

$$Y = \sum_{i=1}^m E_i = \sum_{j=1}^n D_j$$

Los puertos fronterizos son expresados como nuevos estados demandantes con sus respectivos costos de transporte, integrando parte de la función objetivo, incluyéndose como: $C_{ij}F_{11} + C_{ij}F_{12} \dots + C_{ij}F_{mn}$, formando parte también de las restricciones de demanda, agregándose como: $X_1F_1 + X_2F_2 \dots + X_mF_n$.

La característica principal de este modelo difiere con el modelo general sólo en el hecho de que ahora todas las restricciones son ecuaciones.

La función objetivo es:

$$\text{Min } Y = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn} + C_{11}F_{11} + C_{12}F_{12} \dots + C_{mn}F_{mn}$$

Sujeto a:

Oferta

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{1n} + F_{1n} &= E_1 \\ X_{21} + X_{22} + X_{23} + \dots + X_{2n} + F_{2n} &= E_2 \\ &\dots \\ &\dots \\ X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} + \dots + X_{mn} + F_{mn} &= E_m \end{aligned}$$

Estas restricciones indican que la producción de cada centro es enviada totalmente a los centros consumidores.

The model described above indicates that the total supply exceeds demand, in a closed economy where the gap between supply and demand is processed or industrialized, since it does not use open market.

$$Y = \sum_{i=1}^m E_i > \sum_{j=1}^n D_j$$

To solve the problem of surplus production was necessary to consider a consumption center, to which will be sent the surplus. In an open economy the border points where the product is taken out were taken, fulfilling the condition that the sum of the supply coincides with the sum of the demands, the resulting formulation was a balanced transportation model.

$$Y = \sum_{i=1}^m E_i = \sum_{j=1}^n D_j$$

Border ports are expressed as new demand states with their respective transportation costs, integrating part of the objective function, including them as $C_{ij}F_{11} + C_{ij}F_{12} \dots + C_{ij}F_{mn}$, also part of the demand restrictions, added as $X_1F_1 + X_2F_2 \dots + X_mF_n$.

The main characteristics of this model differs from the general model only in the fact that now all the restrictions are equations.

The objective function is:

$$\text{Min } Y = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn} + C_{11}F_{11} + C_{12}F_{12} \dots + C_{mn}F_{mn}$$

Subject to:

Supply

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{1n} + F_{1n} &= E_1 \\ X_{21} + X_{22} + X_{23} + \dots + X_{2n} + F_{2n} &= E_2 \\ &\dots \\ &\dots \\ X_{m1} + X_{m2} + X_{m3} + \dots + X_{mn} + F_{mn} &= E_m \end{aligned}$$

These restrictions indicate that the production from each center is all sent to the consumer centers.

Demand

$$\begin{aligned} X_{11} + X_{21} + X_{31} + \dots + X_{1n} &= D_1 \\ X_{12} + X_{22} + X_{32} + \dots + X_{1n} &= D_2 \\ X_{13} + X_{23} + X_{33} + \dots + X_{1n} &= D_n \\ &\dots \\ &\dots \\ X_{1m} + X_{2m} + X_{3m} + X_{4m} + \dots + X_{mn} + F_{mn} &= D_n \end{aligned}$$

Demanda

$$X_{11}+X_{21}+X_{31}+\dots\dots\dots+X_{1n}=D_1$$

$$X_{12}+X_{22}+X_{32}+\dots\dots\dots+X_{1n}=D_2$$

$$X_{13}+X_{23}+X_{33}+\dots\dots\dots+X_{1n}=D_n$$

.....

.....

$$X_{1m}+X_{2m}+X_{3m}+X_{4m}+\dots\dots\dots+X_{mn}+F_{mn}=D_n$$

Estas restricciones indican que las cantidades enviadas desde los diferentes centros productores deben coincidir con la demanda de cada centro consumidor.

Datos

En el análisis de la producción nacional de tuna del 2013 se consideraron los 31 estados y el Distrito Federal, para determinar el superávit o déficit en producción de este fruto se consultó fuentes estadísticas de SIAP-SAGARPA (2014).

Para conocer la dinámica poblacional en México se consultó la población actual de la encuesta nacional de ocupación y empleo (ENOE) al cuarto trimestre de 2013 (INEGI, 2014).

El consumo nacional aparente se obtuvo sumando a la producción nacional las importaciones y restando las exportaciones. Para el consumo per cápita se dividió el (CNA) entre la población total nacional: consumo per cápita: $[CNA / \text{población total}]$.

Finalmente para el cálculo del consumo estatal se multiplico el consumo per cápita por el número de habitantes de cada entidad: consumo estatal = $[(\text{consumo per cápita}) (\text{población estatal})]$.

