

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ECONOMÍA

MODELO DE TRANSPORTE PARA LA LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN DE TUNA (*Opuntia* spp.) EN FRESCO EN MÉXICO.

JULIO CÉSAR AYLLÓN BENÍTEZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

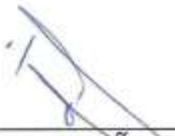
2015

La presente tesis titulada: **"Modelo de transporte para la logística de distribución de tuna (*Opuntia spp*) en fresco en México"** realizada por el alumno: Julio César Ayllón Benítez, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA
ECONOMIA


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. JOSÉ MIGUEL OMAÑA SILVESTRE

ASESOR



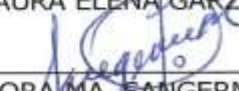
M Sc. BARTOLOMÉ CRUZ GALINDO

ASESOR




DRA. LAURA ELENA GARZA BUENO

ASESOR



DRA. DORA MA. SANGERMAN JARQUÍN

ASESOR



DR. FELIPE DE JESÚS GONZÁLEZ RAZO

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Marzo de 2015

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo brindado infinitamente en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo.

A la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Asimismo, a la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA).

Al Dr. José Miguel Omaña S., por la dirección y apoyo constante, siendo parte importante en mi formación diaria, siempre dispuesto a compartir experiencia y conocimiento para ver culminado este trabajo.

Al M.Sc. Bartolomé Cruz G. Agradezco los consejos valiosos, sugerencias y recomendaciones brindadas siempre durante la investigación.

Dra. Laura Elena Garza B. Gracias por haberme transmitido grandes ideas y conocimiento tan valioso en el colegio.

Dra. Dora Ma. Sangerman J. Agradezco conocerla porque siempre está dispuesta a ofrecer su experiencia, preocupada por formar mejores personas profesionales.

Dr. Felipe de Jesús González R., por haberme conducido académicamente e iniciado este proyecto tan importante llamado trascendencia.

A los doctores que imparten clases en el postgrado de economía, por sus inigualables cátedras, aprendiendo algo nuevo siempre. A Mag, amigos y amigas que siempre estuvieron conmigo en las situaciones buenas y difíciles.

Dedicatorias

A mis queridos padres Rafael y Albina por haberme enseñado la humildad del ser humano, preocupándose siempre por la familia y que con su sabio aprendizaje me ayudan a ser mejor. A mis hermanos Rafa y Jenny, por supuesto, sin olvidar a mis sobrinos y sobrinas, gracias por sus palabras de ánimo, infinitamente los quiero mucho.

A mi abuela Eva[†] siempre la llevaré presente en mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	3
1.2 Planteamiento del problema.....	5
1.3 Justificación.....	7
1.4 Objetivos	9
1.4.1 Objetivo general	9
1.4.2 Objetivos específicos	9
1.5 Hipótesis	10
1.6 Metodología.....	10
II. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO	11
2.1 Revisión de literatura.....	11
2.2 La logística	12
2.2.1 Logística en los negocios y la cadena de suministro	14
2.2.2 La cadena de suministro	15
2.2.3 Importancia de la logística	17
2.2.4 Objetivos de la logística	18
2.2.5 Estrategia y planeación de la logística	19
2.3 Estrategia de la logística en el transporte	20
2.4 Situación actual de la infraestructura logística en México	22
2.5 Logística de distribución	26
2.5.1 Asignación de recursos	27
2.6 La oferta	28
2.7 La demanda	30
2.8 Investigación de operaciones	31
2.8.1 Programación lineal	32
2.8.2 Solución de modelos.....	35
2.8.3 Modelo de transporte	36
2.9 Metodología.....	40
2.9.1 Formulación del modelo	41
2.9.2 Datos generales y fuentes de información	47
III. SITUACIÓN DEL MERCADO DE LA TUNA	50
3.1 Antecedentes	50
3.2 Situación en el mercado internacional.....	55
3.3 Situación en el mercado nacional.....	60
3.4 Superficie sembrada y cosechada de tuna	65
3.5 Producción de tuna	68
3.6 Valor de la producción, rendimiento y precio medio rural de tuna.....	70
3.7 Exportaciones de tuna mexicana	72

IV. PROCESAMIENTO DEL MODELO DE TRANSPORTE	79
4.1 Resultados del modelo, origen y destino de las principales zonas productoras, centros de consumo y costos de transporte	80
4.2 Cálculo del costo de transporte de origen a destino.....	88
4.3 Modelo de distribución en economía de mercado cerrado	90
4.3.1 Valor óptimo	92
4.3.2 Solución óptima.....	93
4.3.3 Análisis de sensibilidad informe	96
4.4 Modelo de distribución en economía de mercado abierto	100
4.4.1 Valor óptimo	106
4.4.2 Solución óptima.....	106
4.4.3 Análisis de sensibilidad informe	110
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	117
5.1 Conclusiones.....	117
5.2 Recomendaciones.....	119
BIBLIOGRAFÍA.....	121
REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.....	127
ANEXOS	130
Anexo 1. Distancia en kilómetros de origen a destino.....	130
Anexo 2. Distancia en kilómetros de origen a los puntos frontera destino.	130
Anexo 3. Solución óptima de mercado cerrado.....	131
Anexo 4. Solución óptima de mercado abierto.....	137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Indicadores básicos del total de unidades mayoristas	24
Cuadro 3.1. Países productores de nopal tuna y sus características año 2000.	56
Cuadro 3.2. Superficie sembrada de los principales frutales 2004-2013. Miles de hectáreas.....	61
Cuadro 3.3. Volumen de producción de los principales frutales en México 2013. Miles de toneladas.....	62
Cuadro 3.4. Valor de la producción de los principales frutales en México 2013. Miles de pesos.....	64
Cuadro 3.5. Superficie sembrada de tuna 2004-2013. Miles de hectáreas	66
Cuadro 3.6. Superficie cosechada de tuna 2004-2013. Miles de hectáreas.....	67
Cuadro 3.7. Producción de tuna 2004-2013. Miles de toneladas.	69
Cuadro 3.8. Precio medio rural (PMR) de tuna 2004-2013. Miles de pesos.....	71
Cuadro 3.9. Principales destinos de exportaciones de tuna mexicana 2004-2013. Toneladas.....	74
Cuadro 3.10. Valor de las exportaciones de tuna mexicana a los principales destinos 2004-2013. (USD/ton).	75
Cuadro 3.11. Principales puertos de salida de las exportaciones 2004-2013. Toneladas.....	78
Cuadro 4.1. Estados oferentes y demandantes de tuna, 2013.....	83
Cuadro 4.2. Estados origen y destino por disponibilidad de tuna, 2013.	85
Cuadro 4.3. Ciudades de destino con demanda insatisfecha y centrales de abasto.87	
Cuadro 4.4. Costos de transporte por tonelada transportada de origen a destino (\$/ton).	89
Cuadro 4.5. Distribución óptima de modelo cerrado, 2013.....	93
Cuadro 4.6. Costos de transporte de origen a los puntos frontera destino (\$/ton). 105	
Cuadro 4.7. Distribución óptima de modelo abierto, 2013.	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Representación del modelo de transporte con nodos y arcos.....	36
Figura 4.1. Red de distribución de estados oferentes de tuna en mercado cerrado...95	
Figura 4.2. Red de distribución de estados oferentes de tuna en mercado abierto.110	

MODELO DE TRANSPORTE PARA LA LOGÍSTICA DE DISTRIBUCIÓN DE TUNA (*Opuntia* spp.) EN FRESCO EN MÉXICO.

Ayllon Benítez Julio César, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2015.

RESUMEN

En México la zona centro es la mayor productora 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, 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, asignando la mayor cantidad posible de oferta a menor costo unitario de zonas productoras a zonas consumidoras, 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, los cuales tienen la capacidad de ofrecer sus excedentes a los estados demandantes. Los costos de transporte demuestran como son proporcionales a las distancias recorridas, principalmente los estados productores del centro de la República Mexicana, existiendo clara restricción de distribución por su ubicación, por lo cual a partir del modelo se activaron las rutas que permitieron minimizarlos.

Palabras clave: optimización, programación lineal, modelo.

TRANSPORT MODEL FOR THE LOGISTICS OF FRESH PRICKLY PEAR (*Opuntia* spp.) DISTRIBUTION IN MEXICO

Ayllon Benítez Julio César, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2015.

ABSTRACT

The central part of Mexico is the national major producer of prickly pear; in the coastal areas, northeast, south and southeast, the consumption of this fruit is low due to lack of distribution and the high cost of transportation to these geographical zones. This research was carried out in 2014, using the optimum distribution and routes to trade the product, using the transport model that corresponds to mathematical techniques of linear programming, based on the minimum cost method, providing the widest possible offer at a lower unit cost from producer to consumption zones. It raised two sceneries, the first one is the closed market dynamic and the second one shows the solution of the open market. According to the results, it can be observed that only five states are self-sufficient, which have the capacity to offer their surplus to the demanding states. The costs of transportation demonstrate how they are proportional to the distances covered, mainly in the producer states of the central part of the Mexican Republic; it shows the existence of a clear restriction of distribution by its location, that is why, from this model, it was necessary to activate the routes that allowed to reduce the costs.

Key words: optimization, linear programming, model.

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de tuna en México para el periodo 2004-2013 respecto a los principales frutales se ubicó en el séptimo lugar por superficie sembrada y cosechada, el onceavo por producción y el catorceavo por valor de la producción.

El promedio del volumen de producción en el periodo 2004-2013 fue de 397,467.55 toneladas, siendo cuatro estados más participativos, en primer lugar está México con 152,129.13 ton con una participación de 38.27%, seguido de Zacatecas con 117,625.46 ton contribuyendo con el 29.59%, Puebla 59,623.23 ton colaborando con 15% y en cuarto lugar Hidalgo 28,418.297 ton participando con el 7.15%, juntos reúnen el 90% del total nacional promedio. El 10% restante con volúmenes inferiores se encuentra distribuido entre Jalisco con 11,925.23 ton, Guanajuato con 8,682.18 ton, Aguascalientes 2,285.99 ton, Tamaulipas 1,700.90 ton, Querétaro 1,462.46 ton y finalmente otros estados con solo 965.34 ton (SIAP-SAGARPA, 2014).

En este mismo periodo la producción tuvo una TCMA de 2.69% pasando de 383,883.11 ton producidas en el 2004 a 487,375.29 ton en 2013, destacándose con TCMA significativas Zacatecas con 10.44%, Puebla con 6.41%, Guanajuato 13.20%. Asimismo algunos estados presentan contracciones como México -2.96%, Hidalgo -2.57%, Aguascalientes -1.54%, Querétaro -1.20%, entre otros. San Luis Potosí con -9.04% su decremento de producción se atribuye a la baja que ha experimentado en los últimos años, en 2004 produjo 3,723 ton disminuyendo más del cincuenta por ciento en 2013 a 1,657 ton.

Durante la época de producción solo considera algunos meses, generando una sobreoferta regional por ser un fruto estacional, teniendo así una mala distribución del producto, provocando la pronta volatilidad en precios en las distintitas plazas de consumo. En este sentido algunos factores que inciden en la logística para la distribución de perecederos como las frutas, involucra la creación de

infraestructura para la innovación de productos, eficiencia en las redes de comercialización y distribución del comercio.

Para llevar a cabo dicho proceso, se requiere de un conjunto de elementos concentrados en la logística integral, como el costo del transporte carretero, el cual es importante en la competitividad de cualquier mercado, impactando más a los productos agrícolas, debido a que eleva los costos de las mercancías hasta su destino final por el traslado, influyendo directamente en la logística de distribución nacional, internacional, de importación y de exportación de cualquier región.

Llevar la fruta de regiones del centro a algunos lugares colindantes con los litorales que se encuentran en el golfo y península de México como Campeche y Yucatán es caro, mientras los del pacífico son más tal es el caso de Baja California Norte, Baja California Sur, Sonora y en mayor proporción Chiapas que está ubicado al suroeste del país.

El precio del transporte aumenta debido a la lejanía de los centros oferentes, como en el caso de trasladar el producto hasta el estado de Quintana Roo, originando que estos lugares queden en desabasto, no obstante es importante señalar que pueden ser atractivos para el comercio por los buenos precios pagados en determinados mercados, debido a que tienen la capacidad de absorber los costos de transporte o acarreo.

Por lo que el objetivo de esta investigación es optimizar el costo de transporte de llevar el producto de los 5 estados conformados por Zacatecas, México, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí que cumplen la condición de orígenes a los 27 estados destino en mercado cerrado y 31 estados en mercado abierto ya que se incluyen 4 puntos frontera como salidas del excedente de producción del año 2013, absorbiendo la diferencia entre oferta y demanda, con sus respectivos costos de transporte, los cuales en el modelo son expresados como nuevos estados demandantes.

1.1 Antecedentes

En el mundo de los negocios existen múltiples definiciones del término logística, que ha venido evolucionando desde sus orígenes en el ámbito militar, hasta términos actuales donde ha ganado relevancia como arte y técnica que se ocupa de la organización de los flujos de mercancías, aprovechamiento de los recursos y la información, para hacer llegar los productos hasta el consumidor final.

Actualmente el transporte de productos agroalimentarios, es altamente cuidadoso: por lo que la logística comercial o distribución física tiene por objetivo encargarse del ámbito físico de la distribución, centrándose en la adopción de las decisiones óptimas que permitan llevar a cabo el desplazamiento del producto en el espacio (transporte) y su conservación en el tiempo (almacenamiento). Con ello el decisor pretende añadir al producto utilidades de espacio, lugar y tiempo.

La distribución se inicia cuando el producto es acabado, y termina de llegar al cliente final. La problemática de la distribución física se hace compleja cuando la empresa dispone de más de un centro de producción y se debe abastecer a varios centros de consumo.

De acuerdo a Alonso *et al.*, (1999), en la resolución de estas políticas se contraponen dos objetivos en conflicto:

- Incidir en los menores costos de distribución posibles
- Satisfacer adecuadamente la demanda de los productos

Además de los objetivos anteriores, en la literatura especializada se hace referencia a otros tales como:

- Rotación y minimización de inventarios
- Equilibrio de carga entre zonas productoras
- Cumplimiento de los contratos

- Demanda insatisfecha, etc.

El logro satisfactorio de estos objetivos involucra la puesta en marcha de políticas empresariales de:

Largo plazo. Que condicionan no solo la eficacia de la empresa, sino también el cumplimiento de los objetivos: la localización y dimensión óptima de las zonas productoras, almacenes de distribución, inversiones en activos fijos, etc.

Decisiones a corto plazo. Hacen hincapié a las cantidades a distribuir y los medios o procedimientos de logro de política de distribución trazada. Se trata de decidir sobre cuánto y cómo distribuir, frente al gran problema de dónde y la dimensión propuesta. Si se consideran pueden darse tres situaciones:

2.1) **Demanda = oferta.** En este caso todos los centros serán abastecidos y no se producirán excedentes ni déficit en ningún centro.

2.2) **Demanda < oferta.** Existirán excedentes de oferta en alguno de los centros productores.

2.3) **Demanda > oferta.** Algún centro quedara desabastecido con los siguientes costos de escasez o demanda insatisfecha.

Costos unitarios o de transporte desde los centros productores a los de consumo, dependiendo de la distancia existente entre ambos, del tipo de transporte utilizado y de la cantidad a transportar.

Las variables mencionadas anteriormente aplicadas de manera correcta a un modelo, permiten llegar a la obtención de soluciones óptimas (Alonso *et al.*, 1999). El poner en práctica tales políticas puede ayudar principalmente al productor en mejores precios pagados por el producto, planeación de la producción, la pronta

distribución de sus cosechas. Para el caso del consumidor final se vería reflejado en adquisición de fruta fresca de calidad cuando la necesite, satisfaciéndole la necesidad de alimentación saludable, pagando precios considerables por la disponibilidad y acceso que le ofrece el productor directamente, evitando el excesivo intermediarismo de los diferentes actores que intervienen en la comercialización.

1.2 Planteamiento del problema

En la comercialización de los productos agrícolas el objetivo es llevarlos desde la explotación agrícola hasta el consumidor, por lo cual debe pasar por una serie de procesos y servicios que los hacen aptos para el consumo como son: cosecha, transporte, selección, limpieza, tipificación, almacén, empaque y distribución.

En estos procesos intervienen varios agentes que sin ser dueños del producto sino prestadores de servicios, como almacenadores, transportistas o intermediarios, también reciben cierta utilidad del producto, la cual generalmente es mayor a la percibida por el productor, es este proceso comercialización-consumo es donde se le da un valor agregado al producto y se establece su rentabilidad.

Uno de los principales problemas para los productores de nopal tuna es la estacionalidad de las cosechas; ya que la mayor parte de la tuna se cosecha en algunos meses del año, resultado de la estacionalidad del fruto tuna.

Esta situación origina que después de este periodo los precios aumenten a niveles incosteables para el productor; esto aunado a que en los años de alta producción suele perderse hasta 60% de la cosecha (Sumaya, 2010), debido principalmente a que se producen cantidades mayores de producto a lo demandado por los consumidores, generándose un excedente, provocando un desequilibrio en el mercado el cual debe atenderse comercializando la sobreoferta a las zonas deficitarias o consumidoras.

Sin embargo, el productor se enfrenta a diversas problemáticas como: la falta de un mercado asegurado, la carencia de espacios de acopio y almacenamiento adecuados para la conservación de la tuna, la ausencia de infraestructura de transporte para movilizar el producto y la desarticulación de la cadena de producción y comercialización.

Por lo tanto al concluirse la producción, el producto debe distribuirse a los centros consumidores, lo cual genera costos de transporte a partir de la distancia entre ambos, el tipo de transporte y el volumen a distribuir, el costo en ocasiones es exagerado debido a la mala logística ya que se recorren rutas innecesarias y prolongadas.

Los precios reportados por las diferentes centrales muestran que Villahermosa, Tabasco, alcanzo el precio nominal más alto por la tuna lo que se explica por el costo del transporte que implica llevar el producto de las zonas de producción a esa lejana plaza ya que las centros productores de este fruto están en la zonas centro noroeste de la República Mexicana (Flores, 1995; Ramírez *et al.*, 2010).

Los precios más bajos se registran en Ecatepec, Estado de México, Guadalajara, Jalisco y Morelia, Michoacán, que son zonas productoras o están más cercanas a los centros de producción lo cual disminuye el costo del producto, la mayor producción nacional se concentró en el Distrito Federal, Morelos y el Estado de México (SIAP, 2012); concurriendo la producción nacional en la Central de Abasto de Iztapalapa, en la Ciudad de México para su comercialización.

Lo anterior explica que la determinación de las cantidades a enviar desde cada centro productor a cada centro transformador o consumidor es el objeto de los trabajos encaminados a la resolución del problema de distribución, obligando que en la resolución misma del problema, las soluciones encontradas satisfagan la condición impuesta del costo mínimo (Alonso *et al.*, 1999)

Estas consideraciones afirman que un estudio ineficiente de logística origina diferencias de precios por desconocer la localización de centros productores y consumidores.

1.3 Justificación

En México los estados consumidores y productores de tuna (*Opuntia* spp.) se encuentran principalmente en la zona centro; en las zonas costeras, el noreste, sur y sureste del país existe un bajo consumo de la fruta, debido a la falta de distribución y a los costos que genera el traslado del producto a estas zonas por su ubicación geográfica.

El consumo puede incrementarse sensiblemente, si se hacen llegar volúmenes mayores de la fruta, cuidando la calidad y presentación de la misma y acompañadas de una logística de comercialización que permita reducir los costos en transporte, lo cual generaría que el producto tuviera un costo accesible para los consumidores y cubrir la demanda interna que aún no se encuentra satisfecha.

Los estados del centro del país les favorece la cercanía con la ciudad de México, considerada el principal centro de consumo nacional y mundial de tuna, importante ventaja comparativa con respecto al resto de las zonas productoras de tuna por su ubicación geográfica que permite reducir costos por la cercanía a los centros de consumo.

Para que la tuna sea vendida a buen precio, tanto los productores como los comercializadores deben darle una mayor importancia a la presentación, la publicidad, el transporte y el empaque. Si los productores mejoran el proceso de comercialización de la tuna se obtendrían mejores resultados con un buen rendimiento y precios bajos.

La problemática de la comercialización se resume de la siguiente manera; los productores no tienen mercado asegurado; no se cuenta con espacios de acopio y almacenamiento adecuados para la conservación de la tuna; en la mayoría de los

casos los productores no cuentan con infraestructura de transporte para mover el producto, lo que genera un costo elevando en el traslado de la zona productora a la zona consumidora, lo que genera oscilación de precios y en ocasiones que estos sean excesivos, provocando un desajuste de la cadena productiva, ya que los procesos de producción y comercialización se dan por separado.

Es necesario dar solución a estos problemas desarrollar un modelo que permita mejorar la logística de transporte; optimizando los recursos en la producción y la distribución de productos, identificando las zonas consumidoras y productoras mejor ubicadas geográficamente, las cantidades óptimas que se deben enviar de cada centro de producción a cada centro de consumo, para obtener el costo mínimo de traslado del producto. Cabe señalar que la logística no actúa como una actividad funcional, sino como un modelo, un marco referencial; un mecanismo de planificación; como una manera de pensar que permite reducir la incertidumbre ante un futuro desconocido.

En un mundo globalizado cada día la participación de los agronegocios en la comercialización internacional de productos perecederos es significativamente importante ya que se debe cuidar la calidad, inocuidad y vida de anaquel del producto hasta llegar al consumidor final (Alonso *et al.*, 1999). Ante dicha movilización, se tiene que buscar el mejor canal de comercialización, por lo tanto la logística busca gerenciar estratégicamente la adquisición, el movimiento, el almacenamiento de productos y el control de inventarios, así como todo el flujo de información, a través de los cuales la organización y su canal de distribución se encauzan de modo tal que la rentabilidad presente y futura de la empresa sea maximizada en términos de costos y efectividad.

En este proceso se determina y coordina en forma óptima el producto, el cliente, el lugar y el tiempo correcto; en este sentido si el rol del mercadeo es estimular la demanda, el rol de la logística es satisfacerla. De esta manera, a través de un detallado análisis de la demanda en términos de nivel, locación y tiempo, es posible determinar el punto de partida para el logro del resultado final de la

actividad logística, la cual es atender dicha demanda en términos de menor costos y mejor efectividad.