Para el cálculo de los costos de transporte terrestre de carga por carretera para camión con capacidad de 28 toneladas, se obtuvieron de la empresa dedicada al servicio público federal de carga regular nacional e internacional Transportes Avancarga (2014).

Calculando las tarifas de origen a destino cuando estas rebasan los 30 km de la siguiente manera: tarifa = $[2600 + 18(D)]$.

Donde la cifra 2 600 representa el costo de un flete local, el 18 es el costo por kilómetro recorrido, la letra D expresa la distancia, la cual se obtuvo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes de México (SCT, 2014). Finalmente al costo total se le agrego el Impuesto al Valor Agregado (IVA) que consta de 16% sobre el costo total del flete, caso de México.

These restrictions indicate that the amounts sent from the various production centers must match the demand of each consumer center.

Data

In the analysis of domestic production of prickly pear in 2013 were considered 31 states and the Federal District, to determine the surplus or deficit in the production of this fruit. Consulting statistics sources SIAP-SAGARPA (2014).

In order to know Mexico's population dynamics, the current population was consulted from the national survey of occupation and employment (ENOE) for the fourth quarter of 2013 (INEGI, 2014).

Apparent domestic consumption was obtained by adding to domestic production the imports minus exports. For per capita consumption divided (CAN) between total national population: per capita consumption: $[CNA / \text{total population}]$.

Finally to calculate state consumption, per capita consumption was multiplied by the number of inhabitants of each entity: state consumption = $[(\text{per capita consumption}) (\text{state population})]$.

For the calculation of land transport costs by trailer with capacity of 28 tons, were obtained from the company dedicated to federal public service of national and international transport Avancarga (2014).

Calculating rates from origin to destination when they exceed 30 km as follows: rate = $[2600 + 18 (D)]$.

Where the 2 600 figure represents the cost of a local freight, 18 is the cost per kilometer, letter D expresses the distance, which is obtained from the Secretariat of Communications and Transportation of Mexico (SCT, 2014). Finally to the total cost was added the Value Added Tax (IVA-TAX) which comprises 16% of total freight costs, in Mexico's case. To know the price per tonne, the total freight cost was divided by 28 tons, which corresponds to the capacity of the trailer used for each shipment.

As for foreign trade were consulted the statistics series of foreign trade of fruit tariff under study, exports, imports and output ports; in the government agency ASERCA (2014) through the General Coordination of Trade Promotion and Export Promotion.

Para conocer el precio por tonelada se dividió el costo total de flete entre 28 toneladas, cantidad que corresponde a la capacidad del camión utilizado para cada envío.

En materia de comercio exterior se consultaron series estadísticas de comercio exterior de la fracción arancelaria del fruto de estudio, exportaciones, importaciones y puertos de salida; en la dependencia gubernamental ASERCA (2014) a través de la Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones.

Resultados

La producción de tuna en 2013 fue de 487 375 t, superando al consumo nacional del mismo año estimado en 459 564 t, por lo que se tuvo superávit. El (CNA) se dividió entre la población estimada de 2013 de acuerdo a INEGI (2014) a través de la (ENOE), la cual fue de 118 896 009 habitantes, originando un consumo per cápita de 0.00386 t, presentando una TCMA de 3.6% en los últimos cuatro años al pasar de 3.47 kg a 3.86 kg.

Los estados que tuvieron excedente se consideraron en el modelo como orígenes y conformaron las restricciones de oferta y los que tuvieron déficit fueron los destinos formando parte de las restricciones de demanda, concluyendo que solo cinco son autosuficientes y tienen la capacidad de ofrecer sus excedentes a los otros estados demandantes, su oferta total es de 331 231 t quienes juntos cubren sus necesidad interna de consumo ya que tienen un excedente de 27 811 t, permitiéndoles participar en exportaciones o industrializar en subproductos (Cuadro 1).

Los mejores orígenes se determinaron a partir de los siguientes criterios: zona productora más cercana a los destinos consultando los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) de SAGARPA (2014). En el caso de Zacatecas el distrito que tiene mayor producción es Ojo Caliente, en el estado de México, Zumpango es el que mayores volúmenes registra.

En Puebla se seleccionó a Acatzingo, en Hidalgo se tiene mayor producción en los distritos de Huichapan, Mixquihuala, Pachuca y Tulancingo. Sin embargo, se consideró a la capital de la ciudad Pachuca por concentrar toda la producción de los distritos principalmente de Mixquihuala, en San Luis Potosí se produce la mayor parte, eligiéndose como punto de origen, ya que supera al distrito de Matehuala.