1.4 Objetivos

En el presente trabajo se plantean los siguientes objetivos:

1.4.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo de transporte para la tuna en estado fresco, que permita la distribución óptima de zonas excedentarias a zonas deficitarias, minimizando el costo total de transporte de zonas origen a zonas destino, logrando mejorar los ingresos de los productores.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la oferta y demanda a nivel estatal y nacional, identificando los estados productores y consumidores de tuna, buscando la optimización para el abasto del mercado nacional.
- Determinar el costo de transporte de la tuna, a partir de cada uno de los orígenes a cada uno de los destinos.
- Elaborar un modelo de distribución del producto que minimice el costo de transporte en mercado nacional e internacional.
- Describir la distribución óptima de los estados productores de tuna a las zonas demandantes del producto, identificando las cantidades recomendables de envío de los centros de producción a cada centro de consumo.

1.5 Hipótesis

- El costo de transporte se incrementa debido a que la producción de este fruto se lleva a cabo en áreas de producción del centro y centro norte del país las cuales son significativamente distintas a las zonas consumidoras afectando directamente el precio del consumidor final.
- Al identificar las zonas oferta y demanda del producto es posible optimizar distribución en el mercado nacional e internacional activando rutas que permita la disminución en tiempo y costo de las zonas productoras a los centros consumidores para la mejor asignación de la producción.
- Planear la distribución eficientemente permite ubicar los mejores centros oferentes y lugares de destino mejor ubicados de acuerdo a los requerimientos de demanda por parte de la población y producción de solo algunos estados.

1.6 Metodología

Para determinar la forma de llevar a cabo la asignación de recursos, en este caso la óptima distribución y rutas para comercializar el producto se usaron las herramientas que proporciona la investigación de operaciones, utilizando técnicas matemáticas de la programación lineal en específico el modelo de transporte, basado en el método de costo mínimo donde se asigna la mayor cantidad posible de las ofertas o las demandas al menor costo unitario (C_{ij}), planteándose dos escenarios: el primero es la dinámica del mercado cerrado y el segundo muestra la solución óptima de distribución de mercado abierto.

La solución de los modelos, se obtuvo 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.

II. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO

2.1 Revisión de literatura

Desde el principio de los tiempos de la humanidad, los productos que requiere la población a veces no se producen en el lugar donde se desean consumir o no están disponibles cuando se necesitan. Sin embargo, al no existir un sistema desarrollado de transporte y almacenamiento, el movimiento de los productos se limitaba a lo que una persona podía acarrear, y el almacenamiento de los productos perecederos era posible solamente por un período corto, siendo necesario crear e innovar un sistema de logística.

Ante esta situación, este sistema de transporte y almacenamiento obligaba a las personas a vivir cerca de los lugares de producción y a consumir una gama limitada de productos o servicios. Antecedentes respecto a la estructura de cualquier sistema, Checkland (1993) dice que es determinado por las relaciones e interacciones que se dan entre sus distintos componentes.

El objetivo del sistema está determinado por la estructura, función y organización de todos sus elementos a partir de los cuales se desprenden las relaciones entre las entradas, procesos y salidas que se dan dentro de los límites particulares (Ruiz y Oregui, 2001). Por ejemplo, en los agronegocios un sistema agrícola se define como la forma en que se utilizan los recursos existentes de una explotación o el conjunto de ellas para obtener unos productos previamente definidos (Martner *et al.*, 2004).

Para el caso de los sistemas logísticos cuando empezaron a mejorar, el consumo y la producción fueron separándose geográficamente. Las distintas zonas se especializaron en lo que podían producir más eficientemente. Así, el exceso de producción se puede enviar de forma rentable a otras regiones y los productos que no se fabricaban en la zona pudieron importarse (Ballou, 2004).

Bajo esta premisa se puede decir, que la cadena de distribución o logística ha sido descrita como: distribución física, administración de materiales, administración de transportación, logística y ahora administración de la cadena de suministros. Este tema puede incluir algunas actividades como: transportación, mantenimiento de inventarios, procesamiento de pedidos, compras, almacenaje, manejo de materiales, estándares de servicio al cliente y producción.

La misión de este esfuerzo administrativo es fijar el nivel de las actividades logísticas a fin de hacer productos y servicios que estén disponibles para los clientes en el momento, el lugar y las condiciones y las formas deseadas, de la manera más ventajosa o efectiva de costos (Ballou, 2004).

En lugares que representan oportunidad de introducir los productos donde la eficiencia de la producción y el estándar económico de vida son bajos, la producción de la población es autosuficiente y la mayoría de los bienes que necesitan los residentes se producen o se adquieren en cercanías inmediatas se importan pocos bienes. Es donde un sistema de logística bien definido estimularía el intercambio para tener ventaja competitiva en otras zonas de producción.

2.2 La logística

El término logística ha sido tomado del ámbito militar llevando a cabo lo que fue llamado la operación logística más compleja y mejor planeada de esa época: la invasión a Europa durante la Segunda Guerra Mundial (Ballou, 2004). El desempeño de hacer una buena logística puede ser la fuente de una ventaja competitiva en cualquier ámbito social, político, económico y cultural de las naciones.

En el año 1962 con el propósito de continuar la educación y fomentar el intercambio de ideas el Consejo de Dirección Logística (Councill of Logistic Management) por sus siglas en inglés, quien es una organización profesional de

gerentes de logística, docentes y profesionales, estableció la definición siguiente: la logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes (Ballou, 2004).

Para otros autores la logística es el proceso de la gestión estratégica de la adquisición, el movimiento, almacenamiento de materiales y partes del inventario terminado (relacionada con los flujos de información) a través de la organización y sus canales de comercialización de tal manera que la rentabilidad actual y futura se maximizan a través del cumplimiento rentable de órdenes (Christopher, 2005).

La Association for Operations Management define la logística como: el arte y la ciencia de obtener, producir y distribuir el material y el producto en el lugar y las cantidades apropiados, por lo tanto la logística se ocupa de mover los productos a través de la cadena de suministro. La logística se refiere a las funciones administrativas que apoyan el ciclo completo de flujos de materiales: de la compra y el control interno de las materias para producción, a la planeación y control del trabajo, y la compra, embarque y distribución del producto terminado (Chase *et al.*, 2009).

Con esta información como antecedente, el campo de la logística de los negocios comenzó a crecer para ser utilizado en el mundo empresarial, adaptándose a un sentido más general refiriéndose al flujo de los recursos humanos, económicos, técnicos y materiales que una empresa necesita para la realización de sus actividades; combinándose con la administración de operaciones y tareas relacionadas con el envío de productos terminados al punto de consumo.

Actualmente se define a la logística como la acción del colectivo laboral dirigida a garantizar las actividades de diseño y dirección de los flujos material, informativo y

financiero, desde sus fuentes de origen hasta sus destinos finales, que deben ejecutarse de forma racional y coordinada con el objetivo de proveer al cliente los productos y servicios en la cantidad, calidad, plazos y lugar demandados, con elevada competitividad y garantizando la preservación del medio ambiente. La función de logística se encarga del movimiento real y del almacenamiento de bienes dentro de las organizaciones a lo largo de la cadena de suministro (Schroeder *et al.*, 2011).

De esta manera se puede deducir que la logística es la actividad que dinamiza la economía de un país, siendo línea de vida que satisface las necesidades y requerimientos de cualquier persona o ente económico, respondiendo siempre de manera precisa a las macro tendencias de los diferentes mercados.

2.2.1 Logística en los negocios y la cadena de suministro

La definición de cadena es la coordinación sistemática y estratégica de las funciones tradicionales del negocio y de las tácticas a través de estas funciones empresariales dentro de una compañía en particular, y a través de las empresas que participan en la cadena de suministros con el fin de mejorar el desempeño a largo plazo de las empresas individuales y de la cadena de suministros como un todo (Ballou, 2004).

La planificación de la cadena de suministro (SCP) está compuesta, al más alto nivel, de tres principales procesos funcionales de toma de decisiones: planificación de la producción, control de inventarios y distribución física (Beamon, 1998). La logística del negocio y de la cadena de suministros puede incluir todas o algunas de las siguientes actividades: transportación, mantenimiento de inventarios, procesamiento de pedidos, compras, almacenaje, manejo de materiales, embalaje, estándares de servicio al cliente y producción.

Asimismo se interrelaciona con la gestión logística, la cual planifica y coordina todas las actividades necesarias para alcanzar los niveles deseados de servicio

prestado y la calidad al menor costo posible, por lo tanto, logística debe ser visto como la relación entre el mercado y el suministro. El alcance de la logística se extiende en la organización, desde la gestión de las materias primas hasta la entrega del producto final (Christopher, 2005).

La misión de las actividades logísticas es hacer productos y servicios que estén disponibles para los clientes en el momento, el lugar y las condiciones de forma deseadas de la manera más óptima efectiva en costos.

A través del tiempo y de nuevas aperturas comerciales entre los países se fueron mejorando los sistemas de logística, originando que el consumo y la producción comenzaron a separarse geográficamente. Al haber comercio las regiones se especializaron en aquellas mercancías útiles o de conveniencia que podían producirse con más eficacia; el exceso de producción pudo transportarse económicamente a otras zonas de producción o de consumo.

2.2.2 La cadena de suministro

La cadena de suministro es la red de organizaciones que están involucradas en los diferentes procesos y actividades que producen valor en forma de productos y servicios hasta que llegan a manos del consumidor final (Christopher, 2005). Asimismo se define como el conjunto de procesos para posicionar e intercambiar materiales, servicios, productos semiterminados, productos terminados, operaciones de post-acabado logístico, de posventa y de logística inversa, así como de información, en la logística integrada que va desde la procuración y la adquisición de materia prima hasta la entrega y puesta en servicio de productos terminados al consumidor final (SE, 2008).

El termino de cadenas de suministro agrologísticas o agri-food supply chains (ASC) ha sido acuñado para describir las actividades desde la producción hasta la distribución que lleva los productos agrícolas u hortícolas del campo a la mesa (Aramyan *et al.*, 2006). La cadena de suministro del sector agroalimentario, como

cualquier otra cadena de suministro, es una red de organizaciones que trabajan conjuntamente en diferentes procesos y actividades con el fin de llevar los productos y servicios al mercado, con el objetivo de satisfacer las demandas de los clientes (Christopher, 2005; Ahumada y Villalobos, 2008).

Sin embargo, la cadena de suministros en los agronegocios podemos definirla como el conjunto de actividades funcionales dado que las fuentes de materias primas, las fábricas y las plazas normalmente no están ubicados en los mismos lugares y el canal de flujo representa una secuencia de pasos de manufactura, las actividades logísticas muchas de las veces se repiten antes de que un producto llegue a su destino final, dependiendo del valor añadido para el consumidor.

Según Ballou (2004), algunas de las actividades que más contribuyen se mencionan a continuación:

Los estándares de servicio al cliente fija el nivel de rendimiento y el grado de rapidez al cual debe responder el sistema de logística. El más importante en la comercialización de cualquier producto o servicio es el transporte porque le da movilidad a los recursos y el mantenimiento de inventarios son las actividades logísticas que principalmente absorben costos. La característica principal del transporte es que añade valor de lugar a los productos y servicios, en tanto que el mantenimiento de inventarios les añade valor de tiempo.

Los objetivos que se plantea cualquier ente económico serán: optimizar y mejorar elocuentemente la productividad del sistema logístico operacional, incrementar los niveles de servicio a los clientes, implementar acciones que conlleven a una mejor administración de las operaciones y desarrollar relaciones serias de gran beneficio con los proveedores y clientes claves de la cadena de suministros.

Schroeder *et al.* (2011), describe la cadena de suministro (CS) como un sistema altamente interactivo, donde las decisiones que toma cada parte de ella afectan a otras y al modificar algunas partes del sistema (por ejemplo: reemplazar un

proveedor), sin variar las reglas que gobiernan las interacciones del mismo, puede no conducir a mejoras. Estas modificaciones se relacionan con los productos y servicios que se ofrecen, los tipos y ubicaciones de las instalaciones, la tecnología del proceso y la distribución física y la integración vertical.

Para mejorar el desempeño de la CS, se puede llevar a cabo una reconfiguración de las instalaciones de producción y distribución de la CS, implicando prácticas en países emergentes como la subcontratación o la contratación. Estas últimas ocurren cuando una empresa desplaza un trabajo que se ejecutaba internamente a otra instalación, pero que se localiza en otro país. La subcontratación se presenta cuando un trabajo se delega a otra organización, indistintamente de que ésta esté en el mismo país o en otro.

Cada empresa puede derivar sus propias medidas de desempeño, existen diversas métricas para evaluar el desempeño de la cadena de suministro, en general corresponden a las medidas de entrega, calidad, flexibilidad y costo (Schroeder *et al.*, 2011).

2.2.3 Importancia de la logística

De acuerdo con Heizer y Render (2009), la importancia de la administración logística es obtener eficiencia de las operaciones mediante la integración de todas las actividades de compra, movimiento y almacenamiento de materiales. Por ejemplo cuando los costos de transporte e inventario son sustanciales tanto en la entrada como en la salida del proceso de producción, podría resultar apropiado poner énfasis en la logística.

La logística en la empresa agroalimentaria gira en torno a crear valor para los clientes y para la misma empresa. En el caso de la fruta tuna los problemas de la calidad para su manejo residen en el daño físico ocurrido al cortar de la penca,

resultando daños en la cascara viéndose descolorida durante el proceso postcosecha traduciéndose en desarrollo acelerado de pudrición.

La rápida distribución del fruto en las plazas o centros de consumo verdaderamente presenta un valor logístico cuando se tiene rápido acceso en términos de tiempo y lugar en posesión del consumidor final.

Sin embargo, se añade valor cuando los clientes prefieren pagar más por un producto o un servicio que lo que cuesta ponerlo en donde lo desean. Por varias razones las empresas de todo el mundo, la logística se ha vuelto un proceso cada vez más importante al momento de añadir valor (Ballou, 2004).

Las estrategias en la comercialización para dar solución cuando se compite en el mercado en frutos como la tuna que es estacional en un periodo de tiempo bien delimitado en solo algunos meses, se ocupa de estrategias buscando el mejor centro de distribución, mejor localización geográfica respecto a competidores, ubicación para arribar con disponibilidad de producto a las principales plazas, procurando siempre dinamismo en el desplazamiento, evitando sobreoferta solo en algunos centros de abasto en los meses de mayor producción.

2.2.4 Objetivos de la logística

La logística es el enfoque que busca la eficiencia de las operaciones a través de la integración de todas las actividades de adquisición, movimiento y almacenamiento de materiales (Heizer y Render, 2009). En el mundo de los negocios el buen desempeño se verá reflejado en dos dimensiones: en primer lugar en el impacto del diseño del sistema de logística en la contribución de los ingresos, y en segundo lugar en el menor costo de operación y los requerimientos de capital para ese diseño.

Cuando se tiene equilibrio o niveles satisfactorios de rendimiento al hacer mejoras en la empresa como inyección de capital, nuevas inversiones en la flota de

camiones, construcción de un almacén para la compañía, compra de equipo para el manejo de materiales etc.

Según Porter (2002), un sistema logístico adecuado permite a una empresa tener rápido acceso al mercado cuando los cambios en las preferencias de los consumidores lo requieren.

La logística controla los valores de tiempo y lugar en los productos, principalmente mediante el transporte seguido del el flujo de información y los inventarios. Así los consumidores esperan que los productos y servicios puedan estar disponibles en tiempos cada vez más breves.

2.2.5 Estrategia y planeación de la logística

Una buena estrategia logística cuenta con tres objetivos: reducción de costos, reducción de capital y mejora del servicio. La reducción de costos es la estrategia dirigida para minimizar los costos variables asociados con el desplazamiento y el almacenamiento. La mejor estrategia por lo general es formulada al evaluar líneas de acción alternativas, como la selección entre diferentes ubicaciones de almacén o la selección entre modos de transporte alternativos.

Los niveles de servicio por lo general se mantienen constantes mientras se buscan las alternativas de mínimo costo. La maximización de utilidades es el objetivo principal.

La reducción de capital es una estrategia dirigida hacia el nivel de inversión en el sistema logístico. La maximización del rendimiento sobre los activos logísticos es la motivación detrás de esta estrategia. El envío directo a los clientes para evitar almacenamiento, la elección de almacenes públicos sobre almacenes privados, la selección de un enfoque de abastecimiento justo a tiempo en vez de almacenar

para inventarios, o la utilización de proveedores externos de servicios logísticos son ejemplos de ello.

Estas estrategias pueden dar por resultado costos variables más altos que en estrategias que requieren mayor nivel de inversión; sin embargo, el rendimiento sobre la inversión puede incrementarse.

Las estrategias de mejora del servicio por lo general reconocen que los ingresos dependen del nivel proporcionado del servicio de logística. Aunque los costos se incrementan rápidamente ante mayores niveles de servicio logístico al cliente, los mayores ingresos pueden compensar a los mayores costos. Para que sea efectiva, la estrategia de servicio se desarrolla en contraste con la ofrecida por la competencia.

La planeación trata de responder las preguntas qué, cuándo y cómo vamos a hacer para satisfacer necesidades con nuestro bien o servicio. La principal diferencia es el horizonte de tiempo para la planeación, comprendiendo las que a continuación se mencionan: la planeación estratégica se considera de largo alcance; el horizonte de tiempo es mayor a un año. La planeación táctica implica un horizonte de tiempo intermedio, por lo general menor de un año. La planeación operativa es una toma de decisiones de corto alcance, que con frecuencia se toman a diario.

2.3 Estrategia de la logística en el transporte

En el aspecto del transporte se toman decisiones importantes desde la selección del modo de transporte, el tamaño del envío y al establecimiento de rutas, así como la misma programación. Estas decisiones son influidas por la proximidad de las fincas productoras, centros de distribución y a las plazas demandantes, buscando siempre la mejor ubicación, analizando la oferta y demanda del producto para responder a las decisiones de transporte mediante el tamaño del envío destino.

El problema de decidir cómo transportar mejor los bienes de las plantas a los clientes es complejo y afecta el costo de un producto. Comprende esfuerzos importantes relacionados con el costo de transporte del producto, la velocidad de la entrega y la flexibilidad para reaccionar ante los cambios (Chase *et al.*, 2009).

El buscar nuevas rutas, programación anticipada de pedidos, obliga a que el desplazamiento de cantidades demandadas podría requerir que nuevos centros de origen se ubiquen en las áreas de rápido crecimiento, en tanto que los mercados destino de bajo crecimiento necesiten abastecerse por otros medios. Un crecimiento desproporcionado de sólo unos cuantos puntos porcentuales por año podría ser suficiente para justificar una nueva planeación de red.

Tanto el nivel de demanda como la dispersión geográfica influyen fuertemente en la configuración de las redes de transporte a utilizar para su distribución. Las empresas con frecuencia experimentan costos variables desproporcionados como el caso de México en sus combustibles; siendo para las empresas un gran reto el tener que hacer reingeniería de procesos en una región del país en comparación con otras, el tratar de negociar volúmenes de carga existiendo relación directa entre productor y transportista puede conducir a economías de escala.

La teoría económica menciona por economía de escala a las ventajas en términos de costos que una empresa obtiene gracias a la expansión. Existen factores que hacen que el costo medio de un producto por unidad disminuya a medida que la escala de la producción aumenta, sirviendo a largo plazo, haciendo referencia a las reducciones en el costo unitario a medida que el tamaño de una instalación y los niveles de utilización aumentan (Sullivan y Sheffrin, 2003).

Por dichas razones se concluye que cuanto más bienes sean manejados en una sola transacción, más bajo será el costo por unidad. Donde los costos fijos se extienden sobre el número creciente de unidades, reduciendo los costos unitarios,

siendo importante hacer envíos eficientes ya que el precio del flete será el mismo no importando si se aprovecha la capacidad de los camiones al máximo.

2.4 Situación actual de la infraestructura logística en México

Estudios recientes sobre la agenda de competitividad en logística 2008-2012, realizada por la Secretaría de Economía (SE) describe al país con características potenciales de desarrollo para ser aprovechadas, con capacidad de convertirse en un centro logístico de nivel clase mundial.

Su ubicación geográfica es privilegiada la superficie territorial es de 1'964,375 Km², de los cuales 1'959,248 son continentales y 5,127 son insulares. Los litorales que posee son de 11,122 km, de los cuales colinda al este por el Golfo de México con 2,429 km y el mar Caribe 865 km que forman parte del Océano Atlántico, mientras que por el oeste con el Océano Pacífico 7,828 km, gozando de comunicación marítima con Europa y Asia.

La frontera al norte del territorio es de 3,185 km, con una extensión desde el noreste de Tijuana Baja California en el Océano Pacífico hasta la desembocadura del río Bravo Tamaulipas en el Golfo de México, compartiéndola con una de las economías más ricas del mundo los Estados Unidos de Norteamérica. Conjuntamente en la frontera sur colinda con los países centroamericanos de Guatemala con 956 km y Belice 193 km (INEGI, 2013; CILA, 2014).

Asimismo cuenta con 76 aeropuertos en servicio (12 nacionales y 64 internacionales), 117 puertos marítimos (49 de cabotaje y 68 de altura y cabotaje) y 26,726.9 kilómetros de vías férreas. Agregando un gran número de tratados y acuerdos comerciales con otros países del mundo le otorga a México accesos preferencial a un mercado de consumidores potenciales.

En la movilización de mercancías el principal medio de transporte utilizado es el autotransporte. Estadísticas publicadas en el mismo documento mencionan que para el año 2006 este modo fue utilizado para transportar 58% del comercio total, mientras que 23% se movilizó por agua, 8% utilizó el sistema ferroviario, 6% el aéreo y 5% otros medios.

De acuerdo con la SCT en su anuario estadístico 2012 del sector de comunicaciones y transportes, la red carretera es de 377,660 km, de las cuales cuentan con brechas mejoradas 74,597 km (20%), terracería 11,266 km (3%), revestida 145,576 km (38%). Así mismo de la red carretera pavimentada 131,722 km (35%) son de dos carriles y 14,499 km (4%) de cuatro o más carriles.

En concordancia con el párrafo anterior se puede confirmar que en la movilización de las mercancías que en México se producen y consumen, tanto en el mercado nacional como internacional, el principal medio de transporte utilizado es el transporte terrestre; sin embargo, el desarrollo en la distribución eficiente depende de que sigan haciendo mejoras a la infraestructura logística moderna, marcos regulatorios adecuados para ser aprovechados viéndose reflejados en bajos costos logísticos, mejorando la competitividad del país, evitando el rezago en los distintos negocios.

Actualmente, la SE impulsa varios proyectos, destacando: el sistema nacional de plataformas logísticas, buscando fortalecer la competitividad de los productores, optimizando la eficiencia de los procesos de distribución, garantizando la correcta articulación con el territorio y su conectividad con las redes de transporte y nodos de comercio. En el Cuadro 2.1, se menciona la situación de las centrales y módulos de abasto y mercados mayoristas existentes en el país para el sector agroalimentario.

Cuadro 2.1. Indicadores básicos del total de unidades mayoristas.

	Unidades Mayoristas Existentes	
	66 Centrales y Módulos de Abasto	19 Mercados Mayoristas
Bodegas en operación	17,035	2,033
Bodegas que cuentan con cuarto frío en su interior	1,981	415
Bodegas que venden frutas y hortalizas	10,204	1,354
Bodegas que venden abarrotes	2,463	216
Bodegas que venden productos cárnicos	909	166
Bodegas que venden otros productos	3,060	297

Fuente: elaboración propia con datos del Inventario Nacional de Centrales y Módulos de Abasto y Mercados Mayoristas Niveles de operación 2009-2010.

Las Centrales de Abasto más importantes son las que se ubican en la de la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey.

La central de abasto de la Ciudad de México ocupa una superficie de 3´040,000 m² con 1´454,000 m²,de construcción, teniendo 2,340 bodegas en operación y 38 desocupadas, dedicándose a frutas y hortalizas 1,881, abarrotes 338, cárnicos 111 y finalmente 10 a otros giros (SE, 2010).

En el Plan Nacional Agrologístico para desarrollar la evolución del Modelo de Agricultura Metropolitana en México, trabajaron dependencias mexicanas en colaboración con la Universidad de Wageningen Holanda, quien realizó estudios de pre factibilidad y factibilidad.

En el año 2003 se puso en marcha el agroparque de horticultura protegida en Ajuchitlán, Querétaro. Resultado de la iniciativa de Secretaria de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y el Fondo de Capitalización e Inversión del Sector Rural

(FOCIR) con apoyo de SAGARPA y colaboración de la embajada de los Países Bajos y Holanda.

Posteriormente para el año 2009-2010 SHCP y FOCIR, presentan el concepto holandés de “greenports” al nuevo gobierno de Aguascalientes. Después otros estados como Nayarit, Morelos, Jalisco y Veracruz en el año 2011-2012 se interesaron en un modelo de agricultura metropolitana, colaborando conjuntamente con FOCIR unen esfuerzos para lograr implementarlos.

Actualmente con la nueva administración del gobierno federal, en el marco del plan nacional de desarrollo 2013-2018, finalmente se integra el concepto de conglomerados productivos o clústeres de agronegocios. Reconociendo e integrando a sus estrategias y programas el modelo Metropolitan Food Cluster (MFC) por sus siglas en inglés, con FOCIR como instancia ejecutora.

El gobierno mexicano garantiza que el plan agrologístico permitirá al país una mejor distribución, eficiencia y óptimo desarrollo de los sistemas de producción agrícola, mediante: agrupamiento (agroparques/clusters), conectividad y dirección de los flujos de producción agrícola insumos, productos, desechos, etc. (SE, 2013). De esta manera en la conectividad que existe para facilitar las cadenas logísticas origen-destino; así como los niveles actuales de infraestructura y equipamiento de los que se disponen van creciendo paulatinamente.

La comercialización de diversos productos, bienes y servicios exige nuevas estrategias para la competencia y la competitividad, siendo la infraestructura importante para movilizarnos tanto en empresas como en territorios donde la actividad económica se dispersa geográficamente pero se integra a la globalización, originando que los menos conectados a las redes sean excluidos y los más interconectados se favorezcan.

2.5 Logística de distribución

Los modelos de distribución comercial válidos para programar los canales óptimos en un proceso de comercialización integrado verticalmente, se caracteriza por reflejar conjuntamente las relaciones que existen entre las fases desde origen a destino (Alonso *et al.*, 1999).

El objetivo de la estrategia de distribución es desarrollar una distribución efectiva y eficiente en costos que cumpla con los requerimientos competitivos de la empresa. En el caso de algunos productos con un ciclo de vida cada vez más corto, y creciente personalización masiva, los diseños de distribución deben ser dinámicos. Una distribución efectiva facilita el flujo de materiales, personas e información entre las distintas áreas, en la mayoría de los sistemas de distribución de bienes manufacturados se mueve en camión por su flexibilidad en entregas (Heizer y Render, 2009).

Analizando la información predicha la principal razón de los negocios de bienes y servicios será proporcionar un servicio de aprovisionamiento y distribución hasta el consumidor final. La investigación constante para responder al crecimiento poblacional demandante cada vez más de mejores servicios o bienes en el momento y lugar adecuado donde se requiera, en este sentido la buena logística de distribución será atender con volúmenes de producción para satisfacer la demanda.

Un modelo de distribución representa desde un punto de vista logístico la infraestructura física de la que dispone la empresa para situar sus productos en el mercado, dependiendo de las características del mismo, del servicio que nos dispongamos a dar al cliente, de las condiciones geográficas en la que trabajemos. Al definir el modelo es importante hacer una evaluación previa de los medios de transporte a utilizar (Anaya, 2011).

Según Schroeder (2011), en el abastecimiento global al ir más allá de las fronteras de una nación, las compañías consiguen un amplio conjunto de posibles proveedores y pueden tomar ventaja de las diferencias de costo y de talento de un país a otro. La elección del transporte se relaciona con el tipo de transporte: cómo transportar los bienes físicamente entre varias localidades de una cadena de suministro.

En el mundo globalizado de los negocios el número de habitantes, el establecimiento de negocios, el comercio mayorista, el comercio minorista, centros de distribución, vehículos utilizados, lotes de producción, son datos que se deben analizar muy bien para tener registro cuantitativo en nuevas plazas habituales y potenciales donde se pueda actuar teniendo impacto positivo en las operaciones.

El autor Vargas (2012), concluye que la distribución está constituida por todas aquellas actividades que se desarrollan para facilitar el traslado de los productos desde su lugar de origen (productor) hasta el consumidor final. Comprende dos etapas, canales de distribución y las de distribución física; la primera etapa tiene relación con los intermediarios comerciales que se utilizaran y la segunda etapa está relacionada con las actividades de control y administración de inventarios, envasado, almacenamiento en el lugar de producción, transporte, almacenamiento en el lugar de envío y entrega del producto al cliente final

2.5.1 Asignación de recursos

Los métodos más comunes en las sociedades para la asignación de los recursos son las economías de mercado, las economías planificadas, y una combinación de ambas, que son las economías mixtas. Existiendo la forma más óptima para llevar a cabo la asignación de recursos, haciendo uso de las herramientas proporcionadas por la investigación de operaciones.

En la economía de libre mercado la asignación de recursos humanos, técnicos, financieros y materiales está determinada por las decisiones de producción, de

venta y de compras realizadas por las empresas y familias, respondiendo a las señales del mercado. Los vendedores y compradores representan las partes del mercado: la oferta y la demanda.

En las economías planificadas centralmente hay una autoridad central, el estado, tomador de decisiones sobre la producción y el consumo. El gobierno decide qué producir, cómo se va a producir y para quién se va a producir; la política de producción y distribución se realiza a través de un plan comprensivo, detallado y aprobado por las autoridades centrales.

Los acuerdos bilaterales a menudo involucraban el comercio de trueque y el comercio compensatorio, en los cuales un bien se canjeaba por otro, intentando desarrollar un comercio balanceado con cada país. Consistiendo en que cualquier excedente de rubros convertibles no podía utilizarse para importar bienes y servicios de cualquier otro país que acumulara superávit (Salvatore, 1995).

2.6 La oferta

Stamer en 1962, menciona que la cantidad ofrecida de un producto agrícola en el mercado depende en primer lugar de las expectativas de beneficio de los agricultores. Donde si éstos estiman altos beneficios para el próximo año, la producción y en consecuencia la cantidad ofrecida aumentarán y viceversa. Por tanto la oferta (Q_i) está determinada en el periodo (t).

Representándose en forma funcional la oferta como:

$$Q=f (P_i, P_I, T, P_C, P_a, W, H, I_g, E, R)$$

- El precio esperado del producto (P_i);
- Los precios de los insumos o factores de la producción (semilla, fertilizante, mano de obra, etc.) (P_I);

- El estado de la técnica que ésta dado por la forma de la función de la producción (T);
- El precio de los productos que compiten por los mismos recursos en las zonas productoras (Pc);
- El precio de los productos conjuntos, acoplados o intercalados (Pa);
- El clima (precipitación pluvial por periodo, disponibilidad de agua para riego) (W);
- Número de hectáreas (sobre todo en cultivos perennes) (N);
- Las restricciones institucionales, como los programas de ampliación de tierras al cultivo, vedas para abrir pozos de agua para riego, subsidios a los factores de la producción, precios de garantía, subsidios directos, (Ig);
- Inventarios, stocks, reservas o existencias (R).

Concluyendo, en términos económicos el significado de la oferta como la cantidad representada por las diferentes unidades del artículo que ofrecen a diversos precios, todos los productores de este artículo en el mercado de un bien. La oferta depende de todos los factores que determinen la oferta del productor individual y además del número de productores del mismo artículo en el mercado (Salvatore, 1992).

En los agronegocios la oferta de productos agrícolas es la cantidad de un artículo que un productor individual está dispuesto a vender en un periodo determinado. Es una función o depende del precio del artículo y de los costos de producción (tecnología, los precios de los insumos, condiciones climatológicas para producir el bien del productor.

Un cambio en la oferta es cuando hay cambio en la tecnología, en los precios de los insumos para producir, en las condiciones climatológicas para productos agrícolas, desplazando la curva de oferta.

2.7 La demanda

La demanda del mercado de un artículo representa las diferentes cantidades que se demandan, a diversos precios todos los individuos del mercado en un periodo determinado. La cantidad de un artículo que un individuo desea comprar en un periodo determinado, es una función o depende del precio de dicho artículo, del ingreso monetario personal, de los precios de otros artículos y de sus gustos (Salvatore, 1992).

Uno de los escenarios más representativos en los productos agrícolas se presenta al variar el precio del artículo y manteniendo constantes tanto el ingreso y los gustos del individuo, como los precios de los demás artículos (supuesto de *ceteris paribus*).

Para Tomek y Robinson (2003) y García (2003), los principales determinantes de la demanda de un producto agrícola (Q_i) en el periodo t en su forma funcional se presenta de la siguiente manera:

$$Q_i = f(P_i, N, I, P_s, P_c, E, K)$$

Donde:

- El precio del producto (P_i). Demanda estática
- El número de habitantes de un país y su crecimiento (N)
- El ingreso disponible y su distribución (I)
- Los precios y la disponibilidad de otros productos sustitutos (P_s) y complementarios (P_c)
- Los gustos y preferencias del consumidor (G)
- Expectativas (E)
- La promoción de los productos (K)

La ley de la demanda de pendiente negativa se presenta cuando es más bajo el precio de un bien, mayor es la cantidad del bien que demanda el individuo, esta

relación inversa entre precio y cantidad se refleja en la pendiente negativa de la curva de demanda. Existen también excepciones de casos especiales o raros, la pendiente de la curva de demanda tiende a inclinarse hacia abajo, indicando que a medida que baja el precio del bien, se compra más cantidad del mismo.

2.8 Investigación de operaciones

Durante la Segunda Guerra Mundial, en Inglaterra surgen las primeras actividades formales de investigación de operaciones cuando se encomendó a un equipo de científicos ingleses la toma de decisiones acerca de la mejor utilización de materiales bélicos. La campaña europea en la Segunda Guerra Mundial utilizó enormes cantidades de materiales y otros recursos que tuvieron que desplegarse en un entorno turbulento, por lo que en todas las ramas de los servicios militares se formaron equipos de investigación de operaciones. Los conceptos de enfoque de sistemas totales y de equipos interdisciplinarios, así como la utilización de técnicas matemáticas complejas nacieron como resultado de estas condiciones existentes (Taha, 2004; Gaither y Frazier, 2006).

Al término de la guerra, las ideas formuladas en operaciones militares fueron adaptadas para mejorar la eficiencia y la productividad en el sector civil. Actualmente hasta nuestros días, la investigación de operaciones es una herramienta dominante e indispensable para tomar decisiones.

Taha (2004), describe a continuación como el elemento principal de la investigación de operaciones es el modelado matemático, siendo tres componentes principales de un modelo de investigación de operaciones, los cuales son: alternativas, objetivo y restricciones

El primer paso crucial de cualquiera de esos modelos es la definición de las alternativas o las variables de decisión del problema. A continuación, se usan las

variables de decisión para construir la función objetivo y las restricciones del modelo.

Una solución del modelo es factible si satisface todas las restricciones. Es óptima si, además de ser factible, produce el mejor valor (máximo o mínimo) de la función objetivo. La clase y la complejidad del modelo matemático determinan la naturaleza del método de solución, la técnica más importante de investigación de operaciones es la programación lineal, la cual se diseña para modelos con funciones objetivo y restricciones estrictamente lineales.

Al respecto existen también otras técnicas, como la programación entera, en la que las variables toman valores enteros; la programación dinámica, en la que el modelo original se puede descomponer en subproblemas más pequeños; la programación de red, en la que el problema se puede modelar como una red, y la programación no lineal, en la que las funciones del modelo son no lineales, además de algunas otras disponibles en la investigación de operaciones.

Para Gaither y Frazier (2006), la investigación de operaciones ha sido conocida principalmente por sus técnicas cuantitativas como la programación lineal, conforme las empresas se hacen más grandes y utilizan niveles de tecnología más elevados, la adopción de técnicas resulta más intensa, ayudando a tomar decisiones de problemas complejos.

2.8.1 Programación lineal

Según Taha (2004), la programación lineal se aplica a modelos de optimización en los que las funciones objetivo y restricción son estrictamente lineales. La técnica se aplica en una amplia variedad de casos, en los campos de agricultura, industria, transporte, economía, salud, ciencias sociales y de la conducta, y militar. También produce algoritmos eficientes de cómputo para problemas con miles de restricciones y variables.

En realidad, debido a su enorme eficiencia de cálculo, la programación lineal forma la columna vertebral de los algoritmos de solución para otros modelos de investigación de operaciones, como las programaciones entera, estocástica y no lineal.

El modelo de programación lineal, como en cualquier modelo de investigación de operaciones, tiene tres componentes básicos.

1. Las variables de decisión que se trata de determinar
2. El objetivo (la meta) que se trata de optimizar
3. Las restricciones que se deben satisfacer

El problema de programación lineal puede ser del tipo de maximización o minimización. Las restricciones son de la condicionalidad (\leq), ($=$), o (\geq) y las variables pueden ser no negativas o irrestrictas en signo, se define usualmente como sigue:

Maximizar o minimizar

$$X_0 = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Sujeto a:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \quad (\leq, =, \geq) b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \quad (\leq, =, \geq) b_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \quad (\leq, =, \geq) b_m$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n \geq 0$$

Donde: (c_j), (b_i) y (a_{ij}) representadas ($i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$) son las constantes determinadas por la naturaleza del problema y (X_{ij}) son las variables de decisión. Solamente un signo (\leq , $=$, \geq) sucede para cada restricción. Puntualizando que la restricción de no negatividad es esencial para el desarrollo del método de solución para programación lineal.

En la formulación del problema descrito en el párrafo anterior los coeficientes (i, j) que unen a la fuente (i) con el destino (j) conduce dos clases de información: el costo de transporte (C_{ij}) por unidad y la cantidad transportada (x_{ij}) .

La cantidad de oferta en la fuente (i) es (a_i) y la cantidad de demanda en el destino j es (b_j) . El objetivo del modelo es determinar las incógnitas (x_{ij}) que minimicen el costo total de transporte y que al mismo tiempo satisfagan las restricciones de oferta y demanda.

En conclusión, ante lo mencionado anteriormente, el problema de programación lineal es un problema de optimización donde se pretende maximizar o minimizar una función lineal en las variables de decisión llamada función objetivo. De este modo los valores de decisión deberán satisfacer un conjunto de restricciones, con la característica de que cada una de las restricciones será una ecuación lineal o una desigualdad lineal en las variables de decisión.

Es importante saber que las variables de decisión en el problema de programación lineal son continuas donde asociada a cada variable de decisión puede haber o no una restricción de signo sobre ella especificando si los valores de la variable son no negativos (≥ 0) .

Al resolverlo la región factible es el conjunto de todos los puntos cuyas coordenadas son los valores de las variables de decisión que satisfacen todas las restricciones del problema y todas las restricciones de signo.

La solución óptima de un problema de maximización es el punto en la región factible con el valor mayor posible de la función objetivo. Similarmente para problemas de minimización la solución óptima es un punto en la región factible con el menor valor posible en la función objetivo.

2.8.2 Solución de modelos

La técnica de programación lineal (PL) puede usarse para resolver este tipo de problemas, el modelo de transporte encuentra una solución inicial factible y después la mejora paso a paso hasta encontrar la solución óptima (Heizer y Render 2009).

Una peculiaridad de la mayor parte de las técnicas de investigación de operaciones es que en general las soluciones no se obtienen en formas cerradas, es decir, parecidas a fórmulas. En lugar de ello, se determinan mediante algoritmos. Un algoritmo proporciona reglas fijas de cómputo que se aplican en forma repetitiva al problema, y cada repetición (llamada iteración) obtiene una solución cada vez más cercana a la óptima. Como los cálculos asociados con cada iteración suelen ser tediosos y voluminosos, es necesario ejecutar esos algoritmos en una computadora.

El autor Taha (2004), propone los programas de cómputo TORA^{TM1} y Microsoft Excel Solver^{®2}, los cuales sólo son para problemas de tamaño moderado. Para los que contienen un gran número de restricciones y variables, se necesitan paquetes de cómputo o software como AMPL^{TM3}, LINDOTM O LINGO^{TM4}, para resolver el problema.

Las opciones para ocupar estas herramientas en la vida real son de gran ayuda, ya que un modelo de programación lineal puede implicar miles de variables y con sus respectivas restricciones, es por eso que la naturaleza del problema indicara que herramienta de análisis utilizar.

¹ Software para resolver problemas de programación lineal.

² Herramienta complemento de Solver Microsoft Excel.

³ A Mathematical Programming Language. Software de modelado matemático.

⁴ Software para modelado de optimización lineal, no lineal y programación entera

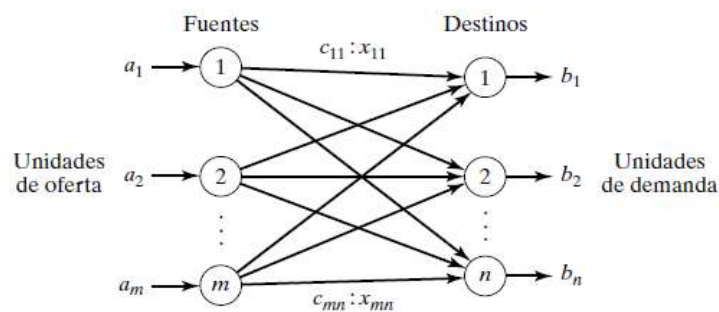
2.8.3 Modelo de transporte

El problema de transporte inicialmente fue planteado en 1941 por Hitchcock en el artículo “The distribution of a product from several sources to numerous localities” y posteriormente en 1951 por Koopmans en la investigación “A model of transportation”. Mientras el considerado padre de la programación lineal G. B Dantzig a partir del método simplex, proporcionó resolución del modelo (Alonso *et. al.*, 1999).

El modelo de transporte 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 determinar el programa de transporte que minimice el costo total del transporte y que al mismo tiempo satisfaga los límites de la oferta y la demanda de manera óptima (Taha, 2004; Hillier y Lieberman, 2010).

El problema general se representa en la Figura 2.1 donde existen **m** fuentes y **n** destinos, cada fuente y cada destino representados por un nodo. Los arcos representan las rutas que enlazan las fuentes y los destinos.

Figura 2.1. Representación del modelo de transporte con nodos y arcos.



Fuente: Taha, 2004.

El arco (i, j) que une a la fuente (i) con el destino (j) conduce dos clases de información: el costo de transporte (c_{ij}) por unidad, y la cantidad transportada (x_{ij}) . La cantidad de oferta en la fuente (i) es (a_i) y la cantidad de demanda en el destino

(j) es (bj). El objetivo del modelo es determinar las incógnitas (x_{ij}) que minimicen el costo total de transporte, y que al mismo tiempo satisfagan las restricciones de oferta y demanda (Taha, 2004).

En la Figura 2.1, el modelo trata de optimizar una función lineal cuya formulación se expresa de la siguiente manera:

Minimizar

$$X_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}$$

Sujeto a

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = a_i \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} = b_j \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$X_{ij} \geq 0$$

El objetivo de la función es: asignar la oferta disponible de cada uno de los centros de producción y origen, de tal manera que se optimice algún criterio de efectividad, para satisfacer la demanda de cada uno de los destinos de centros de consumo.

A excepción de la cantidad disponible, la asignación de las cantidades de mercancías a cada uno de los destinos no es una restricción. Esto significa que cada uno de los orígenes o zona consumidora puede proveer todo, parte o nada de su oferta, para satisfacer la demanda de los destinos o zonas de consumo (Taha, 2004).

El modelo implica que la oferta total debe ser cuando menos igual a la demanda total. Cuando la oferta total es igual a la demanda total, la formulación resultante recibe el nombre de modelo de transporte equilibrado.

En la realidad un modelo práctico de cualquier índole puede no estar equilibrado, sin embargo se puede equilibrar agregando una fuente ficticia, en la situación cuando la demanda es mayor que la oferta, o agregando un destino ficticio, si la oferta es mayor que la demanda (Taha, 2004).

El algoritmo de transporte sigue exactamente los mismos pasos que el método símplex, desarrollado por el padre de la programación lineal George Bernard Dantzig en el año de 1947, describiéndolo como un sistema metodológico efectivo para la solución de problemas de programación lineal, el cual consiste en resolver puntos seleccionados del polígono de factibilidad técnica y llega a soluciones óptimas por medio de iteraciones o pasos sucesivos. Cada iteración desplaza la solución a un nuevo punto esquina que tiene potencial de mejorar el valor de la función objetivo.

El espacio de soluciones se coloca en forma de ecuación bajo estas condiciones:

1. Todas las restricciones (excepto las de no negatividad) son ecuaciones con lado derecho no negativo.
2. Todas las variables consideradas son no negativas.