Results

Prickly pear production in 2013 was 487 375 t, exceeding domestic consumption of the same year estimated at 459 564 t, so there was a surplus. (CNA) was divided by the estimated population of 2013 according to INEGI (2014) through (ENOE), which was 118 896 009 inhabitants, resulting in a per capita consumption of 0.00386 t, presenting a TCMA of 3.6 % in the last four years, from 3.47 kg to 3.86 kg.

The states that had surplus are considered in the model as origins and are part of supply constraints and those with deficit were destinations as part of the demand constraints, concluding that only five are self-sufficient and have the capability to offer their surplus to other states with demand, its total supply is 331 231 t who together cover their domestic consumption needs as they have a surplus of 27 811 t, allowing them to participate in exports or to industrialize in sub-products (Table 1).

Cuadro 1. Estados origen y destino por disponibilidad de tuna, 2013.

Table 1. Origin and destination states by prickly pear availability, 2013.

Estados oferentes	Oferta (t)	Estados demandantes	Demanda (t)
Zacatecas	189 905	Distrito Federal	34 349
México	73 687	Veracruz	30 608
Puebla	52 145	Chiapas	19 886
Hidalgo	14 565	Aguascalientes	2 530
San Luis Potosí	930	Nuevo León	19 205
		Michoacán	17 550
		Jalisco	17 214
		Oaxaca	15 157
		Chihuahua	14 108
		Guerrero	13 655
		Baja California Norte	13 145
		Sinaloa	11 373
		Coahuila	11 223
		Sonora	11 082
		Tamaulipas	9 150
		Tabasco	9 060
		Yucatán	8 018
		Morelos	7 278
		Durango	6 708
		Querétaro	6 486
		Quintana Roo	5 805
		Tlaxcala	4 598
		Nayarit	4 549
		Campeche	3 423
		Baja California Sur	2 809
		Colima	2 718
		Guanajuato	1 734
Total	331 231		303 420

Fuente: datos de SIAP-SAGARPA (2014).

Para determinar los destinos el criterio principal fue ubicar las entidades con mayor población y ubicación específica de los centros de abasto, considerándose de la región consumidora una ciudad de destino abastecida por estados oferentes u orígenes.

Las ciudades de destino seleccionadas fueron conforme a la cantidad que demandan, ubicando la central de abasto o unidad mayorista que satisfaga su necesidad, para el Distrito Federal la delegación Iztapalapa, los restantes son: Veracruz, Ver., Tuxtla Gutiérrez, Chis., Aguascalientes, Ags., Monterrey, N. L., Morelia, Mich., Guadalajara, Jal., Oaxaca, Oax., Chihuahua, Chih., Acapulco, Gro., Tijuana B.C., Culiacán, Sin., Torreón, Coahuila., Hermosillo, Son., Tampico, Tamps., Villahermosa, Tab., Mérida, Yuc., Cuernavaca, Morelos., Durango, Dgo., Querétaro, Qro., Cancún Qroo., Apizaco, Tlax., Tepic, Nay., Campeche, Camp., La Paz, B. C., Manzanillo, Col., Irapuato, Gto.

A continuación se muestra en el Cuadro 2 los costos de transporte, expresados en peso por tonelada enviada de los cinco estados origen a los 27 estados destino, siendo proporcionales a las distancias recorridas.

Cuadro 2. Costos de transporte por tonelada transportada de origen a destino (\$ t⁻¹).

Table 2. Transportation costs per ton transported from origin to destination (\$ t⁻¹).

Origen/destino	Zacatecas	México	Puebla	Hidalgo	San Luis Potosí
Distrito Federal	545	148	234	180	411
Veracruz	838	434	287	420	704
Chiapas	1 162	758	611	744	1 028
Aguascalientes	168	457	601	494	261
Nuevo León	471	745	890	783	479
Michoacán	409	306	451	344	351
Jalisco	345	483	628	521	376
Oaxaca	885	480	334	466	751
Chihuahua	767	1 148	1 293	1 186	873
Guerrero	831	439	461	472	697
Baja California Norte	1 854	2 133	2 278	2 171	1 919
Sinaloa	714	993	1 138	1 030	885
Coahuila	441	822	967	1 456	547
Sonora	1 210	1 489	1 634	1 527	1 382
Tamaulipas	541	460	503	423	421
Tabasco	1 095	691	544	677	961
Yucatán	1 498	1 094	947	1 080	1 364
Morelos	606	214	248	247	472
Durango	370	752	896	789	476
Querétaro	387	238	383	275	260
Quintana Roo	1 732	1 328	1 181	1 314	1 598
Tlaxcala	615	211	174	197	481
Nayarit	495	633	778	671	526
Campeche	1 380	976	829	962	1 246
Baja California Sur	2 944	3 223	3 367	3 260	3 049
Colima	567	705	850	743	598
Guanajuato	312	315	460	353	254

Fuente: datos de transportes Avancarga (2014).