El algoritmo simplex para resolver el modelo de programación lineal se dice que está en su forma estándar si cada restricción es una igualdad y las restricciones de signo para cada variable son del tipo mayor o igual que cero. Esto se logra introduciendo nuevas variables, de las cuales algunas reemplazaran a las variables originales.

En la conversión de las desigualdades a ecuaciones se procede a hacer lo siguiente: en las restricciones (\leq), el lado derecho puede representar el límite de disponibilidad de un recurso, y en ese caso el lado izquierdo representaría el uso de ese recurso limitado por parte de las variables del modelo. La diferencia entre el lado derecho y el lado izquierdo de la restricción (\leq) representa, por consiguiente, la cantidad no usada u holgura del recurso.

Para convertir una desigualdad (\leq) en ecuación, se agrega una variable de holgura (slack variable) al lado izquierdo de la restricción. Se suma al primer miembro y la desigualdad se convierte en igualdad, añadiéndose la restricción de signo a la nueva variable $x_i \geq 0$.

Una restricción (\geq) establece, normalmente, un límite inferior para las actividades del modelo de programación lineal. Como tal, la cantidad por la que el lado izquierdo es mayor que el lado derecho o límite mínimo representando un excedente. La conversión de (\geq) a ($=$) se logra restando una variable de excedencia (excess variable), del lado izquierdo de la desigualdad. Se resta al primer miembro y la desigualdad se convierte en igualdad, añadiéndose la restricción de signo a la nueva variable $x_i \geq 0$.

Para desarrollar la solución la transición de la solución del punto esquina geométrico hasta el método simplex implica un procedimiento de cómputo que determina en forma algebraica los puntos esquina. Esto se logra convirtiendo primero a todas las restricciones de desigualdad en ecuaciones, para después manipular esas ecuaciones en una forma sistemática. Una propiedad general del método simplex es que resuelve la programación lineal en iteraciones, cada iteración desplaza la solución a un nuevo punto esquina que tiene potencial de mejorar el valor de la función objetivo, el proceso termina cuando ya no se pueden obtener mejoras.

El método simplex sigue siendo la herramienta más poderosa para resolver problemas de programación lineal ya que este método encuentra la solución óptima del modelo, evaluando la función objetivo, en cada vértice de la región factible.

El modelo de transporte sirve como aplicación para la planeación de distribución de bienes y servicios, plantea que uno de los objetivos del problema es minimizar el costo total de transportar ciertos artículos desde algún origen a varios destinos teniendo en cuenta que la oferta es limitada en los orígenes y se debe satisfacer la demanda en los destinos (Soler, *et al.*, 2007). Cualquier empresa con una red de puntos de suministro y demanda enfrenta este problema, siendo el modelo esencial para determinar el mejor patrón de embarque a fin de minimizar los costos totales de transporte (Heizer y Render 2009).

2.9 Metodología

El modelo presentado se fundamentó en el problema de transporte hecho por Frank L. Hitchcock en 1941 en su artículo “The distribution of a product from several sources to numerous localities” y posteriormente por B.C Koopmans en 1951 “A model of transportation”. La resolución del problema fue iniciada por G. B Dantzig en 1947 a partir del método simplex. Posteriormente se han encontrado algoritmos que resuelven el problema de una manera rápida y sencilla (Alonso *et al.*, 1999).

Según Alonso *et al.* (1999), el autor Hitchcock, describe el modelo de transporte de la siguiente manera: dados (m) centros productores que se dedican a la producción de un producto y (n) centros consumidores de dicho producto. Como consecuencia de la diferente localización de los centros productores y consumidores, el costo de una unidad de producto varía de una ciudad a otra. La resolución del problema de transporte determinará las cantidades a enviar desde cada centro productor a cada centro consumidor, obligando en la resolución que las soluciones encontradas satisfagan la condición impuesta de costo mínimo.

2.9.1 Formulación del modelo

En la investigación se elaboró un modelo similar de transporte propuesto por Alonso *et al.* (1999). En función de lo anterior el modelo ha sido adaptado de acuerdo a las variables, para este caso se modelara el comportamiento del año 2013 considerando una economía abierta donde la producción abastece a la nación y su excedente lo exporta a otros países.

En el modelo se incluyeron variables económicas y se calculó la demanda de los centros consumidores, la capacidad de las unidades de producción y el costo de transporte desde cada centro productor hasta los centros demandantes o consumidores.

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. Un destino puede recibir su cantidad demandada de uno o más orígenes.

De acuerdo a la metodología propuesta es posible expresar y representar las variables 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).

A continuación se describe el modelo general matemático utilizado. Cuando la producción de tuna (*Opuntia* spp.) supera la demanda nacional, en el modelo de transporte se consideró esta situación.

Cuando se determinan las cantidades demandas y las ofertadas 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 forma general de la siguiente manera:

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

$$X_{ij} \geq 0$$

$i = 1, 2, \dots, m$ (regiones productoras)

$j = 1, 2, \dots, n$ (regiones consumidoras)

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

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

$$\begin{aligned} X_{11}+X_{21}+X_{31}+\dots\dots\dots+X_{m1}&=D_1 \\ X_{12}+X_{22}+X_{32}+\dots\dots\dots+X_{m2}&=D_2 \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ X_{1n}+X_{2n}+X_{3n}+\dots\dots\dots+X_{mn}&=D_n \end{aligned}$$

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 x 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.

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 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

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

Este es el caso para una economía de mercado cerrada donde la diferencia entre oferta y demanda se procesa o se industrializa ya que no recurre a mercado abierto. Mediante el modelo general y como consecuencia de alguna modificación se pueden determinar que centros productores presentan excedentes.

Para poder resolver este problema mediante el modelo es necesario crear o considerar un centro de consumo, el cual se le envíe la cantidad sobrante. Para este caso serán 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, como a continuación se describe: cuando la oferta total es igual a la demanda total, la formulación resultante recibe el nombre de modelo de transporte balanceado.

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

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

El modelo en el mercado abierto para la producción del año 2013 se extiende, quedando equilibrado, ahora se incluyen los puntos frontera; los cuales fungen como centros de consumo absorbiendo la diferencia entre oferta y demanda, con sus respectivos costos de transporte, siendo los puertos fronterizos por donde puede salir el excedente de producción; los cuales en el modelo son expresados como nuevos estados demandantes y forman parte de la función objetivo agregándose como: $C_{ij}F_{11}+C_{ij}F_{12}...+C_{ij}F_{mn}$, formando parte también de las restricciones de demanda, agregándose como: $X_1F_1+X_2F_2...+X_mF_n$.

Se calculan los costos de transporte de cada origen a cada uno de los puntos frontera, y se agregan a la función objetivo como $C_{ij}F_{ij}$ y a las restricciones de demanda.

Con estas condiciones se forman las siguientes ecuaciones que condicionan a la función objetivo. Las restricciones de oferta dejan de ser desigualdades y se cambian a igualdades y las restricciones de demanda quedan con el mismo signo de igual; indicando que se cubra toda la demanda de cada uno de los estados y se realice toda la oferta excedente, quedando ahora como 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

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

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

Demanda

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

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

Planteado el modelo, se procesó en el software computacional "LINDO^{TM5}", versión 6.1, algunos otros que presentan estructuras complejas, con la capacidad de convertir mediante transformaciones o artificios diversos resoluciones exactas con algoritmos específicos. Para este caso "LINDOTM", es el que mejor se adaptó a este modelo de optimización por el número de variables.

⁵LINDOTM Software Linear, Interactive and Discrete Optimizer (LINDO).

En función de la metodología anterior y la propuesta por Ramírez (2013), en el modelo de transporte de costo mínimo para cebolla en México y por Toxqui (2013), en el modelo de transporte de maíz blanco en México, quienes utilizaron esta herramienta computacional para resolver problema de transporte por medio de la programación lineal.

Al resolver el modelo para cada uno de los escenarios mercado abierto y mercado cerrado; este indicará el valor de la función objetivo y cuáles serán las cantidades óptimas que deban enviarse de cada origen a cada uno de los destinos.

En el análisis de sensibilidad los orígenes que en los modelos no distribuyan el total de su producción excedente; es decir, los que aparecen con valores en el costo reducido se consideran variables no básicas, siendo los orígenes menos mejor ubicados, indicando el costo o disminución que tendrá la función objetivo por cada unidad que se trate de “relajar” o agregar para su distribución. Mientras que los orígenes que queden con valor cero en el costo reducido se consideran variables básicas, considerándose en el modelo como los mejores orígenes mejor ubicados.

En las salidas del modelo para los resultados de costo mínimo, indican cuanto aumentaría la función objetivo si se agregara una unidad más de oferta en los lugares mejor ubicados. En el primer modelo únicamente se considera mercado abierto donde la producción abastece a la nación y se tiene superávit, considerando los puntos frontera como nuevos demandantes para que de esta manera quede equilibrado.

En el segundo modelo donde se incluye el aumento en el consumo, el modelo cerrado indicara que estado lo presenta, considerando que la producción y el consumo son sólo los que se tienen en el país, donde solo se puede transformar, procesar o industrializar.

La interpretación de los resultados del mercado abierto es semejante al de un mercado cerrado, solo que ahora son más destinos y unos son nacionales y otros puntos frontera. Los resultados del modelo indican cuales son los puntos frontera mejor ubicados para la distribución del excedente de tuna para enviar al extranjero.

De esta manera el problema general consistió en determinar los valores de X_{ij} que deben enviarse de las regiones productoras hacia las regiones consumidoras para el caso de México, satisfaciendo las restricciones planteadas y minimizando la función objetivo, la resolución del modelo arrojó los mejores valores de envío X_{ij} considerando el mínimo C_{ij} .

Una vez resuelto el problema y obtenida la solución por medio del software LINDO™, se puede determinar la dimensión de la distribución nacional y mejores puntos de ubicación para exportación. Procurando siempre que los que envían parte de su producción a otros estados y exportación es porque tienen excedentes.

2.9.2 Datos generales y fuentes de información

Para realizar esta investigación se documentó inicialmente la bibliografía para describir la caracterización de la importancia del cultivo nopal tuna en la República Mexicana, analizando las variables técnicas y económicas de las zonas de producción.

Posteriormente la información se recopiló de bases de datos de instituciones como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA-SIAP, 2013); la Secretaría de Economía y del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2013-2014), para conocer aspectos técnicos de superficie sembrada, superficie cosechada, producción, valor de la producción, rendimiento y precios del producto anuales a nivel nacional, estatal y regional.

De igual manera se documentó información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) para obtener datos del censo poblacional 2010, para determinar el consumo nacional aparente y consumo estatal, de igual para la población actual se obtuvo de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), al cuarto trimestre de 2013.

La información sobre los costos de transporte para desplazar productos, bienes y servicios es muy variado en forma y tamaño por lo que resulta difícil calcular los costos de cada una de las opciones, en este trabajo se consideró solo un medio de transporte para el cálculo.

En la distribución se consideró un tracto camión de cinco ejes (SCT, 2014), con caja cerrada de 53 pies de longitud (16.15 m de largo total x 2.79 m de alto x 2.55 m de ancho), con capacidad de 28 ton, para cada envío de zona origen a zona de destino.

Para el cálculo de los costos de transporte terrestre de carga por carretera en camión de cada una de las rutas origen con su respectivo destino, se obtuvieron de la empresa dedicada al servicio público federal de carga regular nacional e internacional "Transportes Avancarga" con domicilio fiscal en Calle Aliso 5210, Los Encinos, Nuevo Laredo, Tamaulipas; código postal 88290. Con oficinas en Calle Lorenzo Barcelata 3-3, esquina José Martí, ejido 1° de mayo norte, Boca del Río Veracruz, código postal 94297.

La empresa establece los precios de los fletes de la siguiente manera: para flete local con destino y origen dentro de la misma ciudad, de 0 hasta 30 km, tiene un costo de \$2,600.00 moneda nacional. Para fletes foráneos cuando el destino se ubique fuera de la ciudad de origen o la circulación sea por carretera federal, será el costo de un flete local más \$18.00 por kilómetro recorrido, aclarando la organización que las tarifas aquí señaladas pueden ser modificadas por acuerdo entre las partes previo a la solicitud y aceptación del servicio.

Los orígenes a destino rebasan los 30 km, resultando la ecuación siguiente:
tarifa = $[2600+18(D)]$.

La cifra (\$2600) representa el costo de un flete local, el (\$18) el costo por kilómetro recorrido, la letra (D) representa la distancia, la cual se obtuvo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México. Finalmente al costo total se le agregó el Impuesto al Valor Agregado (IVA) que consta de 16% sobre el costo total del flete, caso de México. Para conocer el precio por tonelada se dividió el costo total de flete entre 28 ton, cifra que corresponde a la capacidad del tracto camión utilizado para cada envío.

Los costos de operación del transporte son muy variables, porque están en función del mantenimiento que se le proporcione al vehículo, la forma de conducción, los tipos de caminos por donde circulan los vehículos, el nivel de utilización, etc. La complejidad de cálculo de los costos de operación crece aún más cuando se dispone de una flota heterogénea, con diferentes marcas, tipos de motor, edad de las unidades, tamaño de la flota, etc. (SCT, 2013).

Finalmente a través del portal electrónico de la Secretaría de Economía (SE) en el Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI, 2014) y de la dependencia gubernamental Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA, 2014), a través de la Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones se consiguieron series estadísticas de comercio exterior, analizando las exportaciones, importaciones y puertos de salida de la fracción arancelaria del fruto de estudio.

III. SITUACIÓN DEL MERCADO DE LA TUNA

3.1 Antecedentes

El fruto del nopal tuna (*Opuntia* spp.), tiene de existencia más de 25,000 años, se tienen antecedentes de que ayudó a los primeros pobladores de América a subsistir proporcionándoles alimentos, medicinas y forrajes para animales silvestres y domesticados, convirtiéndose en un producto de gran tradición y símbolo a lo largo de la historia de México (Flores, De Luna y Ramírez, 1995; ASERCA, 2011).

Las plantas del género *Opuntia* son nativas de varios ambientes, desde zonas áridas al nivel del mar hasta territorios de gran altura como los Andes del Perú; desde regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre por sobre los 5 °C a áreas de Canadá que en el invierno llegan a -40 °C (Nobel, 1999).

El género *Opuntia* se encuentra distribuido desde la provincia de Alberta, en Canadá, hasta la Patagonia en Argentina; encontrándose principalmente en las zonas desérticas del sur de Estados Unidos de América, de México y de América del Sur. El nopal tunero fue llevado por los colonizadores españoles a Europa y de ahí fue introducido a diferentes partes del mundo; ahora se le encuentra en condición cultivada y silvestre en España, Portugal, Italia, Chile, Estados Unidos de América, Brasil, Argentina, Israel, Sudáfrica, Argelia, Jordania, entre otros (Fundación Produce SLP, 2003).

Se tiene conocimiento de casi 300 especies del género *Opuntia*, sin embargo, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitas para alimentación humana, forraje o cochinilla para obtención de colorante. Entre ellas se encuentran, como especies cultivadas para producción de fruta: *Opuntia ficus-indica*, *O. amyclaea*, *O. xocconostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. Como especies silvestres: *Opuntia hyptiacantha*,

O. leucotricha y *O. robusta*. De las especies citadas, la más ampliamente cultivada en distintas partes del mundo es *Opuntia ficusindica*; es más, en la cuenca del Mediterráneo es la única *Opuntia* que se cultiva (Uzun, 1996).

Los frutos de *Opuntia ficus-indica* son dulces, jugosos, de color amarillo, anaranjado, rojo o púrpura, con mucha pulpa y cáscara de grosor variable, pero generalmente delgada. Los frutos de *O. xocconostle* o tuna cardona son más pequeños, de sabor ácido, exteriormente de color verde-púrpura y rosados en el interior. *O. streptacantha* produce frutos de color púrpura, jugosos y dulces (Scheinvar, 1999), no muy resistentes para su manejo, de fácil descomposición y que maduran muy rápidamente lo que impide una comercialización en gran escala, por consecuencia es la especie preferida para producir bebidas fermentadas (López *et al.*, 1997).

Las diferentes variedades son reconocidas y agrupadas por características tales como: sabor del fruto, color del fruto, características morfométricas de la planta y del fruto, calidad del fruto, época de maduración y procedencia; lo que permite que el consumidor pueda deleitarse el paladar con sabores dulces o menos dulces, las preferencias son muy variadas y van en función del país, tipo de población, etc. No obstante, la mayoría de las plantaciones comerciales de nopal tunero se basan en un número reducido de cultivares (SAGARPA, 2004).

Los brotes tiernos (nopalitos) de *Opuntia ficus-indica* y de otras especies se utilizan, principalmente en México, para la producción de nopal verdura. Para la cría de la cochinilla se destinan tanto *O. ficus-indica* como *O. cochenillifera*. En Brasil, Chile y México, entre otros, se utiliza primordialmente *Opuntia ficus-indica* para la obtención de forraje. Las características de estas especies son variables, diferenciándose en la forma de los cladodios, en la presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y color de los frutos (FAO, 2006).

El nopal es uno de los íconos más representativos de la cultura mexicana hay evidencias de sus primeros usos en México, además en este país es donde se encuentran la mayor diversidad y abundancia (Méndez y Herrera, 2006). La gran utilización a lo largo de la historia por parte de la cultura mexicana ha sido aprovechada en la alimentación humana desde hace miles de años, la explotación prehispánica del nopal se realizó con base en el proceso de recolectar frutos y brotes tiernos de las nopaleras silvestre.

El potencial productivo del nopal en México, radica en la riqueza y diversidad de su material genético, ofreciendo tunas en diversas de tonalidades: rojas, blancas, amarillas; y de diversos sabores que van desde ácidos a dulces, además es poseedora de propiedades y características que le dan ventajas para competir en los mercados nacionales e internacionales con frutas consideradas como exóticas o finas; además de su exquisito sabor y su contenido nutrimental destaca su alto contenido de calcio, fósforo, potasio, vitamina C y energía (Méndez, 2006; Ramírez, 2010).

En la mayor parte del mundo la planta florece una vez al año, el fruto llamado tuna es carnoso, su forma, tamaño y color es variable (Financiera Rural, 2011). El fruto es carnoso, de forma ovoide a esférica, su tamaño y color varía según la especie; pueden ser verdes, blancuzcas o rojas, teniendo espinas finas y frágiles que miden entre dos y tres milímetros, en su interior la pulpa es gelatinosa y tiene bastantes semillas (SIAP-SAGARPA, 2013).

Los cultivos se pueden encontrar desde el nivel del mar hasta los 3,000 metros de altura, desarrollándose mejor entre los 1,700 y 2,500 msnm. Tienen una gran adaptabilidad a distintos tipos de suelo: los sueltos, los arenosos calcáreos, las tierras poco fértiles, los terrenos pedregosos, sin embargo, los suelos muy arcillosos o muy húmedos no son convenientes. Las principales especies de tuna cultivadas en México son: *Opuntia amyclaea*, *Opuntia ficus indica*, *Opuntia joconoxtle*, *Opuntia megacantha* y *Opuntia streptocantha*; las que se recolectan en

forma natural son *Opuntia hyptiacantha*, *Opuntia leucotricha* y *Opuntia streptacantha* (SIAP-SAGARPA, 2013).

La denominación del fruto carece de un nombre generalizado, conociéndose en la mayoría de los países con nombre propio de cada región. Se cree que el nombre original en náhuatl es nochtli, sin embargo los españoles rebautizaron al nopal con el nombre de chumbera y el fruto como higo de Indias, en la actualidad higo chumbo (FAO, 2006).

Estudios realizados por FAO (2006), describen que en algunos países como: Italia se conoce como fico d'India, en Francia le llaman figue de Barbarie; en Estados Unidos de América y Sudáfrica prickly pear, (nombre que está evolucionando actualmente a cactus pear, a fin de eliminar el término considerado algo peyorativo de prickly, espinoso en castañano); en Israel se conoce como sabras, que significa espinoso por fuera pero dulce por dentro, mientras en Eritrea y Etiopía son llamados beles.

Caso particular en de la India donde se conocen, según las lenguas locales como nagphani, anda torra o chapathi balli y últimamente en Brasil como palma forrageira, ya que se cultiva principalmente para la producción de forraje.

Este jugoso y dulce fruto accesible para los distintos estratos sociales se consume en estado fresco, en el campo, o como fruta de temporada, en el hogar, sola o condimentada. También utilizada en la agroindustria para hacer mermeladas y jaleas, néctar, tunas en almíbar, bebidas alcohólicas, cócteles, pasteles, galletas, helados, colorantes etc. (FAO, 2006).

FAO (2006), menciona como el uso integral de esta especie representa un gran atractivo para el sector agroindustrial. A continuación se mencionan algunos sectores que se benefician con productos obtenidos a partir de nopales, de acuerdo con la:

- Agroindustria de alimentos y bebidas para consumo humano (producción de diversos alimentos como encurtidos, mermeladas, jugos, néctares, productos deshidratados, concentrados, jarabes y bebidas alcohólicas de tuna y nopalitos)
- Agroindustria de alimentos para animales (suplementos y piensos de pencas y de desechos de la industria procesadora de tuna, como las cáscaras y semillas)
- Industria farmacéutica (protectores gástricos de extractos de mucílago; cápsulas y tabletas de polvo de nopal)
- Industria cosmética (cremas, champúes, lociones de cladodios)
- Industria de suplementos alimenticios (fibra y harinas de cladodios)
- Industria productora de aditivos naturales (gomas de cladodios; colorantes de la fruta)
- Sector de la construcción (compuestos ligantes de los cladodios)
- Sector energético (producción de biogás a partir de las pencas)
- Sector productor de insumos para la agricultura (productos del nopal como
- Mejoradores del drenaje de suelos)
- Sector turismo (artesanías en base a cladodios lignificados)
- Industria textil (uso de colorantes naturales como el carmín de cochinilla)

Este cultivo mítico y tradicional de México está fomentando el arraigo de los campesinos a sus tierras, ya que mediante la producción, la recolección y la venta, tanto de frutos como de brotes tiernos obtienen un ingreso adicional que complementa el gasto familiar (Gallegos y Méndez, 2000). En conclusión México es el mayor productor mundial considerado como centro de origen y dispersión de la planta, la cual es carnosa, engrosada y espinosa. Se cultiva en zonas desérticas y semidesérticas para solucionar problemas de erosión del suelo, como forraje, para consumo humano como hortaliza (nopalito) pero sobre todo por la comercialización de su fruto (Murray, 1999; Mondragón, 2001; Méndez, 2006; Guevara *et al.*, 2009; Zegbe *et al.*, 2014).