The best origins were determined based on the following criteria: nearest production area to destinations consulting the Rural Development Districts (DDR) from SAGARPA (2014). In Zacatecas case the district that has the highest production is Ojo Caliente, in the state of Mexico, Zumpango recorded greater volumes.

In Puebla Acatzingo was selected, in Hidalgo there is higher production in the districts of Huichapan, Mixquihuala, Pachuca and Tulancingo. However, the capital city of Pachuca was considered by concentrating all districts production mainly from Mixquihuala, in San Luis Potosí produces most, being selected as origin, as it exceeds the district of Matehuala.

To determine the destinations, the main criterion was to locate the states with highest population and specific location of the supply centers, considering the consuming region a destination city supplied by suppliers or origin states.

Destination cities were selected as the amount being demanded, placing the supply center or wholesale unit that meets their need, for Federal District was Iztapalapa,

De acuerdo a los resultados obtenidos de LINDO 6.1, la solución óptima representa la cantidad en toneladas que debe distribuirse de cada origen (i) a cada destino (j), que minimizan la función objetivo de acuerdo a los costos de transporte en condiciones de mercado cerrado (Cuadro 3).

Al realizar el análisis se muestra que Zacatecas es el primer lugar, abasteciendo 53% de la nación, siendo el más participativo, autosuficiente y tiene la capacidad de distribuir a 17 estados deficitarios de la República Mexicana como: Monterrey Nuevo León (19 205 t), Morelia Michoacán (17 550 t), Guadalajara Jalisco (17 214 t), Chihuahua (14 108 t), Tijuana Baja California Norte (13 145 t), Culiacán Sinaloa (11 373 t). Su mercado incluye a Torreón Coahuila (11 223 t), Hermosillo Sonora (11 082 t), Acapulco Guerrero (10 510 t), Tampico Tamaulipas (9 150 t), Durango (6 708 t), Querétaro (6 486 t), Tepic Nayarit (4 549 t), La Paz Baja California Sur (2 809 t), Manzanillo Colima (2 718 t) Aguascalientes (2 530 t), e Irapuato Guanajuato (1 734 t).

El Estado de México figura como el segundo productor más importante con superficies establecidas en la región de Zumpango quien abastece inmediatamente al Distrito Federal (34 349 t), Chiapas (19 886 t), Morelos (6 348 t), Tlaxcala (4 598 t), Veracruz (4 769 t), Guerrero (3 145 t) y Oaxaca (592 t).

Mientras el estado productor de Puebla distribuye principalmente a estados colindantes como Veracruz (25 839 t), Tabasco (9 060 t), Yucatán (8 018 t), Quintana Roo (5 805 t) y en último a Campeche con (3 423 t).

El cuarto productor es Hidalgo abasteciendo la cantidad faltante demandada de Oaxaca enviando (14 565 t), mientras San Luis Potosí quien ocupa el último lugar con cantidad disponible para ofertar envía en su totalidad al estado de Morelos (930 t) de producción.

En el modelo de mercado abierto los estados oferentes siguen siendo cinco y a los 27 demandantes se sumaron cuatro puntos frontera de salida hacia los EE.UU los cuales son: Mexicali Baja California Norte, Nogales Sonora, Ciudad Juárez Chihuahua y Nuevo Laredo Tamaulipas considerados como demandantes de la producción excedente resultante de 27 811 t, los cuales fungen como centros de consumo absorbiendo la diferencia entre oferta y demanda, con sus respectivos costos de transporte (Cuadro 4).

the remaining are: Veracruz, Ver, Tuxtla Gutierrez, Chis, Aguascalientes, Ags., Monterrey, N. L., Morelia, Mich., Guadalajara, Jal., Oaxaca, Oax., Chihuahua, Chih., Acapulco, Gro., Tijuana, B. C., Culiacan, Sin., Torreon, Coahuila., Hermosillo, Son. Tampico, Tamps., Villahermosa, Tab., Merida, Yuc., Cuernavaca, Morelos., Durango, Dgo., Queretaro, Qro., Cancun Qroo., Apizaco, Tlax., Tepic, Nay., Campeche, Camp., La Paz, B.C., Manzanillo, Col., Irapuato, Gto.

Table 2, shows transportation costs, expressed in weight per ton sent from five origin states to 27 destination states, being proportionate to the distances covered.