3.2 Situación en el mercado internacional

De acuerdo a la escasa información existente el cultivo de nopal tunero en el mundo reporta producción en 32 naciones, entre los cuales figuran México, Túnez, Argentina, Bolivia, Perú, Colombia, Estados Unidos de América, Sudáfrica, Marruecos, Argelia, Libia, Egipto, Jordania, Pakistán, Israel, Chile, Grecia, Italia, España y Portugal. En la mayoría de los países es considerado un producto secundario de nopaleras dedicadas a la producción de forraje o a la conservación de suelos, siendo pocas las plantaciones especializadas en la producción de tuna, las que en su mayoría concurren en mercados nacionales, no participando en el mercado internacional (Flores *et al.* 1995; 2003).

La superficie cultivada para el año 2000 ascendió a 1'114,000 ha, encontrándose como líder África del este (Eritrea, Etiopia, Somalia y Sudán) con 44% del total, seguida por África del sureste (Madagascar, Mozambique y Namibia) contribuyendo con 26% y Túnez con 10.86%. Consecutivamente esta México con 6.51%, los cuales aportan 90% del total. Para México se tuvieron 72,500 ha., muy superior a Italia, Sudáfrica, Chile, Israel y Estados Unidos de América (Flores *et al.*, 1995; 2003).

De acuerdo a la información del Cuadro 3.1 sobre la producción, se aprecia como México presenta un volumen muy superior a la de los otros países productores a pesar de los bajos rendimientos, dada su gran superficie. Para el año 2000 se obtuvo un volumen de producción de 973,400 ton de tuna, de las cuales México contribuyó con 44%, seguido de Túnez con 12.8%, Argentina 7.7%, Italia 6.6%, Sudáfrica 3%, otros países restantes 25.9%.

En el Cuadro 3.1 se mencionan los países productores de tuna en el mundo, la participación porcentual, superficie sembrada, rendimiento y sistema de producción.

Cuadro 3.1. Países productores de nopal tuna y sus características año 2000.

País	Producción (ton)	Part. (%)	Superficie sembrada (ha)	Part. (%)	Rendimiento (ton/ha)	Sistema de producción
Países exportadores de tuna:						
México	435,000.00	44.69	72,500.00	6.51	6.00	extensivo
Italia	40,000.00	4.11	2,500.00	0.22	16.00	intensivo
Italia	25,000.00	2.57	25,000.00	2.24	1.00	extensivo
Sudáfrica	15,000.00	1.54	3,000.00	0.27	5.00	extensivo
Sudáfrica	15,000.00	1.54	1,500.00	0.13	10.00	intensivo
Chile	8,000.00	0.82	1,000.00	0.09	8.00	plantaciones
Israel	6,000.00	0.62	300.00	0.03	20.00	intensivo
Estados Unidos de América	4,000.00	0.41	200.00	0.02	20.00	intensivo
Colombia	2,000.00	0.21	200.00	0.02	10.00	intensivo
Países productores de forraje, nopalito y tuna, para mercado nacional:						
Túnez	120,000.00	12.33	120,000.00	10.77	1.00	extensivo
Túnez	5,000.00	0.51	1,000.00	0.09	5.00	intensivo
Eritrea, Etiopia, Somalia y Sudán	50,000.00	5.14	500,000.00	44.88	0.10	extensivo
Madagascar, Mozambique y Namibia	30,000.00	3.08	300,000.00	26.93	0.10	extensivo
Argentina	60,000.00	6.16	10,000.00	0.90	6.00	extensivo
Argentina	15,000.00	1.54	1,000.00	0.09	15.00	intensivo
Perú	56,000.00	5.75	8,000.00	0.72	7.00	intensivo
Marruecos	50,000.00	5.14	50,000.00	4.49	1.00	extensivo
Argelia	21,000.00	2.16	7,000.00	0.63	3.00	extensivo
Libia	6,000.00	0.62	2,000.00	0.18	3.00	extensivo
Egipto	5,000.00	0.51	5,000.00	0.45	1.00	extensivo
Bolivia	2,000.00	0.21	1,000.00	0.09	2.00	extensivo
Ecuador	1,200.00	0.12	600.00	0.05	2.00	extensivo
Jordania	1,000.00	0.10	1,000.00	0.09	1.00	extensivo
Líbano	300.00	0.03	300.00	0.03	1.00	extensivo
España	300.00	0.03	300.00	0.03	1.00	extensivo
Siria	200.00	0.02	200.00	0.02	1.00	extensivo
Turquía	100.00	0.01	100.00	0.01	1.00	extensivo
Portugal	100.00	0.01	100.00	0.01	1.00	extensivo
Grecia	100.00	0.01	100.00	0.01	1.00	extensivo
Brasil	100.00	0.01	100.00	0.01	1.00	extensivo
Total	973,400.00	100.00	1'114,000.00	100.00	5.00	extensivo

Fuente: Flores *et al.*, 2003.

Como se puede observar en el cuadro anterior son seis los principales países en el mundo que producen tuna y concurren al mercado internacional: con alta proporción México, Italia, Sudáfrica, con mediana Chile e Israel y poca Estados Unidos de América.

Los países que solo tienen producción para distribuir su mercado interno como Argentina y Perú empiezan a tener más participación debido a la superficie destinada a la producción y los buenos rendimientos obtenidos. De esta manera Argentina consigue rendimientos de 21 ton/ha, siendo el sistema de producción extensivo el que más prevalece con 15 ton/ha, y 6 ton/ha, en el sistema de producción intensivo, juntos reúnen un volumen de producción de 65,000 toneladas, mientras que Perú logra rendimientos de 7 ton/ha., en tan solo 8,000 has, alcanzando las 56,000 toneladas de producción.

La gran ventaja que tiene el mercado de la tuna mexicana es la gran variedad y abanico de colores existentes del fruto, respecto a los otros países donde su producción la basan casi totalmente en una sola variedad, lo que pone de manifiesto el gran potencial que puede desarrollar nuestro país en el comercio internacional.

El sistema de producción en México presenta los rendimientos más bajos por hectárea, debido a que casi la totalidad de las plantaciones se localizan en áreas sin riego, con mal temporal y suelos pobres, además de que la gran parte de productores, por falta de recursos, no atienden adecuadamente las plantaciones, siendo un cultivo secundario a sus labores o actividades desempeñadas diarias (Financiera Rural, 2011).

Italia posee una gran experiencia en el cultivo, para el año 2000 registró un volumen de producción de 65,000 ton, resultado del crecimiento favorable, aunado a la gran dinámica de comercialización y mayor demanda que se tiene en el mercado.

En el caso de este participativo país el volumen de producción registrado concentra su producción en una sola especie y tres variedades de tuna, amarilla, roja y blanca, predominando la amarilla en un 90%, siendo la más apreciada en esa nación, cultivando en un sistema de producción intensivo donde alcanza los mejores rendimientos de 16 ton/ha.

Actualmente está intensificando el establecimiento de un cultivar llamado Apirena, teniendo como característica un alto porcentaje de semillas abortivas. La producción se concentra 95% en Sicilia en las colinas de San Cono, Santa Margherita Belice, Miletello Val di Catania e Belpasso y en menor proporción en Puglia, Calabria y Cerdeña.

Las prácticas de cultivo como la “scozzolatura” (atraso o demora de la cosecha eliminando las yemas que aparecen en la primavera para alcanzar la maduración hasta el otoño), además de producir en plantaciones de nopal espontaneas en serranías, terrenos ociosos e improductivos, incluso en huertos compartidos con cítricos y olivos (Méndez y Gallegos, 2006).

La caracterización de Italia en sus cultivos es la alta densidad de plantaciones conformando cercos perfectos en los terrenos por el uso de riego y prácticas que permiten demorar la cosecha, el aclareo del fruto y altas dosis de fertilizantes, alcanzando rendimientos de hasta 25 ton/ha. Asimismo, este país dispone de mejores instalaciones de empaque y una eficiente red de distribución (Financiera Rural, 2011). Italia es considerada la principal zona exportadora ya que tiene los rendimientos más altos por hectárea.

En Sudáfrica los volúmenes de producción cada vez registran significativos aumentos por 30,000 ton, esto se debe al incremento de la superficie dedicada a nopal tunero, ya que anteriormente solo incursionaba en producción de nopal para forraje; la mayoría de su producción se consume en los mercados del país;

exportando cantidades no especificadas aprovechando que son cosechadas en el verano austral de diciembre a marzo (Flores *et al.*, 1995; 2003).

En Chile el volumen de producción en el año 2000 fue de 8,000 toneladas ocupando una superficie de 1,000 has teniendo rendimientos de 8 ton/ha. En este país la cosecha se presenta en dos épocas: la de otoño que es la más importante en volumen, se presenta en los meses de marzo a abril y la otra de menor volumen denominada “inverniza”, en octubre (Flores *et al.*, 1995; 2003).

De acuerdo a estudios realizados por Flores *et al.* (2003) los productores chilenos de tuna aprovechan las siguientes condiciones:

- Producción de tuna en su otoño austral; es decir, en los meses de primavera del Hemisferio norte, por lo que concurren al mercado externo casi sin competencia.
- El considerado boom frutícola chileno, desarrollando tecnología de producción, transporte y comercialización, de modo que han ingresado con su variedad frutícola a los mercados de otros países durante los meses de invierno.

La producción en el país de Israel se caracteriza por tener cultivos comerciales con un alto nivel tecnológico, contando con riego, fertilización, forzamiento de fructificación, etc. Los israelitas consumen casi toda su producción y han exportado a países europeos solo en pequeñas cantidades y de manera esporádica (Flores *et al.*, 1995; 2000). En el año 2000 las hectáreas destinadas para siembra fueron tan solo 300, obteniendo rendimientos de 20 ton/ha, para así reunir 6,000 toneladas del fruto

La situación de los Estados Unidos de América para el año 1991, respecto a la producción fue de 4,000 toneladas, volumen que se ha mantenido hasta el año

2000; gracias a la alta tecnología como el riego, fertilización, forzamiento y aclareo en fructificación, logrando que su producción sea de octubre a marzo.

La producción de tuna se lleva a cabo en la región de Salinas California y en el Valle de Santa Clara, por inmigrantes italianos quienes establecieron la primera plantación en el año 1906, los creadores fueron Stephen y Andrew D'Arrigo originarios de Messina Sicilia, actualmente siembran la especie roja (*Opuntia ficus-indica*) utilizando un alto nivel tecnológico, empleo de riego, fertilización generalizada, además de mejores prácticas de manejo en las fases de producción, cosecha y poscosecha.

Es importante mencionar que la producción la obtienen fuera de temporada, obteniendo dos cosechas al año, destinando el 100% de la misma al consumo interno, sus mercados de consumo es en población italiana en el noreste (Nueva York y Massachusetts) aunque han exportado a Canadá y esporádicamente a Japón (Flores *et al.*, 1995; Gallegos, 2000).

3.3 Situación en el mercado nacional

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 (SIACON, 2012).

Los cultivos existentes producen tuna de distintas variedades con valores nutritivos saludables para la salud, gozando de estos beneficios respecto a otros países donde solo se produce comercialmente de uno o dos cultivares. Además de las diferentes propiedades organolépticas la valoración aceptable de calidad, tamaño, sabor, apariencia etc.

El cultivo de tuna en México para el periodo 2004-2013 respecto a los 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, como se muestra en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.2. Superficie sembrada de los principales frutales 2004-2013. Miles de hectáreas.

Cultivo	Promedio 2004-2013	Participación (%)	TCMA ^{1/}	VAR(%) ^{2/}
Naranja	338.26	27.08	-0.45	-3.99
Mango	181.98	14.57	0.62	5.76
Limón	154.13	12.34	1.69	16.25
Aguacate	129.36	10.36	5.72	65.01
Plátano	78.45	6.28	-0.84	-7.31
Manzana	61.29	4.91	-0.02	-0.21
Tuna	53.92	4.32	0.76	7.04
Sandia	45.37	3.63	-2.02	-16.78
Durazno	43.94	3.52	-1.34	-11.42
Piña	31.67	2.54	2.30	22.70
Uva	29.70	2.38	-2.04	-16.92
Guayaba	22.62	1.81	-1.21	-10.37
Melón	22.39	1.79	-1.84	-15.43
Mandarina	19.07	1.53	5.14	57.06
Papaya	18.95	1.52	-3.32	-26.18
Toronja	18.06	1.45	-0.25	-2.19
Total	1,249.16	100.00	0.61	5.61

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2014.

^{1/} Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/} Variación porcentual del periodo 2004-2013

En México el total promedio de la superficie sembrada de los principales frutales es de 1'249,164.59 hectáreas, destinando 53,919.08 ha, para producir tuna, cosechando 46,737.34 ha, obteniendo un volumen promedio de 397,467.55 toneladas.

Como se puede apreciar la tuna se mantiene en participación positiva dentro de las frutas de temporal más demandadas a nivel nacional, registrando una tasa de

crecimiento media anual (TCMA) de 0.76% pasando de 52,143.91 ha, sembradas en 2004 a 55,812.40 ha, en 2013.

El cultivo de tuna representa 4.32% de la superficie sembrada dentro de los dieciséis principales frutales, quedando por debajo de la naranja que ocupa el 27.08%, el mango 14.57%, limón 12.34%, aguacate 10.36%, plátano 6.28% y manzana 4.91%. Siendo superior en superficie establecida a otros frutales como sandia, durazno, piña, uva, guayaba, melón, mandarina, papaya y toronja quienes juntos reportan el 20.16% del total nacional, situación que refiere al Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3. Volumen de producción de los principales frutales en México 2013. Miles de toneladas.

Cultivo	Promedio 2004-2013	Part. (%)	TCMA ^{1/}	VAR(%) ^{2/}
Naranja	4,119.43	25.05	1.15	10.88
Plátano	2,172.87	13.21	-1.15	-9.88
Limón	1,987.44	12.08	1.15	10.87
Mango	1,578.36	9.60	0.21	1.94
Aguacate	1,183.46	7.20	4.50	48.67
Sandia	1,012.50	6.16	-0.57	-5.01
Papaya	730.35	4.44	-0.33	-2.94
Piña	697.00	4.24	1.60	15.35
Manzana	578.62	3.52	4.60	49.87
Melón	560.85	3.41	0.56	5.15
Tuna	397.47	2.42	2.69	26.96
Toronja	395.61	2.41	0.44	4.03
Uva	309.24	1.88	1.54	14.79
Guayaba	295.39	1.80	-0.17	-1.52
Mandarina	234.20	1.42	4.74	51.70
Durazno	193.24	1.17	-2.47	-20.15
Total	16,446.03	100.00	0.98	9.21

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2014.

^{1/}Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/}Variación porcentual del periodo 2004-2013

De 2004 a 2013 la producción tuvo un incremento porcentual de 9.21% al pasar de 16,197.34 miles de toneladas a 17,688.45 miles de toneladas actualmente, siendo la mandarina, manzana, aguacate los que experimenten mayor crecimiento, los de

mediano crecimiento la piña, uva, naranja, limón y con bajo desarrollo melón, toronja, mango; resultando crítico los frutales con decrecimientos como el durazno, plátano, sandía y guayaba.

De acuerdo al total promedio de la producción de 16´446,037.86 toneladas de las principales frutas producidas, la tuna participa solo con 2.42% produciendo en promedio 397,467.55 toneladas en comparación con otras. Siendo las más importantes la naranja, plátano, limón, mango y aguacate, estas cinco frutas representan el 67.14% de la producción nacional, seguido de la sandía, papaya, manzana, piña y melón con 21.76%, las restantes toronja, uva, guayaba, mandarina y durazno 8.68%.

El valor de la producción de la tuna está en un nivel considerable ocupando el catorceavo lugar con 1,003.08 millones de pesos, por las toneladas producidas, teniendo la tasa de crecimiento media anual (TCMA) más alta después del aguacate participando con 12.70%. Los mejores precios los tiene el aguacate debido a que está posicionado en los primeros lugares de venta y producción, abasteciendo al mercado internacional, seguido del plátano, limón, naranja, uva, mango y nuez. Finalmente la mandarina está en último lugar con solo 0.48% del valor de la producción.

Cuadro 3.4. Valor de la producción de los principales frutales en México 2013. Miles de pesos.

Cultivo	Promedio 2004-2013	Part. (%)	TCMA ^{1/}	VAR(%) ^{2/}
Aguacate	12,934,842.68	25.56	12.85	196.76
Plátano	4,827,386.39	9.54	5.32	59.47
Limón	4,599,811.59	9.09	8.52	108.65
Naranja	4,478,543.54	8.85	6.53	76.67
Uva	4,295,815.29	8.49	10.59	147.41
Mango	3,979,859.92	7.86	3.43	35.47
Manzana	2,584,650.61	5.11	-2.68	-21.72
Papaya	2,474,514.78	4.89	6.35	73.97
Sandía	2,251,246.78	4.45	3.49	36.20
Piña	1,952,866.09	3.86	4.31	46.15
Melón	1,820,521.09	3.60	3.07	31.27
Durazno	1,254,789.88	2.51	25.73	685.33
Guayaba	1,079,834.69	2.48	1.61	15.47
Tuna	1,003,084.71	2.13	5.35	59.90
Toronja	558,096.19	1.10	3.28	33.69
Mandarina	242,054.84	0.48	13.13	203.48
Total	50,337,919.06	100.00	6.10	70.33

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2014.

^{1/} Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/} Variación porcentual del periodo 2004-2013

Cabe mencionar que el rendimiento de la tuna ha ido en aumento al pasar de 8.57 a 9.59 ton/ha; creciendo cerca de 12% en los últimos 10 años periodo 2004-2013, siendo superior al del durazno el cual experimenta decremento de casi 18% al pasar de 5.75 ton/ha a 4.74 ton/ha en 2013. Los mejores rendimientos los obtienen la papaya y la piña con 43.62 y 42.12 ton/ha respectivamente.

El precio medio rural promedio obtenido por los productores por tonelada fue de 2,669 \$/ton, registrando la (TCMA) más alta de 14.98% participando con 4.13% del (PMR) promedio obtenido en el periodo 2004-2013, creciendo favorablemente debido al aumento proporcional progresivo del precio por tonelada, mientras que el mejor precio le corresponde a la uva 13,783.87 \$/ton y el más bajo a la mandarina con solo 1,014.21 \$/ton.

3.4 Superficie sembrada y cosechada de tuna

En los últimos 10 años en el periodo 2004-2013, la superficie nacional plantada de nopal tuna, registró un crecimiento de 7% al pasar de 52,143.91 ha, en 2004 a 55,812.4 ha, en 2013, de la cual cinco estados aportan el 87% del total.

Para el periodo 2004-2013 el estado de mayor contribución promedio es Zacatecas con 18,210.82 ha participado con 33.77% de la superficie total, la evolución durante el periodo de análisis presentó tendencia creciente en 7.28%, el Estado de México con 16,774.00 ha contribuye con 10.42%% del total y una tasa de crecimiento del 7%; Hidalgo con 5,620.60 ha apporto 10.42% y un crecimiento de 9.84%.

En San Luis Potosí la situación es crítica, aun cuando aportó 4,073.65 ha en promedio colaborando con 7.56% teniendo decremento anual por 54.95% y en quinto lugar Puebla representó 6.62% del promedio total nacional; sin embargo es el que registra mayor crecimiento acelerado de 100.58%, debido a que en el año 2004 pasó de 3,570.30 a 4,842 ha en 2013.

El resto de la superficie que representó 11.56% (6,231.62 ha) está integrada por Jalisco, Tamaulipas, Guanajuato, Aguascalientes, Querétaro y algunos otros, como refiere el Cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Superficie sembrada de tuna 2004-2013. Miles de hectáreas.

	Zac.	Méx.	Hgo.	S.L.P	Pue.	Jal	Tamps.	Gto.	Ags.	Qro.	Otros	Total
2004	16.789	15.677	5.695	5.984	2.414	2.130	0.807	0.822	0.931	0.510	0.385	52.144
2005	16.551	15.688	5.672	4.310	2.599	2.126	0.929	0.810	0.666	0.521	0.275	50.146
2006	16.901	15.691	5.485	4.160	2.824	2.246	0.890	0.828	0.944	0.513	0.281	50.763
2007	18.813	15.835	5.439	4.567	2.839	2.252	0.890	0.778	0.855	0.533	0.411	53.212
2008	19.429	16.255	5.420	4.552	2.847	2.268	0.910	0.614	0.862	0.751	0.387	54.295
2009	19.062	16.252	5.617	3.927	2.860	2.164	1.018	0.592	0.692	0.758	0.362	53.304
2010	18.889	16.652	5.598	3.927	4.805	2.169	1.370	0.592	0.734	0.744	0.425	55.905
2011	18.830	16.650	5.549	3.569	4.814	2.178	1.430	2.232	0.787	0.736	0.918	57.693
2012	18.833	16.647	5.477	3.044	4.859	2.178	1.495	1.523	0.746	0.665	0.451	55.918
2013	18.012	16.774	6.255	2.696	4.842	2.152	1.500	1.787	0.769	0.649	0.377	55.812
Total	182.108	162.121	56.206	40.737	35.703	21.863	11.239	10.578	7.986	6.380	4.271	539.191
Promedio	18.211	16.212	5.621	4.074	3.570	2.186	1.124	1.058	0.799	0.638	0.427	53.919
Part. (%)	33.77	30.07	10.42	7.56	6.62	4.05	2.08	1.96	1.48	1.18	0.79	100.00
TCMA ^{1/}	0.78	0.75	1.05	-8.48	8.04	0.11	7.13	9.01	-2.10	2.71	-0.23	0.76
VAR(%) ^{2/}	7.28	7.00	9.84	-54.95	100.58	1.03	85.87	117.34	-17.40	27.25	-2.08	7.04

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2014.

^{1/} Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/} Variación porcentual del periodo 2004-2013

En la superficie nacional cosechada de nopal tuna, registró un crecimiento del 13.48% al pasar de 44,784.91ha en 2004 a 50,822.65 ha en 2013. El aumento en la cosecha avanza paulatinamente a una tasa media de crecimiento anual de 1.42% en los últimos 10 años.

Del año 2004 a 2013 los estados que tuvieron mayores (TCMA) en sus cosechas fueron los estados de Guanajuato con 9.55%, Puebla 6.98%, Jalisco 1.85% y últimamente Aguascalientes 1.59%. Guanajuato es el más dinámico en los últimos años, cosechó 1,707 ha más, superando las 751 ha de 2004 para el cultivo de tuna. Mientras que San Luis Potosí y Querétaro han disminuido considerablemente en 1,657 ha y 492 ha respectivamente.