According to the results of LINDO 6.1, the optimal solution is the quantity in tonnes that has to be distributed from each origin (i) to each destination (j), minimizing the objective function according to transportation costs in closed market conditions (Table 3).

Cuadro 3. Distribución óptima de modelo cerrado, 2013.
Table 3. Optimal distribution of closed model, 2013.

Origen (i)	Destino (j)
Zacatecas	Aguascalientes, Nuevo León, Michoacán, Jalisco, Chihuahua, Guerrero, Baja California Norte, Sinaloa, Coahuila, Sonora, Tamaulipas, Durango, Querétaro, Nayarit, Baja California Sur, Colima, Guanajuato
México	Distrito Federal, Veracruz, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Morelos, Tlaxcala
Puebla	Veracruz, Tabasco, Yucatán, Quintana Roo, Campeche
Hidalgo	Oaxaca
San Luis Potosí	Morelos

Fuente: datos obtenidos de Linear, Interactive and Discrete Optimizer (LINDO 6.1).

When conducting the analysis it shows that Zacatecas has the first place, supplying 53% of the nation, being the most participative, self-sufficient and has the ability to distribute to 17 shortage states from Mexico such as Monterrey Nuevo Leon (19 205 t) Morelia Michoacan (17 550 t), Guadalajara Jalisco (17 214 t), Chihuahua (14 108 t), Tijuana, Baja California Norte (13 145 t), Culiacan, Sinaloa (11 373 t). Its market includes Torreón Coahuila (11 223 t), Hermosillo Sonora (11 082 t), Acapulco Guerrero (10 510 t), Tampico,

Cuadro 4. Costos de transporte de origen a los puntos frontera destino (\$ t⁻¹).**Table 4. Transportation cost from origin to destination border points (\$ t⁻¹).**

Destino / origen	Zacatecas	México	Puebla	Hidalgo	San Luis Potosí
Mexicali	1 727	2 006	2 151	2 044	1 792
Nogales	1 418	1 697	1 842	1 734	1 590
Cd. Juárez	1 030	1 411	1 555	1 448	1 135
Nvo. Laredo	636	910	1 055	948	644

Fuente: datos de la empresa transportes Avancarga (2014).

En condiciones de economía de mercado abierto Zacatecas no presenta cambios, distribuye a los mismos estados y tiene la posibilidad de exportar el excedente. En el Cuadro 5 se muestra el plan óptimo de distribución.

Tamaulipas (9150 t), Durango (6708 t), Querétaro (6486 t) Tepic Nayarit (4549 t), La Paz, Baja California Sur (2809 t), Manzanillo Colima (2718 t) Aguascalientes (2530 t), and Irapuato Guanajuato (1734 t).

Cuadro 5. Distribución óptima de modelo abierto, 2013.**Table 5. Optimum distribution of open model, 2013.**

Origen (i)	Destino (j)
Zacatecas	Aguascalientes, Nuevo León, Michoacán, Jalisco, Chihuahua, Guerrero, Baja California Norte, Sinaloa, Coahuila, Sonora, Tamaulipas, Durango, Querétaro, Nayarit, Baja California Sur, Colima, Guanajuato, Nvo. Laredo
México	Distrito Federal, Oaxaca, Guerrero, Tabasco, Morelos, Quintana Roo, Tlaxcala, Campeche
Puebla	Veracruz, Chiapas, Campeche
Hidalgo	Tabasco, Yucatán
San Luis Potosí	Morelos

Fuente: datos obtenidos de Linear, Interactive and Discrete Optimizer (LINDO 6.1).

A continuación se muestran las diferencias del mercado abierto respecto a mercado cerrado:

El estado origen de Zacatecas aumenta participación al 57.3% al abastecer al mercado externo de los EE.UU por la frontera norte de Nuevo Laredo Tamaulipas enviando 27 811 t. Esta frontera es la más óptima, las demás no presentan condiciones de distribución por estar distantes de las zonas orígenes.

El segundo estado mejor ubicado productor es el Estado de México, abasteciendo la región centro y sur del país enviando a Distrito federal (34 349 t), Oaxaca (15 157 t), Acapulco Guerrero (3 145 t), Tabasco (2 513 t), Cuernavaca Morelos (6 348 t), Quintana Roo (5 805 t), Tlaxcala (4 598 t) y por ultimo a Campeche (1 772 t). Deja de distribuirle a Veracruz y a Chiapas ahora el encargado de abastecer esos destinos es el estado productor Puebla. Asimismo esta zona productora aumento la cantidad enviada a Oaxaca pasando de 592 t a 15 157 t, y tiene la posibilidad de enviarle a Tabasco, Quintana Roo y Campeche, distribuyendo la misma cantidad en Guerrero, Morelos y Tlaxcala.