En la cosecha de este cultivo dentro de otros estados, resulta interesante la actividad creciente en Oaxaca quien tiene una (TCMA) promedio de 26.34%, debido a que cosechó 5 ha en 2004 y pasó en 2013 a 41 ha, manteniéndose progresivamente en la actividad desde 2007, siendo su mejor año el 2010.

De esta manera en el siguiente cuadro se muestra como en el año 2013 en México se cosecharon 50,822.65 ha, resultado de las 55,812.40 ha de nopal tuna plantadas.

3.6. Superficie cosechada de tuna 2004-2013. Miles de hectáreas.

	Méx.	Zac.	Hgo.	Pue.	Jal.	S.L.P	Gto.	Tamps.	Ags.	Qro.	Otros	Total
2004	15.677	14.022	4.700	2.414	1.825	3.723	0.751	0.412	0.654	0.510	0.097	44.785
2005	15.420	14.277	4.665	2.481	1.914	1.816	0.789	0.515	0.646	0.509	0.136	43.168
2006	15.601	14.641	4.321	2.720	1.843	1.928	0.749	0.010	0.669	0.513	0.124	43.119
2007	15.835	14.696	4.398	2.831	1.941	1.864	0.694	0.340	0.700	0.533	0.168	44.000
2008	16.040	15.731	4.617	2.847	2.165	1.835	0.595	0.425	0.747	0.751	0.222	45.975
2009	16.252	15.505	4.921	2.860	2.161	1.659	0.573	0.840	0.692	0.719	0.162	46.344
2010	16.650	15.460	4.927	4.805	2.168	1.728	0.592	1.220	0.731	0.744	0.258	49.283
2011	16.650	16.835	4.950	4.694	2.177	1.710	0.112	0.000	0.660	0.736	0.221	48.744
2012	16.647	16.515	4.851	4.859	2.166	1.628	1.523	1.370	0.721	0.664	0.190	51.134
2013	16.774	15.983	5.339	4.429	2.152	1.657	1.707	1.430	0.754	0.492	0.106	50.823
Total	161.546	153.665	47.687	34.940	20.512	19.548	8.085	6.562	6.974	6.171	1.684	467.373
Promedio	16.155	15.367	4.769	3.494	2.051	1.955	0.808	0.656	0.697	0.617	0.168	46.737
Part. (%)	34.56	32.88	10.20	7.48	4.39	4.18	1.73	1.40	1.49	1.32	0.36	100.00
TCMA ^{1/}	0.75	1.47	1.43	6.98	1.85	-8.60	9.55	14.83	1.59	-0.40	0.99	1.42
VAR(%) ^{2/}	7.00	13.99	13.60	83.47	17.92	-55.49	127.23	247.09	15.29	-3.53	9.28	13.48

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2014.

^{1/} Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/} Variación porcentual del periodo 2004-2013

En el Cuadro 3.6, la superficie cultivada de los cinco principales estados productores de tuna en el país, refleja el resultado de un buen programa de rehabilitación y manejo de plantaciones. En los estados donde existen diferencias en la superficie sembrada y superficie cosechada se debe a que el terreno no reúne las mejores condiciones de suelo y clima por las características de tolerancia de la planta o los que tienen mejores condiciones están destinados a otros cultivos considerados de mayor importancia económica.

La superficie siniestrada en el periodo 2004 a 2013 representó en promedio 13.31% de la superficie sembrada siendo de 7,181.75 ha. En los siniestros influyeron las condiciones climatológicas, específicamente las heladas que prevalecieron en los estados, afectando principalmente a algunas plantaciones en

proceso de desarrollo. El estado de San Luís Potosí de la superficie establecida poca es cosechada, atribuyéndose la causa por que no recolectan la fruta por los bajos precios ofertados y a la reducida superficie por productor, que conlleva un alto costo en el traslado a los centros de demanda, resultando no redituable la comercialización (Flores, 2003).

3.5 Producción de tuna

De acuerdo a información estadística del Servicio de Información Agroalimentaria y pesquera de la Secretaria de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA, 2014), durante los últimos años los estados que han participado en la producción nacional de tuna, han variado.

El promedio del volumen de producción nacional de tuna en el periodo 2004-2013 fue de 397,467.55 toneladas, siendo cuatro estados los que más participan en primer lugar está el estado de México con 152,129.13 ton con una participación de 38.27%, seguido de Zacatecas con 117,625.46 ton contribuyendo con 29.59%, Puebla 59,623.23 ton colaborando con 15% y en cuarto lugar Hidalgo 28,418.297 ton 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 ton, Guanajuato 8,682.18 ton, Aguascalientes 2,285.99 ton, Tamaulipas 1,700.90 ton, Querétaro 1,462.46 ton y finalmente otros estados con solo 965.34 ton.

En este mismo periodo la producción tuvo una TCMA de 2.69% pasando de 383,883.11 ton producidas en 2004 a 487,375.29 ton en 2013, destacándose con TCMA significativas, Zacatecas con 10.44%, Puebla 6.41% y Guanajuato 13.20%. Asimismo, algunos estados presentaron contracciones como México -2.96%, Hidalgo -2.57%, Aguascalientes -1.54%, Querétaro -1.20%, entre otros. San Luis Potosí con -9.04% su decremento de producción se atribuye a la baja que ha

experimentado en los últimos años, en 2004 produjo 3,723 ton disminuyendo más de 50% en 2013 a 1,657 ton.

Cuadro 3.7. Producción de tuna 2004-2013. Miles de toneladas.

	Méx.	Zac.	Pue.	Hgo.	S.L.P	Jal.	Gto.	Ags.	Tamps.	Qro.	Otros.	Total
2004	179.91	80.17	43.29	32.19	26.79	9.12	6.70	2.69	1.24	1.20	0.60	383.88
2005	162.91	91.93	44.60	27.94	11.75	14.85	7.90	1.76	0.67	1.26	0.82	366.38
2006	164.80	107.10	48.84	27.02	8.28	10.98	7.75	1.74	0.02	1.41	0.78	378.70
2007	113.53	104.19	52.26	23.78	10.30	9.62	6.66	2.25	0.88	1.26	0.94	325.66
2008	165.17	99.99	52.48	35.79	14.59	12.45	5.81	2.82	1.68	1.46	1.28	393.51
2009	118.39	107.29	49.22	32.88	12.01	12.66	5.66	2.02	1.84	1.30	0.80	344.08
2010	149.58	109.59	85.05	28.43	13.44	10.80	6.82	3.33	3.66	2.03	2.35	415.09
2011	140.61	102.97	61.51	23.46	7.44	10.88	0.86	1.64	0.00	2.33	0.68	352.37
2012	189.09	177.11	83.29	27.23	10.49	15.04	18.21	2.29	2.74	1.31	0.83	527.63
2013	137.31	195.92	75.69	25.47	11.41	12.85	20.45	2.34	4.29	1.07	0.58	487.38
Total	1,521.29	1,176.25	596.23	284.18	126.49	119.25	86.82	22.86	17.01	14.62	9.65	3,974.68
Promedio	152.13	117.63	59.62	28.42	12.65	11.93	8.68	2.29	1.70	1.46	0.97	397.47
Part.(%)	38.27	29.59	15.00	7.15	3.18	3.00	2.18	0.58	0.43	0.37	0.24	100.00
TCMA ^{1/}	-2.96	10.44	6.41	-2.57	-9.04	3.89	13.20	-1.54	14.83	-1.20	-0.42	2.69
VAR(%) ^{2/}	-23.68	144.38	74.85	-20.89	-57.39	40.93	205.32	-13.01	247.09	-10.29	-3.71	26.96

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2014.

^{1/} Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/} Variación porcentual del periodo 2004-2013

Las tasas de crecimiento que representan contracciones en algunos estados y las variaciones porcentuales decrecientes en cuanto a la producción, en el Cuadro 3.7 se puede apreciar como en 2011 ocurrió una baja de 15.10% con respecto a 2010, teniendo este último una producción de 415,086.46 toneladas y el 2011 solamente 352,374.15 ton, viéndose recuperada para el año 2012 duplicándose a 527,627.12 ton, que en términos porcentuales se expresan en 49.7% para después tener decremento en 2013 por 487,375.29 ton.

3.6 Valor de la producción, rendimiento y precio medio rural de tuna

El valor de producción es un indicador importante ya que se ve reflejado en los ingresos por la producción de cada ciclo agrícola, el promedio del valor de producción en 2004-2013 fue de 1,003.084 millones de pesos, donde la (TCMA), fue de 12.70% al pasar en 2004 de 543.11 millones de pesos a 1,593.40 millones de pesos en 2013, situación originada por el precio medio rural en este último año.

El valor de la producción estuvo conformado por cuatro estados quienes juntos participaron con 90%, destacando en primer lugar México con 40%, seguido de Zacatecas con una aportación de 28.3%, Puebla 16%, e Hidalgo 6%, mientras el San Luis Potosí, Jalisco, Aguascalientes, Querétaro y otros estados dispersos conforman 10% restante.

Las (TCMA) registradas se atribuyen a los estados que cada vez tienen mayor participación en la producción de la fruta como: Tamaulipas, Zacatecas, Puebla, México, Querétaro, Guanajuato y México. En menor proporción Hidalgo, Aguascalientes, Jalisco y entre otros estados Oaxaca figuró con una TCMA de 25.78% al pasar de \$75,000 por su producción obtenida en 2004 a \$590,780 al año 2013.

El valor de producción más alto fue en 2010 cuando alcanzo 1,139.13 millones de pesos y el más bajo se presentó en el año 2004 con 543.11 millones de pesos.

El estado de Zacatecas en el periodo de análisis 2004-2013 tiene el valor más alto en el año 2013 cuando produjo una cifra récord de 195,915.60 ton, atribuyéndose un precio medio rural (PMR) de 2,924.87 \$/ton obteniendo 573.02 millones de pesos. Mientras Querétaro con solamente 14,624.57 ton adquirió el (PMR) más alto de 4,632.06 \$/ton consiguiendo 4.970 millones de pesos.

3.8. Precio medio rural (PMR) de tuna 2004-2013. Miles de pesos.

	Oax.	Mich.	Méx.	S.L.P	Pue.	Qro.	Jal.	Zac.	Hgo.	Tamps.	Otros.	Total
2004	5.00	2.74	1.10	1.42	2.06	1.31	3.01	1.53	1.32	2.00	10.16	31.65
2005	2.00	2.82	2.67	1.18	2.01	1.43	0.51	1.85	1.29	0.51	10.62	26.89
2006	0.00	2.26	1.79	2.10	1.94	1.92	2.01	1.87	1.34	2.40	12.97	30.60
2007	5.30	3.71	3.37	2.06	2.09	1.74	5.01	1.84	1.81	1.81	11.48	40.22
2008	2.58	0.00	2.95	1.58	3.27	2.18	2.06	2.28	2.17	2.05	15.06	36.17
2009	2.37	4.00	3.64	3.45	2.43	2.12	2.06	2.44	2.38	2.09	18.26	45.25
2010	2.42	3.12	3.39	3.48	2.50	2.30	2.01	2.16	2.32	0.95	15.20	39.85
2011	2.91	2.00	2.62	4.39	2.65	4.28	2.11	3.31	2.53	0.00	19.69	46.49
2012	2.41	2.50	2.27	3.55	3.25	4.59	2.00	2.87	2.67	3.00	17.36	46.47
2013	3.18	3.40	3.53	3.61	3.76	4.63	3.41	2.92	3.50	3.03	13.73	48.71
Total	28.18	26.53	27.33	26.82	25.96	26.51	24.17	23.09	21.33	17.83	144.54	392.30
Promedio	3.13	2.95	2.73	2.68	2.60	2.65	2.42	2.31	2.13	1.98	14.45	39.23
Part. (%)	7.98	7.52	6.97	6.84	6.62	6.76	6.16	5.88	5.44	5.05	36.85	100.00
TCMA ^{1/}	-4.91	2.45	13.80	10.96	6.92	15.05	1.40	7.46	11.47	4.74	3.40	4.91
VAR(%) ^{2/}	-36.42	24.30	220.06	154.89	82.65	253.16	13.32	91.01	165.79	51.69	35.08	53.93

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2014.

^{1/}Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/}Variación porcentual del periodo 2004-2013

Estos importantes cambios en el valor de la producción influyen por el precio medio rural (PMR) el cual en el año 2013 fue de 3,269 \$/ton, el doble que el precio alcanzado en 2000, de solo 1,414.81 \$/ton, manteniéndose estable en los años 2009 y 2011.

Algunas otras causas principales en el valor de la producción es la creciente demanda nacional e internacional con los mercados de Estados Unidos de América, Canadá y Japón fruto considerado exótico en algunos países, además del comportamiento en el rendimiento promedio a nivel nacional, debido a que pasó de 8.57 ton/ha en 2004 a 9.59 en el año 2013, lo que significó un pequeño incremento de 1.02 ton/ha en los últimos 10 años, explicando de esta manera la creciente producción y participación de nuevos estados.

El primer productor nacional de la fruta, el Estado de México alcanzó en 2013 un rendimiento de 8.19 ton/ha, variando considerablemente de sus mejores años en 2004 y 2012 cuando alcanzó niveles de 11.42 y 11.53 ton/ha respectivamente.

El rendimiento más alto en la producción de tuna en 2013 lo alcanzó el estado que ocupa el tercer lugar en nivel de producción que es Puebla, con 17.09 ton/ha teniendo sus mejores años a nivel nacional en 2007 y 2008 logrando 18.46 y 18.43 ton/ha. Enseguida está Zacatecas consiguiendo en el último año 2013 un rendimiento de 12.26 ton/ha, siendo el más representativo al superar el rendimiento de 2004, el cual fue de 5.72 ton/ha ocupado de esta manera el segundo lugar en la producción nacional.

3.7 Exportaciones de tuna mexicana

En México fuentes estadísticas son escasas y restringidas para analizar el comercio internacional de esta importante fruta representativa en el país, es necesario resaltar las diferencias entre los valores reportados por distintas fuentes. El Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI), de la Secretaría de Economía (SE) de México reportó para 2004 un valor de 13,596 ton y en 2013 27,806.57 en exportaciones teniendo una TCMA de 8.27%. Siendo el promedio del periodo 2004-2013 de 19,713.94 ton.

La Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones de la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA), perteneciente a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) de México, reportó para 2004 un valor de 13,173.05 ton y para 2013 consecutivamente 27,810.71 ton en materia de exportaciones obteniendo una TCMA de 8.66%, consiguiendo un promedio de 19,470.98 ton en el periodo 2004-2013.

Para el caso de la tuna no tiene fracción en específico, este análisis de comercio en materia de exportaciones se hizo bajo la fracción (08109099 los demás), la cual corresponde a: sección II productos del reino vegetal, capítulo 08 frutas y frutos comestibles; cortezas de agrios, melones o sandías, subpartida 081090 los demás, fracción 08109099 los demás.

En el periodo 2004-2013 la información recabada se analizó en base a los datos reportados por la Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones de la Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios (ASERCA, 2014), debido a que se tiene descripción detallada del comercio con otros países.

México a pesar de tener buenos rendimientos y considerables volúmenes de producción solo exporta en promedio 4.8% de la producción obtenida, el resto se comercializa a nivel nacional. Las exportaciones de tuna en 2004 fueron de 13,173.05 ton ascendiendo a 27,810.71 en 2014, valor con el cual se tuvo una TCMA de 8.66%, indicándonos una participación constante con otros países demandantes.

En el Cuadro 3.9 se analizó como en el periodo 2004-2013 se exportaron en total 194,700 ton, teniendo un promedio para los diez años de 19,470 ton, de las cuales la mayoría se realizaron a los Estados Unidos de América (EE.UU) con 19,083.18 ton participando con 98.01% alcanzando una TCMA de 8.45 al pasar de 13,081.85 ton en 2004 a 27.147.38 en 2014, siendo el principal destino de las exportaciones.

En segundo lugar está el mercado Canadiense con 229.82 ton y una participación de 1.18%, teniendo la TCMA más alta al pasar de 27.13 ton en 2004 a 507.62 ton en 2014. Mientras en tercer lugar está Francia con 42.25 ton, participando solamente con el 0.22%, destacando su TCMA en 5.07%, creciendo aceleradamente al pasar de 13.04 ton en 2004 a 65.00 ton en 2013.

En cuarto lugar está Japón con 39.51 ton, participando solamente con 0.20% y consiguiendo una TCMA de 5.07%, originada por pasar de 24.76 en 2004 a 37.87 ton en 2013, manteniéndose constante en volúmenes demandados.

El resto de la participación con volúmenes poco significativos y no todos los años lo integran algunos países de **Europa Oriental** (Eslovaquia, Rusia y Grecia), **Europa Occidental** (Reino Unido, Países Bajos, España, Italia, Dinamarca,

Alemania y Suiza) **América** (Guatemala, Chile, El Salvador, Republica Dominicana, Belice y Colombia) finalmente exportaciones esporádicas a **Asia** (Corea del Sur y Vietnam), como se refiere en el Cuadro 3.9.

Cuadro 3.9. Principales destinos de exportaciones de tuna mexicana 2004-2013. Toneladas.

	EE.UU	Canadá	Francia	Japón	Otros países	Total
2004	13,081.85	27.13	13.04	24.26	26.76	13,173.05
2005	11,832.38	20.62	12.93	26.78	0.21	11,892.93
2006	16,972.47	71.43	17.65	32.72	1.11	17,095.38
2007	16,691.41	403.97	23.07	52.53	167.51	17,338.48
2008	17,729.11	410.79	24.12	40.79	54.89	18,259.70
2009	17,979.92	164.23	27.57	39.01	90.28	18,301.01
2010	23,812.89	229.46	149.66	54.58	258.65	24,505.24
2011	19,551.86	212.97	41.76	46.86	36.80	19,890.25
2012	26,038.39	249.98	47.73	39.71	67.22	26,443.02
2013	27,147.53	507.62	65.00	37.87	52.70	27,810.71
Total	190,837.81	2,298.18	422.54	395.12	756.13	194,709.78
Promedio	19,083.78	229.82	42.25	39.51	75.61	19,470.98
Part. (%)	98.01	1.18	0.22	0.20	0.39	100.00
TCMA ^{1/}	8.45	38.47	19.54	5.07	7.82	8.66
VAR(%) ^{2/}	107.52	1,771.14	398.33	56.13	96.91	111.09

Fuente: elaboración propia con datos de ASERCA 2014. Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones

^{1/} Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/} Variación porcentual del periodo 2004-2013

De acuerdo a la dinámica de los volúmenes comercializados, los países no mantienen el mismo orden de importancia en cuanto al valor obtenido por las exportaciones. Encabezando la lista destaca EE.UU (89.8%), posicionándose por los altos volúmenes importados y no por el precio ofertado de mercado, le prosigue Japón (3.9%) donde este importante mercado asiático registra menos volúmenes que Canadá, pero con la particularidad de tener el mejor precio de adquisición.

En tercer sitio Canadá (3.1%) manteniendo precios casi al triple de EE.UU, en último lugar Francia quien participa arduamente con (1.73%) registrando buenos precios, sin embargo es un mercado participativo en los últimos años con

potencialidades atractivas para exportar como el asiático. El resto de los países aportaron 1.5% restante (Cuadro 3.10).

Cuadro 3.10. Valor de las exportaciones de tuna mexicana a los principales destinos 2004-2013. (USD/ton).

	E.U.A	Japón	Canadá	Francia	Otros países	Total
2004	4,901,876.24	236,518.84	33,082.69	42,634.79	24,937.04	5,239,049.60
2005	3,833,433.67	249,186.91	44,173.47	40,611.49	195.96	4,167,601.50
2006	5,697,295.27	243,924.50	39,113.12	19,010.47	1,076.57	6,000,419.93
2007	6,473,928.15	407,633.07	403.97	39,910.16	146,942.38	7,068,817.73
2008	6,010,317.77	392,507.55	615,779.76	133,614.54	72,198.52	7,224,418.14
2009	7,039,804.95	330,231.11	243,950.88	112,792.25	124,469.72	7,851,248.91
2010	9,514,371.89	420,237.71	339,811.10	501,920.86	252,755.26	11,029,096.82
2011	8,386,473.06	360,004.48	298,838.96	127,202.00	141,664.27	9,314,182.77
2012	12,149,679.97	329,959.01	283,195.33	188,315.38	244,604.34	13,195,754.03
2013	11,225,394.98	277,886.01	701,212.72	240,236.00	241,648.90	12,686,378.61
Total	75,225,083.35	3,248,089.19	2,599,562.00	1,446,247.94	1,250,492.9	83,769,475.44
Promedio	7,523,257.60	324,808.92	259,956.20	144,624.79	125,049.30	8,377,696.80
Part. (%)	89.80	3.88	3.10	1.73	1.49	100.00
TCMA ^{1/}	9.64	1.81	40.40	21.18	28.70	10.32
VAR(%) ^{2/}	129.00	17.49	2,019.58	463.47	869.04	142.15
Precio promedio (USD/Kg)	0.39	8.22	1.13	3.42	1.66	0.43

Fuente: Elaboración propia con datos de ASERCA 2014. Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones

^{1/} Tasa de crecimiento media anual del periodo 2004-2013

^{2/} Variación porcentual del periodo 2004-2013

En el periodo 2004 a 2013 el precio promedio ponderado de las exportaciones de tuna mexicana se ha mantenido alrededor de los 0.43 dólares USD/kg. el Para el último año de estudio 2013, el mejor precio se obtiene en el mercado Japonés (7.34 USD/kg) y el precio más bajo se obtiene en el mercado más representativo, los EE.UU (0.41 USD/kg.), Canadá con (1.38 USD/kg) llega a tener más del triple de precio que el mercado de EE.UU, para el caso de Francia (3.70 USD/kg) siendo atractivo para seguir exportando, mientras los países europeos muestran también precios superiores y atractivos para este producto.

En este último año 2013 se exportaron 27,810.71 toneladas de tuna, de las cuales el mayor porcentaje se enviaron a EE.UU (97.6%), siguiéndole Canadá (1.8%), y

en menor proporción Francia (0.2%), Japón (0.1%), entre otros (0.2%). Generando una captación de divisas por 12´686,378.61 dólares (Cuadro 3.9 y Cuadro 3.10).

El mercado internacional de tuna mexicana va ganando mercado, los productores del estado de Puebla son los principales exportadores de tuna del país al vender al exterior más del 10 % de su cosecha. 7,700 toneladas se comercializaron en el mercado de los EE.UU (Mc Allen, Chicago, Los Ángeles, Atlanta, Detroit y Nueva York); mil en Canadá (Toronto, y Montreal), 300 en Europa (Holanda, Alemania, Bélgica, Francia, e Italia) y 100 toneladas al país sudamericano Chile (SAGARPA, 2011). De esta manera la promoción por parte de ASERCA-SAGARPA en campañas, exposiciones, ferias o eventos de corte nacional y mundial incentivan la participación de productores, abarcando nuevos mercados potenciales de consumo.

En el Cuadro 3.11 se muestra el promedio nacional del periodo 2004-2013 de los principales puertos de salida por donde se realizan las exportaciones a los principales países destinos, en el mercado norteamericano de los EE.UU los principales puertos son la frontera y el Aeropuerto "Abelardo L. Rodríguez" de Tijuana, B.C. (5,235 ton); Cd. Reynosa, Tamaulipas (6,572 ton); Mesa de Otay, Baja California (4,395 ton); Nuevo Amanecer, Cd. Reynosa, Tamaulipas (4,969 ton); Cd. Camargo, Tamaulipas (2,705 ton).

Mientras que Nogales, Sonora (917 ton); fronteras del estado de Tamaulipas (675 ton); Cd. Juárez, Chihuahua (227 ton); Mexicali, B.C (63.6 ton); Colombia, Nuevo León (40.54 ton); siguiéndole el Aeropuerto Internacional "Benito Juárez" del Distrito Federal, México (24.47 ton) y en menor proporción algunos otros.

Para Canadá la frontera y Aeropuerto "Quetzalcóatl" de Nuevo Laredo, Tamaulipas registra las mayores salidas comerciales con (127 ton) promedio, siguiéndole Nuevo Amanecer y Cd. Reynosa ubicados en Tamaulipas con (125.68 ton) y (61.57 ton) respectivamente, siguiéndole Colombia, Nuevo León (56.8 ton);

registrando pocos envíos se encuentra el Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” del Distrito Federal, México con (6 ton), finalmente algunos otros en menor proporción (2.34 ton).

A continuación prosigue el mercado de Francia, donde el puerto de Veracruz y Altamira, Tamaulipas; es donde más se exporta con (52.96 ton) y (22.32 ton), siguiéndole Cancún, Quintana Roo (10.67 ton); Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” del Distrito Federal, México (6.97 ton), mientras con pocas cantidades Guadalajara, Jalisco y Aeropuerto Internacional "Miguel Hidalgo y Costilla" en Tlajomulco de Zúñiga solamente (0.55 ton).

Asimismo, para el país asiático de Japón, el Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” del Distrito Federal, México remite (34.92 ton); Lázaro Cárdenas, Michoacán (13.06 ton); Guadalajara, Jalisco y Aeropuerto Internacional "Miguel Hidalgo y Costilla" en Tlajomulco de Zúñiga (19.67 ton); en último lugar Manzanillo, Colima y Aeropuerto "Playa de Oro" de la misma ciudad con (0.16 ton).

El resto de las exportaciones con volúmenes inferiores se llevan a cabo por el Aeropuerto Internacional “Benito Juárez” del Distrito Federal, México (10.64 ton); y en algunos otros (63.9 ton) para trasladar la fruta a países alejados de las zonas oferentes.

Cuadro 3.11. Principales puertos de salida de las exportaciones 2004-2013. Toneladas.

País destino	Puertos de salida	Total	Promedio
EE.UU	Tijuana, B.C. y Aeropuerto Int. "Abelardo L. Rodríguez", Tijuana, B.C.	52,356.59	5,235.66
	Cd. Reynosa, Tmps.	32,860.09	6,572.02
	Mesa de Otay, B.C.	30,768.75	4,395.54
	Nuevo Amanecer, Cd. Reynosa, Tamps.	29,816.15	4,969.36
	Cd. Camargo, Tamps.	27,054.64	2,705.46
	Nogales, Son. y Aeropuerto Int. "Nogales", Nogales, Son.	9,174.71	917.47
	"Las Flores" Cd. Nuevo Progreso, Tmps.	4,089.61	511.2
	Cd. Juárez, Chih.	2,274.43	227.44
	Puente Int. Lucio Blanco-Los Indios, Tamps.	657.13	131.43
	Mexicali, B.C. y Aeropuerto Int. "Gral. Rodolfo Sánchez Taboada", Mexicali, B.C.	315.55	63.11
	Colombia, N.L.	283.80	40.54
	Nuevo Laredo, Tamps. y Aeropuerto int. "Quetzalcóatl", Nuevo Laredo, Tmps.	256.05	32.01
	Aeropuerto Int. "Lic. Benito Juárez", Cd. de México, D.F.	244.73	24.47
	Otros	685.56	152.37
	Canadá	Nuevo Laredo, Tamps. y Aeropuerto Int. "Quetzalcóatl", Nuevo Laredo, Tamps.	1,277.01
Nuevo Amanecer, Cd. Reynosa, Tamps.		377.05	125.68
Cd. Reynosa, Tamps.		307.88	61.58
Colombia, N.L.		263.23	26.32
Aeropuerto Int. "Lic. Benito Juárez", Cd. de México, D.F.		60.67	6.07
Otros		12.33	2.34
Francia	Veracruz, ver.	211.87	52.97
	Altamira, Tamps.	111.59	22.32
	Cancún, Q. Roo.	42.79	10.7
	Aeropuerto Int. "Lic. Benito Juárez", Cd. de México, D.F.	55.74	6.97
	Guadalajara, Jal., y Aeropuerto Int. "Miguel Hidalgo y Costilla", Tlajomulco de Zúñiga.	0.55	0.55
Japón	Aeropuerto Int. "Lic. Benito Juárez", Cd. de México, D.F.	349.18	34.92
	Lázaro Cárdenas, Mich.	26.11	13.06
	Guadalajara, Jal., y Aeropuerto Int. "Miguel Hidalgo y Costilla", Tlajomulco de Zúñiga.	19.67	19.67
	Manzanillo, Col. y Aeropuerto Int. "Playa de Oro", Manzanillo, Col.	0.16	0.16
Los demás	Aeropuerto int. "Lic. Benito Juárez", Cd. de México, D.F.	117.08	10.64
	Otros	638.97	63.9
Total		194,709.78	26,725.94

Fuente: elaboración propia con datos de ASERCA 2014. Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones.

IV. PROCESAMIENTO DEL MODELO DE TRANSPORTE

Para utilizar el método del transporte fue necesario obtener información estadística de las principales dependencias como el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA), de donde se obtuvo la producción de tuna (*Opuntia* spp.), del año 2013 siendo necesaria para hacer los cálculos de consumo.

Para conocer la dinámica poblacional en México se consultó el censo de población y vivienda 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), de igual para la población actual se obtuvo de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), al cuarto trimestre de 2013.

La información sobre los costos de transporte utilizado en la vida real para desplazar productos, bienes y servicios es muy variado en forma y tamaño por lo que resulta difícil calcular los costos de cada una de las opciones, en este trabajo se consideró solo un medio de transporte para el cálculo.

En la distribución se consideró un tracto camión de cinco ejes (SCT, 2014), con caja cerrada de 53 pies de longitud (16.15 m de largo total x 2.79 m de alto x 2.55 m de ancho), con capacidad de 28 ton, para cada envío de zona origen a zona de destino.

El cálculo de los costos de transporte terrestre se obtuvieron de la empresa "Transportes Avancarga". Los orígenes a destino rebasan los 30 km, resultando la ecuación siguiente: $Tarifa = [2600+18(D)]$

La cifra (\$2600) representa el costo de un flete local, el (\$18) el costo por kilómetro recorrido, la letra (D) representa la distancia, la cual se obtuvo de la Secretaría de Comunicaciones y transportes de México. Finalmente al costo total se le agregó el Impuesto al Valor Agregado (IVA) que consta de 16% sobre el costo total del flete,

caso de México. Para conocer el precio por tonelada se dividió el costo total de flete entre 28 ton, cifra que corresponde a la capacidad del tracto camión utilizado para cada envío.

En el Sistema de la dependencia gubernamental (ASERCA, 2014), en su Coordinación de Promoción y Fomento a las Exportaciones (CPFE), se consiguieron series estadísticas de comercio exterior, analizando las exportaciones, puertos de salida de la fracción arancelaria del fruto de estudio.

En la aplicación del método del transporte para la formulación del modelo de mercado cerrado, solo se consideró la producción y consumo nacional, mientras que para el mercado abierto se agregaron puertos de salida a las exportaciones. Siendo necesario conocer información exacta para definir la función objetivo la cual minimiza los costos de transporte de las posibles rutas que se pueden activar en la solución, determinando los costos de transporte de cada uno de los orígenes a cada uno de los destinos. En las restricciones de oferta, los orígenes o zonas con disponibilidad de oferta y en las de demanda, los destinos y las cantidades demandas.

4.1 Resultados del modelo, origen y destino de las principales zonas productoras, centros de consumo y costos de transporte

De acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA, 2014), en el análisis de la producción se consideraron los 31 estados y el Distrito Federal para conocer su situación, determinando si tiene superávit o déficit para conocer el panorama en cada uno de ellos.

En el año 2013 se produjeron (487,375.29 ton) de las cuales Zacatecas, México y Puebla, participan con (83.9%), siguiéndole se encuentra Hidalgo, Guanajuato, Jalisco, San Luis Potosí, Tamaulipas, Aguascalientes y Querétaro colaborando

con (16%), mientras Tlaxcala, Oaxaca, Veracruz, Nayarit y Michoacán solamente (0.1%) del total nacional.

Conociendo la producción después se procedió a hacer el consumo nacional aparente el cual se obtuvo sumando a la producción nacional las importaciones y restando las exportaciones como a continuación se menciona:

CNA= (producción nacional + importaciones - exportaciones). Se sabe que en México son nulas las importaciones de este fruto, por lo tanto no se tomaron como referencia con la fracción correspondiente para hacer el debido cálculo.

Para el consumo per cápita se dividió el (CNA) entre la población total nacional:

Consumo per cápita: $CNA / población\ total$

Finalmente para el cálculo del consumo estatal se multiplicó el consumo per cápita por el número de habitantes de cada entidad:

Consumo estatal= consumo per cápita x población estatal

En 2010 según datos de INEGI en el último censo poblacional la población fue de 112'336,538 habitantes, mientras la producción nacional de tuna fue de 415,086 ton, exportándose 24,505 ton, resultó un consumo nacional aparente de 390,581 ton, dividido por la población total de 2010, da un consumo per cápita de 0.00347 ton.

Para el año 2013 la producción total fue de 487,375 ton, superando al consumo nacional del mismo año estimado en 459,564 ton, por lo que se tuvo un pequeño superávit con potencialidad de procesar industrialmente por parte de los estados que lo presentan o recurrir a las exportaciones.

En el modelo para el (CNA) y el consumo per cápita se tomó como referencia la ENOE, al cuarto trimestre de 2013 realizada por INEGI, ya que se tiene mejor dato real de densidad poblacional.

De esta manera en 2013 se tuvo una producción nacional total de 487,375 ton, exportando 27,811 ton, originando un consumo nacional aparente de 459,564 ton que dividido entre la población estimada del 2013 por parte de INEGI de la ENOE la cual fue de 118´,896,009 habitantes, originando un consumo per cápita de 0.00386 ton, con una TCMA de 3.6% en los últimos cuatro años, debido a que pasó de 3.47 a 3.86 kg.

En el Cuadro 4.1 los estados con signo positivo representan a aquellos que satisfacen su demanda estatal distribuyendo primero su producción para autoconsumo y además tienen excedente para ofertar a estados deficitarios y los de signo negativo representan a las entidades que con su poca o escasa producción no alcanzan a satisfacer su consumo interno, provocando que la obtengan de aquellas que tienen sobrante.

En el mismo Cuadro 4.1 se puede ver como la producción total de cada estado se le restó su consumo del mismo año dando como resultado si es oferente o demandante. Aquellos estados que tuvieron excedente se consideró 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.

Por lo tanto, se describe como solo cinco estados son autosuficientes y tienen la capacidad de ofrecer sus excedentes a los otros estados demandantes, su oferta total es de 331,231 ton quienes juntos cubren sus necesidad interna de consumo ya que tienen un excedente de 27,811 ton, permitiéndoles participar en exportaciones o industrializar en subproductos su excedente.

En este análisis se demuestra como en los estados con mayor población funcionan con demandas superiores. De acuerdo a la ENOE, al cuarto trimestre de 2013 realizada por INEGI, la mayor concentración es en México (13.8%), Distrito Federal (7.4%), Veracruz (6.6%), Jalisco (6.5%), Puebla (5.12%), Nuevo León (4.1%) y Guanajuato (4.8%) del total nacional.

Cuadro 4.1. Estados oferentes y demandantes de tuna, 2013.

Estado	Población ^{1/} (habitantes)	Producción (ton)	Total Consumo (ton)	Disponible (ton)
Zacatecas	1,555,160	195,916	6,011	189,905
México	16,460,921	137,313	63,626	73,687
Puebla	6,091,952	75,692	23,547	52,145
Hidalgo	2,820,238	25,466	10,901	14,565
Guanajuato	5,738,720	20,448	22,182	-1,734
Jalisco	7,778,722	12,853	30,067	-17,214
San Luis Potosí	2,712,062	11,413	10,483	930
Tamaulipas	3,477,048	4,290	13,440	-9,150
Aguascalientes	1,259,089	2,337	4,867	-2,530
Querétaro	1,955,501	1,073	7,559	-6,486
Oaxaca	3,969,477	186	15,343	-15,157
Tlaxcala	1,249,483	232	4,830	-4,598
Veracruz	7,947,119	110	30,718	-30,608
Nayarit	1,187,006	39	4,588	-4,549
Michoacán	4,542,882	10	17,559	-17,550
Distrito Federal	8,886,708	0	34,349	-34,349
Chiapas	5,144,799	0	19,886	-19,886
Nuevo León	4,968,502	0	19,205	-19,205
Chihuahua	3,650,023	0	14,108	-14,108
Guerrero	3,532,669	0	13,655	-13,655
Baja California Norte	3,400,719	0	13,145	-13,145
Sinaloa	2,942,317	0	11,373	-11,373
Coahuila	2,903,562	0	11,223	-11,223
Sonora	2,867,027	0	11,082	-11,082
Tabasco	2,344,013	0	9,060	-9,060
Yucatán	2,074,493	0	8,018	-8,018
Morelos	1,882,985	0	7,278	-7,278
Durango	1,735,431	0	6,708	-6,708
Quintana Roo	1,501,914	0	5,805	-5,805
Campeche	885,554	0	3,423	-3,423
Baja California Sur	726,816	0	2,809	-2,809
Colima	703,097	0	2,718	-2,718
Total	118,896,009	487,375	459,564	27,811

Fuente: elaboración propia con datos de (SIAP-SAGARPA, 2014) (INEGI, 2013).

^{1/} INEGI, Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, al cuarto trimestre de 2013.

La situación de los principales productores tiene marcadas diferencias en cuanto a la participación en el consumo, el estado de México colabora con (13.8%) atendiendo su consumo interno rápidamente debido a su alta producción y números de habitantes.

El estado de Zacatecas quien tiene el primer lugar en producción se enfrenta a abastecer su mercado interno con pocos habitantes, originándole un mercado excedente de disponibilidad de casi 97% de su producción ya que solo participa con (1.3%) del consumo total nacional.

Los que se encuentran en la parte centro del país son Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí, teniendo mejor ubicación para el abasto y distribución a otros deficitarios. Para los estados del sureste donde verdaderamente la distancia es lejana y no se produce la fruta teniendo nula producción en el ciclo agrícola por condiciones de terreno los centros de origen son distantes, como es el caso de la Península de Yucatán, Campeche, Quintana Roo y Tabasco, donde los más cercanos para satisfacerle su requerimiento son Puebla y el Estado de México para el abasto.

Los 5 estados con exceso de producción son considerados en el modelo de transporte de costo mínimo, como los orígenes, los cuales son: Zacatecas, México, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí. Los estados demandantes, que serán los destinos, son 27: Distrito Federal, Veracruz, Chiapas, Aguascalientes, Nuevo León, Michoacán, Jalisco, Oaxaca, Chihuahua, Guerrero, Baja California Norte, Sinaloa, Coahuila, Sonora, Tamaulipas, Tabasco, Yucatán, Morelos, Durango, Querétaro, Quintana Roo, Tlaxcala, Nayarit, Campeche, Baja California Sur, Colima y Guanajuato.

En el Cuadro 4.2 y 4.3 se muestra de manera resumida el resultado de restarle el consumo interno que tiene cada estado a la producción de cada uno de ellos, obteniendo 5 estados con posibilidad de ofrecer tuna a otros para abastecer al país, o enviarla al mercado exterior y 27 estados demandantes.

El orden numérico ascendente de los estados ofertantes que fungen como orígenes (i) y los estados demandantes destinos (j) están representados en el modelo como (Xij). Los orígenes empiezan en el número (1) Zacatecas y acaban en el número (5) correspondiente a San Luis Potosí. Para los estados destino empiezan en (1) Distrito Federal y acaban en (27) Guanajuato.

4.2. Estados origen y destino por disponibilidad de tuna, 2013.

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

Fuente: elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA, 2014.

Los estados origen tienen una oferta total disponible de 331,231 ton para ofrecer y la demanda insatisfecha en los estados destino es de 303,420 ton. Por lo que hay un exceso de oferta de 27,811 ton para procesar o exportar. Este excedente indica

al modelo a formular sea excedentario y las restricciones de oferta sean desigualdades mayores que (\leq); y las restricciones de demanda sean igualdades.

En la formulación del modelo el criterio para seleccionar los mejores lugares orígenes se consultó información de los Distritos de Desarrollo Rural (DDR) de SAGARPA. Además otro criterio importante fue ubicar la zona productora más cercana a los destinos. Para Zacatecas el distrito de Ojo Caliente tiene mayor producción, en el Estado de México, Zumpango es el que más volumen 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 ciudad capital de Pachuca por concentrar toda la producción de los distritos principalmente de Mixquiahuala, para el caso de San Luis Potosí se eligió esta misma ciudad como punto de origen, porque supera al distrito de Matehuala en volúmenes de producción.

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.

En el Cuadro 4.3 se muestran las ciudades de destino seleccionadas, ubicando la central de abasto o unidad mayorista que abastezca 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, Colima e Irapuato, Gto.

Cuadro 4.3. Ciudades de destino con demanda insatisfecha y centrales de abasto.

Estado	Población (habitantes)	Central de abasto	Ubicación	Total de bodegas	Bodegas de frutas y hortalizas
Distrito Federal	1'815,786	Ciudad de México	Del. Iztapalapa	2,378	1,881
Veracruz	552,156	Mdo. Popular Malibrán	Veracruz	264	210
Chiapas	553,374	Tuxtla Gtz.	Chiapas	96	32
Aguascalientes	797,010	Aguascalientes	Aguascalientes	360	100
Nuevo León	1,135,512	Central de Abastos y Servicios Monterrey, S.A. de C.V.	Monterrey	345	200
Michoacán	729,279	Morelia	Morelia	547	423
Jalisco	1'495,189	Guadalajara	Guadalajara	1,600	1,168
Oaxaca	263,357	Mdo. de Abasto de Oaxaca "Margarita Maza de Juárez"	Oaxaca	64	57
Chihuahua	819,543	Chihuahua	Chihuahua	173	120
Guerrero	789,971	Acapulco	Acapulco	96	23
Baja California Norte	1'559,683	Tijuana "INDIA"	Tijuana	110	66
Sinaloa	858,638	Culiacán	Culiacán	360	140
Coahuila	639,629	La Laguna.	Torreón	220	112
Sonora	391,645	Mdo. de Abasto Francisco I. Madero, A.C.	Hermosillo	270	213
Tamaulipas	297,284	Tampico, Madero y Altamira	Tampico	440	118
Tabasco	640,359	Villahermosa	Villahermosa	80	40
Yucatán	830,732	Mérida	Mérida	114	102
Morelos	365,168	Cuautla	Cuernavaca	167	49
Durango	582,267	"Francisco Villa" No. 1 en Condominio, A.C.	Durango	100	32
Querétaro	241,699	Querétaro	Querétaro	322	192
Quintana Roo	661,176	Central de abasto Cancún	Cancún	263	50
Tlaxcala	76,492	Mdo. de Apizaco	Apizaco	N/D	N/D
Nayarit	380,249	Mdo. de Abastos "Adolfo López Mateos"	Tepic	176	123
Campeche	259,005	Mdo. "Pedro Sáinz de Baranda"	Campeche	4	2
Baja California Sur	251,871	Cd. de La Paz	La Paz	103	75
Colima	161,420	Regional de Colima	Manzanillo	118	16
Guanajuato	529,440	Irapuato	Irapuato	407	286

Fuente: elaboración propia con datos de INEGI y del inventario nacional de centrales, módulos de abasto y mercados mayoristas niveles de operación 2009-2010.

4.2 Cálculo del costo de transporte de origen a destino

El cálculo de los costos de transporte primero se hizo para modelo cerrado considerando solo el mercado nacional, para modelo abierto serán considerados los puntos frontera por donde saldrá el excedente de los estados superavitarios.

Para los costos de transporte se demuestra cómo son proporcionales a las distancias recorridas, en la distribución de este trabajo los orígenes a destino rebasan los 30 km, situación que provoca que la empresa transportista cobre tarifas altas ya que suma el costo de un flete local de dos mil seiscientos pesos por recorrer de cero a treinta kilómetros, rebasando dicha distancia cobra dieciocho pesos por kilómetro recorrido adicional, finalmente se suma a la cantidad total el Impuesto al Valor Agregado (IVA).

Para conocer el precio por tonelada se dividió el costo total de flete entre 28 toneladas, cifra que corresponde a la capacidad del tracto camión utilizado para cada envío. Aclarando que se pueden ajustar las tarifas aquí señaladas pudiendo ser modificadas por acuerdo entre las partes previo a la solicitud y aceptación del servicio por parte de la empresa contratada.

A continuación, se muestra en el Cuadro 5.4 los costos de transporte expresados en pesos mexicanos por tonelada transportada de los cinco estados origen a los 27 estados destino; asimismo, en el Anexo 1, se muestra la distancia en kilómetros recorridos.

En el Cuadro 4.4 se demuestra cómo influye directamente el costo del transporte carretero en la competitividad de cualquier mercado, siendo más específico el de productos agrícolas ya que eleva los costos de las mercancías hasta su destino final por el traslado, impactando directamente a la logística de distribución nacional, internacional, de importación y de exportación de cualquier región.