The State of Mexico was the second largest producer with established surface in the region of Zumpango who immediately supplies the Federal District (34 349 t), Chiapas (19 886 t), Morelos (6348 t), Tlaxcala (4598 t), Veracruz (4769 t), Guerrero (3145 t) and Oaxaca (592 t).

In the meantime Puebla ranks third distributing to neighboring states like Veracruz (25 839 t), Tabasco (9060 t), Yucatán (8018 t), Quintana Roo (5805 t) and last to Campeche (3423 t).

Hidalgo is the fourth largest producer supplying the missing quantity demanded by Oaxaca sending (14565 t), while San Luis Potosi ranks last sending most of its product to the state of Morelos (930 t).

In the open market model the supply states are still five and to the 27 demand states were added four exit border points towards the US which are: Mexicali, Baja California Norte, Nogales Sonora, Ciudad Juarez, Chihuahua and Nuevo Laredo Tamaulipas considered as demand states of

Puebla figura como el tercer distribuidor al abastecer la zona sur, en su mercado incluye a Veracruz y satisface totalmente a Chiapas lo cual en el modelo de mercado cerrado hacía el Estado de México, su producción la distribuye de la siguiente manera: Veracruz (30 608 t), Tuxtla Gutiérrez Chiapas (19 886 t) y Campeche (1 651 t).

Hidalgo tiene desventajas por la colindancia con los principales estados productores como la región de Zumpango México y Acatzingo Puebla provocando que tenga que transportar su producción a estados distantes como la península de Yucatán (8 018 t) y Tabasco (6 547 t). Mientras que en mercado cerrado mandaba su totalidad al estado de Oaxaca.

Finalmente se encuentra San Luis Potosí, el cual no presenta cambios debido a la falta de condiciones para distribuir, sigue enviando su excedente a Morelos (930 t), situación que provoca incompetencia porque está situado cerca del primer estado productor más importante que es Zacatecas; asimismo, Hidalgo.

Discusión

Antonio *et al.* (2012) utilizó un modelo de equilibrio espacial para determinar costos de transporte en la distribución de durazno en México, estableciendo dos escenarios: uno base y otro con aumento de 20% en la producción, identificando que un aumento en la producción reduce los costos de transporte y se tiene una mejor distribución, asimismo como las importaciones ayudan a abastecer zonas que por lejanía de zonas productoras su acceso es más pronto. Condiciones de producción deficitaria en el abasto de algunas frutas se ven fortalecidas por el comercio con otros semejantes, en relación a la tuna las condiciones agroclimáticas y la concentración de la producción en algunos meses, hizo que el país en 2013 presentara superávit, distribuyendo perfectamente el consumo total en economía de mercado cerrado.

En materia de comercio exterior México abastece a las poblaciones del sur y del centro de EE.UU; sin embargo, presenta un problema competitivo en el transporte impidiendo eficiencia y rapidez que se refleje en costos menores debido a las rutas trazadas (Flores *et al.*, 1995; Fundación Produce SLP, 2003). De acuerdo a la CEPAL (2004) en el caso del transporte terrestre para América Latina, existe escasa información impactando directamente al pequeño transportista y al productor. Para los pequeños productores es una variable

resulting surplus production of 27 811 t, which serve as consumption centers absorbing the difference between supply and demand, with their respective transportation costs (Table 4).

Under conditions of open market economy, Zacatecas does not present changes, distributing to the same states and has the ability to export its surplus. Table 5 shows the optimum distribution plan.

The differences from open market regarding closed market are as follows:

The origin state of Zacatecas increases its participation to 57.3% by supplying the US market through the northern border of Nuevo Laredo Tamaulipas, sending 27 811 t. This border is the most optimal the rest do not present distribution conditions for being distant from the origin areas.

The second producer state best located is the State of Mexico, supplying the center and south of the country sending to Federal District (34 349 t), Oaxaca (15 157 t), Acapulco Guerrero (3 145 t), Tabasco (2 513 t), Cuernavaca Morelos (6 348 t), Quintana Roo (5 805 t), Tlaxcala (4 598 t) and last to Campeche (1 772 t). It stops distributing to Veracruz and Chiapas, now the responsible of supplying these destinations is Puebla. Also this production area increased the amount sent to Oaxaca going from 592 t to 15 157 t, and has the possibility to supply Tabasco, Quintana Roo and Campeche, distributing the same amount in Guerrero, Morelos and Tlaxcala.

Puebla ranks third as distributor to supply the south, in its market includes Veracruz and fulfills Chiapas demand which in the closed market model is what the State of Mexico did, its production is distributed as follows: Veracruz (30 608 t), Tuxtla Gutierrez (19 886 t) and Campeche (1 651 t).

Hidalgo has disadvantages for the neighboring with the main producing states like the region of Zumpango Mexico and Acatzingo Puebla causing to ship its production to distant states such as Yucatan (8 018 t) and Tabasco (6 547 t). While in closed market it sends all of its production to the state of Oaxaca.

Finally San Luis Potosi, which does not present changes due to the lack of conditions to distribute, continues to send its surplus to Morelos (930 t), a situation causing incompetence because it is located near the number one producer Zacatecas and also, Hidalgo.

relevante debido a que normalmente se encuentran alejados de la carretera central, factor que encarece el costo de transporte principalmente por el bajo mantenimiento de las rutas laterales (Alvear y Rodríguez, 2006). En el segundo modelo en mercado abierto se hace una mejor redistribución y además se puede exportar sin alterar los costos nacionales y los costos de envío hacia EE.UU. En esta investigación, se propone de acuerdo a lo referido por los autores antes mencionados que debe existir relación directa de productor y transportista para aumentar su capacidad de negociar precios por volúmenes para lograr economías de escala, evitando la oscilación de precios en las distintas plazas con menos participación de intermediarios en la distribución.

Conclusiones

El modelo determinó las mejores zonas orígenes y zonas destino, procurando el costo mínimo de transporte. La ciudad de México, Distrito Federal, Veracruz, Jalisco, Puebla, Nuevo León y Guanajuato son las zonas que concentran la mayor demanda debido a su gran densidad poblacional. En condiciones de mercado cerrado, la producción y distribución deben ser eficientes para el país, indicando como el excedente puede ser transformado o procesado en subproductos, este modelo es importante considerarlo cuando no se pueda recurrir al comercio internacional por posibles disoluciones de tratados comerciales con otros países, cierre de puertos, fronteras, aduanas y políticas de proteccionismo de parte de los naciones.

En economía de mercado abierto se activó como mejor ruta para exportar la frontera de Nuevo Laredo Tamaulipas, debido a la minimización de los costos de transporte, al enviar el excedente de producción Zacatecas ubicado a 707.9 km de distancia. En este escenario los puntos fronterizos de Mexicali Baja California Norte, Nogales Sonora y Cd. Juárez Chihuahua no presentan condiciones óptimas.

A través del modelo se comprobó que los costos de transporte son proporcionales a las distancias, en el caso de estados alejados de los centros productores u oferentes hace que su consumo sea aún más bajo debido a los altos costos de transporte para llevar el producto, tal es el caso de estados del sureste como Yucatán, Campeche, Chiapas, siguiéndole los ubicados en el norte del país, además de una clara restricción de distribución de algunos estados productores por la colindancia de importantes estados productores impidiendo competir.

Discussion

Antonio *et al.* (2012) used a spatial equilibrium model to determine transport costs in the distribution of peach in Mexico, establishing two scenarios, one base and another with a 20% increase in production, identifying that an increase in production reduces transport costs and has an improved distribution, as imports also help to supply areas that by remoteness from production areas its access is sooner. Underproduction conditions in the supply of some fruits are strengthened by trade with others in similar conditions, regarding to prickly pear agro-climatic conditions and the concentration of production in a few months, made the country in 2013 to present a surplus, perfectly distributing total consumption in closed market economy.

Related to foreign trade, Mexico supplies southern and central US populations; however, it presents a competitive problem in transportation, preventing efficiency and promptness that is reflected in lower costs due to mapped routes (Flores *et al.*, 1995; Fundación Produce SLP, 2003). According to CEPAL (2004) for land transport in Latin America, there is scarce information is the direct impact to the small transporter and producer. For small producers is an important variable because they usually are located away from the main road, factor that increases transport cost mainly by the low maintenance of the side routes (Alvear and Rodríguez, 2006). In the second model for open market a better redistribution is made and also it can be exported without altering national costs and shipment costs to US. In this research, it is proposed according to that reported by the aforementioned authors that it must exist a direct relationship between producer and transporter to increase their capability to negotiate prices by volume to achieve scale economies, avoiding price fluctuations in the various markets with less involvement from intermediaries in the distribution.

Conclusions

The model determined the best origin and destination areas, seeking the least transport cost. Mexico City, Federal District, Veracruz, Jalisco, Puebla, Guanajuato and Nuevo Leon are the areas that concentrate greater demand due to its high population density. In closed market conditions, production and distribution should be efficient for the country, indicating how the surplus can be transformed

Literatura citada

- Alonso, S. R.; Serrano, B. A y Alarcón, L. S. 1999. La logística en la empresa agroalimentaria. Primera edición. Edit. Mundi - prensa. México, D. F. 210 p.
- Alvear, V. S. y Rodríguez, C. P. 2006. Estimación del costo por kilómetro y de los márgenes de una empresa de transporte de carga, para la industria agrícola, Región del Maule, Chile. *Panorama Socioeconómico*. 24(32): 48-57.
- Antonio, G. J.; García, S. J. A.; Chalita, T. L. E.; Matus, G. J. A.; Cruz, G. B.; Sangerman-Jarquín, D. M.; Portillo, V. M. y Fortis, H. M. 2012. Modelo de equilibrio espacial para determinar costos de transporte en la distribución de durazno en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3(4):701-712.
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios). 2011. Nopal y tuna, una mirada a su realidad actual. *Revista Claridades Agropecuarias*. 213:3-12.
- ASERCA (Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios). 2014. Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones. 243:45:78.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2004. Liberalización comercial agrícola con costos de transporte y transacción elevados: evidencia para América Latina. Serie Desarrollo productivo. Núm. 160. 49 p.
- Flores, V. C. A.; de Luna, E. J. M. y Ramírez, M. P. P. 1995. Mercado Mundial de la tuna. Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA). Universidad Autónoma Chapingo (UACH). Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial (CIESTAAM). 119 p.
- Financiera Rural (FR). 2011. Monografía del nopal y la tuna. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial (consultado enero, 2014). [http://www.financiarurual.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna\(jul11\).pdf](http://www.financiarurual.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna(jul11).pdf).
- Fundación Produce San Luis Potosí A. C. 2003. Programa estratégico de necesidades de investigación y transferencia de tecnología en el Estado de San Luis Potosí. Etapa II. Caracterización de la cadena agroalimentaria del nopal tunero e identificación de sus demandas tecnológicas. Colegio de Postgraduados Campus San Luis Potosí. 71 p.
- Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. 2010. Introducción a la investigación de operaciones. Novena Edición. Mc Graw Hill. México. 282-285 pp.
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2013. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), al cuarto trimestre de 2013.
- Méndez, G. S. J. y García- Herrera, J. 2006. La tuna: producción y diversidad. *CONABIO. Biodiversitas* 68:1-5.
- Ramírez, P. J.; Sosa, L. R. y Santos, A. B. 2012. Plan rector del sistema producto nopal y tuna del estado de Michoacán. Comité estatal del sistema producto nopal y tuna del estado de Michoacán, A. C. 4-59 pp.

or processed in sub-products, this model is important to consider it when it cannot turn to international trade for possible dissolution trade agreements with other countries, closing ports, borders, customs and protectionism policies from other nations.

In open market economy the border from Nuevo Leon Tamaulipas was activated as the best route to export, due to minimizing transportation costs by sending surplus production to Zacatecas located at 707.9 km away. In this scenario the border points of Mexicali Baja California Norte, Nogales Sonora and Cd. Juarez Chihuahua do not present optimal conditions.

Through the model it was found that transport costs are proportional to the distances, in the case of states away from production or supply centers make their consumption even lower due to high transport costs to bring the product, such as the the case of southeastern states like Yucatan, Campeche, Chiapas, followed by those located in the north, besides a clear restriction of distribution of some producing states by neighboring major producing states preventing them to compete.

End of the English version



- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2014. Cierre de la producción agrícola. Anuario estadístico de la producción agrícola, cultivo tuna. (<http://www.siap.gob.mx/tuna/>).
- SCT (Secretaría de comunicaciones y transportes). 2014. Trazar ruta. <http://www.sct.gob.mx/carreteras-v2/servicios/traza-tu-ruta/>.
- Sumaya, M. M.; Suárez, D. T.; Cruz, C. N.; Alanís, G. E. y Sampedro, J. G. 2010. Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. *Rev. Mex. Agron.* 14(27):435-441.
- Taha, H. A. 2004. Investigación de operaciones. Séptima Edición. Pearson Education de México. México. 165 p.
- Taha, H. A. 2012. Investigación de operaciones. Novena Edición. Pearson Education de México. México. 175 p.
- Transportes Avancarga. 2014. Rutas y tarifas, servicio público federal de carga regular nacional. <http://www.paginasprodigy.com.mx/avancarga/>.
- Zegbe, J. A.; Sánchez, T. B.; Serna, P. A. y Mena, C. J. 2014. Análisis económico de la aplicación de fertilizantes minerales en el rendimiento del nopal tunero. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5(3):449-461.