Cuadro 4.4. Costos de transporte por tonelada transportada de origen a destino (\$/ton).

Origen / Destino	1 Zacatecas	2 México	3 Puebla	4 Hidalgo	5 San Luis Potosí
1 Distrito Federal	545	148	234	180	411
2 Veracruz	838	434	287	420	704
3 Chiapas	1162	758	611	744	1028
4 Aguascalientes	168	457	601	494	261
5 Nuevo León	471	745	890	783	479
6 Michoacán	409	306	451	344	351
7 Jalisco	345	483	628	521	376
8 Oaxaca	885	480	334	466	751
9 Chihuahua	767	1148	1293	1186	873
10 Guerrero	831	439	461	472	697
11 Baja California Norte	1854	2133	2278	2171	1919
12 Sinaloa	714	993	1138	1030	885
13 Coahuila	441	822	967	1456	547
14 Sonora	1210	1489	1634	1527	1382
15 Tamaulipas	541	460	503	423	421
16 Tabasco	1095	691	544	677	961
17 Yucatán	1498	1094	947	1080	1364
18 Morelos	606	214	248	247	472
19 Durango	370	752	896	789	476
20 Querétaro	387	238	383	275	260
21 Quintana Roo	1732	1328	1181	1314	1598
22 Tlaxcala	615	211	174	197	481
23 Nayarit	495	633	778	671	526
24 Campeche	1380	976	829	962	1246
25 Baja California Sur	2944	3223	3367	3260	3049
26 Colima	567	705	850	743	598
27 Guanajuato	312	315	460	353	254

Fuente: elaboración propia con datos de la empresa Transportes Avancarga.

Para este estudio se demuestra como implica el factor costo de transporte en llevar la fruta de regiones del centro a algunos lugares colindantes con los litorales que se encuentran en el golfo de México como Campeche y Yucatán es caro, mientras los del pacífico son aún más caros como Baja California Norte, Baja California Sur, Sonora y en mayor proporción Chiapas que está ubicado al suroeste.

Finalmente al Caribe, es extremadamente costoso el precio del flete debido a la lejanía de los centros oferentes, por ejemplo, llevar el producto hasta el estado de Quintana Roo, originando que la mayoría de las veces estos lugares queden en desabasto, no obstante es importante señalar que pueden ser atractivos para el comercio por los buenos precios pagados en determinados mercados, debido a que tienen la capacidad de absorber los costos de transporte o acarreo.

4.3 Modelo de distribución en economía de mercado cerrado

En el procesamiento de economía de mercado cerrado es importante considerarlo ya que cualquier país primero debe cumplir sus condiciones de abastecimiento a nivel nacional, protegiendo algunas de las veces ciertas actividades o productos necesarios con mecanismos de política para el beneficio de la sociedad, sin recurrir al intercambio internacional.

El modelo de transporte para la distribución de tuna, optimiza la producción de aquellos estados donde su producción abastece su consumo interno y además tienen excedente para poder distribuir a otras entidades demandantes del país.

En la manera óptima de distribuir el objetivo es hacerlo al menor costo posible, es por eso que algunos estados envíen de manera satisfactoria su producción a los más cercanos posibles quedando en cero, mientras que algunos otros envían y se quedan con rezago de producto sin distribuir, por eso el modelo al realizar las iteraciones puede tomar toda la producción de un estado, alguna parte o en ocasiones nada de los orígenes u oferentes.

La ecuación de la función objetivo (Y), será optimizada dadas las limitaciones o restricciones determinadas de oferta y demanda con las variables que necesitan ser minimizadas. La variable a considerar en la minimización de costos de transporte se representa como (C_{ij}) , la cual indica el costo de transporte unitario el que se supone transportar de cada origen (m) con disponibilidad de producto a

cada destino (n) considerado demandante con faltante, multiplicado por la cantidad (X) toneladas que se debe enviar a cada uno de los destinos.

Para modelo cerrado los estados oferentes son 5 y los demandantes 27, por lo tanto la función objetivo contendrá 135 términos, con el propósito de determinar un plan de transporte de las cantidades de unidades de producto que se enviara de cada origen a cada uno de los destinos tal que se minimice el costo de transporte total, como se muestra a continuación:

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

$$X_{ij} \geq 0$$

$i = 1, 2, \dots, m$ (*regiones productoras*)

$j = 1, 2, \dots, n$ (*regiones consumidoras*)

$$\text{MIN } Y = C_{11}X_{11}+C_{12}X_{12}+C_{13}X_{13}+\dots\dots\dots C_{mn}X_{mn}$$

Utilizando el software (LINDO™) se demuestran los resultados óptimos, asimismo la nomenclatura de códigos utilizados, como es un problema de minimización se pone la palabra clave “MIN” antes de poner la función objetivo.

Finalmente, se le escribirá después de las restricciones la palabra “END”, indicando que se ha concluido. Respecto a utilizar mayúsculas y minúsculas es indiferente ya que en automático las pone a su lenguaje de programación; mientras los comentarios que se pongan serán después del signo de exclamación (!) el cual será ignorado por el optimizador.

Las cinco restricciones de los estados oferentes representan lo que se manda de cada origen a cada uno de los destinos con desigualdad menor que, por ser superavitario donde la oferta es mayor que la demanda.

Para las 27 restricciones de demanda representan lo que recibe cada destino; la suma de lo que mande cada origen debe ser igual al faltante de dicho destino.

Finalizando la programación LINDO™, asume por defecto las condiciones de no negatividad, los resultados nos saldrán en dos ventanas; una que muestra la solución del problema planteado y la otra que nos cuestiona si deseamos realizar un análisis de sensibilidad al problema, respondiendo “yes” o “si” se mostraran los resultados, así mismo la ventana de solver status mostrándonos información del proceso de resolución.

En el Anexo 3, se muestra ventana de resultados o ventana de reporte por medio del programa LINDO™, incluyendo valor óptimo (mínimo costo), solución óptima, (distribución de la producción), precios duales y los rangos de los coeficientes objetivo y valor de las restricciones. La información básica proporcionada en el encabezado de la ventana demuestra que se han necesitado cincuenta y tres iteraciones para llegar a la solución óptima (LP OPTIMUM FOUND AT STEP 53), por lo tanto se encontró la solución óptima en esa iteración, este software de programación lineal utiliza el método de optimización simplex.

4.3.1 Valor óptimo

En el análisis del informe la primera fila corresponde a la solución óptima encontrada de la función objetivo siendo de 0.1786150E+09, indicando que el costo total de transportar de manera óptima la tuna (*Opuntia* spp.) para 2013 en condiciones de mercado cerrado es de \$178'615,045.00 pesos.

La columna de las variables corresponde a origen con su destino, los estados mejor ubicados que muestran optimización en la distribución se muestran en la columna valor (value) que tomaron cada una de las variables producto, que definimos de manera explícita en el modelo y ahora están representadas en el óptimo.

4.3.2 Solución óptima

A continuación se muestra la solución óptima, en el Cuadro 4.5 se detalla 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.

Cuadro 4.5. Distribución óptima de modelo cerrado, 2013.

Variable	Origen (i)	Destino (j)	Cantidad (ton)
X ₁₄	Zacatecas	Aguascalientes	2,530
X ₁₅	Zacatecas	Nuevo León	19,205
X ₁₆	Zacatecas	Michoacán	17,550
X ₁₇	Zacatecas	Jalisco	17,214
X ₁₉	Zacatecas	Chihuahua	14,108
X ₁₁₀	Zacatecas	Guerrero	10,510
X ₁₁₁	Zacatecas	Baja California Norte	13,145
X ₁₁₂	Zacatecas	Sinaloa	11,373
X ₁₁₃	Zacatecas	Coahuila	11,223
X ₁₁₄	Zacatecas	Sonora	11,082
X ₁₁₅	Zacatecas	Tamaulipas	9,150
X ₁₁₉	Zacatecas	Durango	6,708
X ₁₂₀	Zacatecas	Querétaro	6,486
X ₁₂₃	Zacatecas	Nayarit	4,549
X ₁₂₅	Zacatecas	Baja California Sur	2,809
X ₁₂₆	Zacatecas	Colima	2,718
X ₁₂₇	Zacatecas	Guanajuato	1,734
X ₂₁	México	Distrito Federal	34,349
X ₂₂	México	Veracruz	4,769
X ₂₃	México	Chiapas	19,886
X ₂₈	México	Oaxaca	592
X ₂₁₀	México	Guerrero	3,145
X ₂₁₈	México	Morelos	6,348
X ₂₂₂	México	Tlaxcala	4,598
X ₃₂	Puebla	Veracruz	25,839
X ₃₁₆	Puebla	Tabasco	9,060
X ₃₁₇	Puebla	Yucatán	8,018
X ₃₂₁	Puebla	Quintana Roo	5,805
X ₃₂₄	Puebla	Campeche	3,423
X ₄₈	Hidalgo	Oaxaca	14,565
X ₅₁₈	San Luis Potosí	Morelos	930
Total			303,421

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Linear, Interactive and Discrete Optimizer (LINDO).

En condiciones de mercado cerrado cada uno de los orígenes distribuye su excedente de producción dentro del país, no recurriendo a una economía de mercado abierto, por medio de programación lineal se optimiza el costo mínimo de transporte de llevar el producto de los cinco estados conformados por Zacatecas, México, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí que cumplen la condición de orígenes a los 27 estados destino.

El criterio principal para que se activara la mejor ruta se consideró la mejor solución que minimiza el costo, en primer lugar esta Zacatecas, abasteciendo 53% de la nación, siendo el más participativo, con la característica de ser autosuficiente y además envía a 17 estados deficitarios de la República Mexicana como: Monterrey, Nuevo León (19,205 ton); Morelia, Michoacán (17,550 ton); Guadalajara, Jalisco (17,214 ton); Chihuahua (14,108 ton), Tijuana, Baja California Norte (13,145 ton) y Culiacán Sinaloa (11,373 ton).

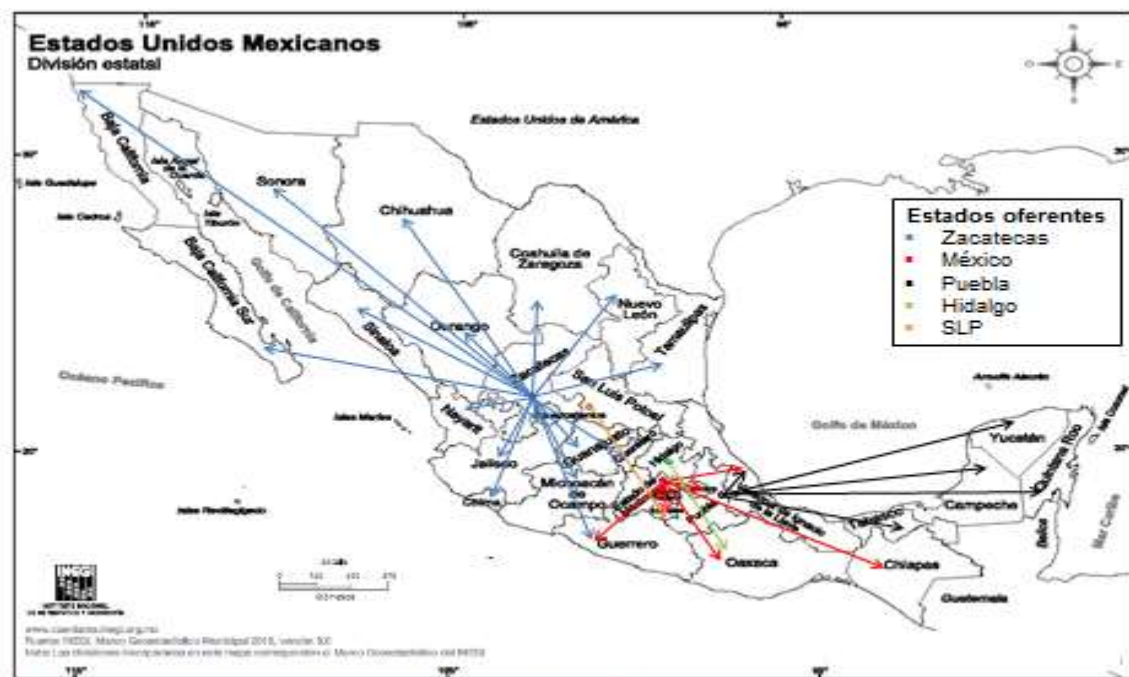
Asimismo realiza envíos hasta Torreón, Coahuila (11,223 ton); Hermosillo, Sonora (11,082 ton); Acapulco, Guerrero (10,510 ton); Tampico, Tamaulipas (9,150 ton); Durango (6,708 ton), Querétaro (6,486 ton), Tepic, Nayarit (4,549 ton); La Paz, Baja California Sur (2,809 ton); Manzanillo, Colima (2,718 ton); Aguascalientes (2,530 ton), e Irapuato, Guanajuato (1,734 ton). Zacatecas es el primer lugar en producción y principal abastecedor, además es el único estado que presenta excedente en la producción demostrándose en el modelo con valor en las variables de holgura (slacks), situación que indica que debe tener capacidad para procesar, transformar en subproductos o participar en exportaciones enviando parte de ese superávit de producción.

Enseguida se tiene al segundo productor más importante que es México con superficies establecidas en la región de Zumpango quien abastece inmediatamente al Distrito Federal con (34,349 ton), Chiapas (19,886 ton), Morelos (6,348 ton), Tlaxcala (4,598 ton), Veracruz (4,769 ton), Guerrero (3,145 ton) y Oaxaca (592 ton).

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

El cuarto productor es el estado de Hidalgo, abastece la cantidad faltante que demanda Oaxaca enviando (14,565 ton), mientras San Luis Potosí, quien ocupa el último lugar con cantidad disponible para ofertar envía en su totalidad al estado de Morelos sus (930 ton) de producción. En la siguiente Figura 4.1 se representa la red de distribución de estados oferentes de tuna, en el mapa de México, de acuerdo a los resultados de la solución para mercado cerrado.

Figura 4.1. Red de distribución de estados oferentes de tuna en mercado cerrado.



Fuente: elaboración propia con mapa de INEGI, 2010.

Cabe aclarar, que el mercado de La Paz, Baja California Sur considerado en este modelo es solo por medio de transporte terrestre, pero en cuestiones prácticas reales de comercialización convendría enviar el camión al puerto de Mazatlán, Sinaloa para posteriormente trasbordar un ferrie que nos conduzca del puerto de Mazatlán a La Paz, Baja California Sur. Dicho lo anterior en este modelo considera

la distancia terrestre recorrida de trasladarse hasta Tijuana, Baja California Norte y bajar por toda la península de Baja California ubicada al noroeste del país.

En economías de mercado cerrado es importante tomar las debidas precauciones para responder eficazmente a alternativas de solución respecto a la producción, ya que medidas precautorias de proteccionismo por parte de otros países pueden originar el cierre de fronteras evitando que entre el producto, las mejores solución son abastecer a menor costo la producción, pero teniendo buenos planes de distribución que atiendan y ajusten la dinámica comercial para su pronta realización.

4.3.3 Análisis de sensibilidad informe

El informe final general generado por el software LINDO™, demostrado en el Anexo 3, nos indica el óptimo económico y la solución óptima, posteriormente se procede a realizar el análisis de sensibilidad, el análisis comprende la variación de los datos o parámetros presentados en el modelo individualmente, haciendo este análisis de sensibilidad de los resultados modificando un dato a la vez, asumiendo que los demás permanecen constantes.

Los rangos de sensibilidad presentados después de resolver el modelo presentan información acerca del rango de aumento y disminución (allowable increase/allowable decrease) la base actual permanecerá sin cambios, en la medida que pueden moverse los coeficientes de la función objetivo para que aumente o disminuya el valor óptimo sin que la solución o plan de distribución no cambie, información que sirve para realizar ajustes de acuerdo a los insumos utilizados por el transportista, casos como en México el aumento de combustible, licencias, permisos de conducción por carreteras federales, servicios extraordinarios, cambios en la disponibilidad de producción en ciertas temporadas, sueldos y salarios, otros factores etc.

El costo reducido (reduced cost) es la cantidad que tendría que mejorar, cada variable está asociado a una variable de decisión indicándonos en cuanto debe disminuir el coeficiente correspondiente de la función objetivo para que dicha variable se active o se incluya en la solución óptima. De esta manera en la solución óptima una variable que aparece en la solución óptima con valor distinto de cero tendrá siempre un costo reducido igual a cero, como se muestra en el Cuadro 4.5, al formar parte de la base poseen un costo de oportunidad nulo, teniendo sentido ya que esas cantidades se están distribuyendo.

Reafirmando que las variables estructurales son aquellas con las que se planteó originalmente el modelo, dentro de estas variables podemos identificar variables básicas las cuales definen la solución óptima y las variables no básicas las cuales no aparecen en la solución óptima.

El análisis de las cantidades óptimas que deben distribuirse deben de respetar las cantidades de los rangos en los que la base no cambia (ranges in which the basis is unchanged), estos rangos muestran en cuanto puedo variar el valor actual que tiene el coeficiente asociado a cada variable en el funcional (por ejemplo suponiendo que es el único coeficiente que varía), siendo estos coeficientes los (C_i) del modelo.

Lo que nos muestra en las columnas es:

- Current coef: es el valor actual del coeficiente asociado a la variable en el funcional desde cada origen a cada destino ($C_{11}X_{11}+C_{12}X_{12}+C_{13}X_{13}+\dots+C_{mn}X_{mn}$).
- Allowable increase: es el incremento permitido traduciéndose como en cuanto puedo aumentar el valor actual de dicho coeficiente sin que se modifique la estructura de la solución actual.
- Allowable decrease: es el decremento permitido significándose en cuanto puedo disminuir el valor actual de dicho coeficiente sin que se modifique la estructura de la solución actual.

De esta manera para el caso de X_{11} (origen Zacatecas, destino Distrito Federal) que es variable no básica, el coeficiente correspondiente tiene un valor de \$545 pesos, para que esta variable entre a la solución óptima y se active la ruta tendría que disminuir \$5 pesos el costo de transporte. Todo lo anterior; quiere decir, que si el costo C_{11} se encuentra en el rango entre $[545-5, 545+ \infty]$. Es decir, tiene un incremento de infinito cantidad que se suma en el intervalo la cual si se incrementa de manera indefinida no entra en la solución, mientras el decremento permisible es de 5, indicado esta cantidad que para que la variable entre a la solución óptima se active y sea básica tiene que disminuir \$5 el costo de transporte de esa ruta.

Para el caso de X_{28} (origen México, destino Oaxaca) que es variable básica con valor de cero en el costo reducido, el coeficiente actual es de \$480 pesos, tiene un incremento permisible de \$1 peso, significando esto que si presenta este aumento en un momento dado la solución no cambia, pero si tiene aumentos superiores a este valor deja de ser básica. De la misma manera tiene un decremento permisible de cero representando el límite del valor de la variable para seguir siendo básica y activa en la ruta.

En conclusión el costo reducido representa el valor que sumado al coeficiente actual de una variable de la función hace que esta variable se active y forme parte de la solución óptima. Esta información es útil en un plan de distribución que representa cambios o imprevistos por situaciones de aumentos en los precios de costos de transporte, comercialización, introducción de nuevos mercados, cambios de ruta etc. Si se logra disminuir el costo de transporte de las variables que aparecen como no básicas, permitirá una buena distribución y así poder satisfacer la demanda de ese producto sin que tenga variaciones la solución óptima.

Decrementos inferiores en los costos de transporte en estas variables hace que siempre la variable o estados oferentes se introduzcan en la solución óptima de manera satisfactoria.

Los valores de la variable de holgura figuran en la columna (slack o surplus) holgura o excedente, para este modelo de economía cerrada la holgura representa la cantidad sobrante de producto, esta columna nos dice que tan cerca estamos de agotar la restricción asociada para cumplirla en condiciones de igualdad, como las restricciones de oferta son (\leq) es una holgura.

Cada una de las filas (row), representa la variable de holgura asociada a la restricción correspondiente, este es un indicador para ver en cuanto se ésta superando a la demanda y que estados de la República Mexicana lo presentan, el estado de Zacatecas representado en la fila 2, tiene un sobrante de 27,811 ton, sin distribuir, mientras el Estado de México, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí tienen valor de cero indicando que la producción se distribuyó totalmente o está agotada.

Precios sombra y los precios duales (dual prices) están asociados a una restricción del modelo e indica en cuanto mejoraría la función objetivo si dicha restricción se relájese en una unidad. En este contexto que es minimización mejorar significa disminuir, los precios duales de las restricciones de oferta están situados de la fila 2 a la 6, nos dan la cantidad en que mejoraría la función objetivo (cumpliéndose esto dentro de cierto rango), en este caso disminuyendo ya que es minimización si relajásemos la restricción asociada en una unidad.

En este caso el modelo es de minimización y la restricción es de menor o igual por lo tanto el precio dual será mayor o igual a cero. En caso de ser cero el precio dual haría que permanezca igual o mejore en ese monto el valor óptimo ante el aumento de una unidad del lado derecho de la restricción. Es decir por cada unidad que aumente el valor del lado derecho se debe restar el monto del precio dual al valor óptimo, debido a que se está minimizando la función objetivo.

De acuerdo al párrafo anterior por cada unidad que aumente de producto estando en el intervalo permisible del lado derecho de las restricciones el funcional mejora en \$392 para México, \$539 para Puebla, \$406 para Hidalgo y \$134 para San Luis

Potosí. Mientras el estado de Zacatecas al tener un valor no nulo (es decir, si lo asociamos al simplex, sería una variable que forma parte de la base) su valor marginal es cero, sin embargo; si se disminuye el lado derecho entonces desmejora aumenta el valor óptimo o queda igual.

Dicho lo anterior, si los estados oferentes aumentan en una tonelada estando en el intervalo permisible, el costo de transporte disminuye por la cantidad que está en el precio dual asociada a la restricción o incrementa los costos por la misma cantidad.

Las restricciones con precio dual igual a cero no se activan en el modelo, tienen holgura diferente de cero, caso del estado de Zacatecas quien tiene una cantidad sobrante faltante de distribuir. El mismo análisis se realiza para las variables de holgura (slacks). Los coeficientes en este apartado muestran el término independiente de cada una de las restricciones.

4.4 Modelo de distribución en economía de mercado abierto

Es importante considerar el procesamiento de economía de mercado abierto ya que cualquier país actualmente es participante en tratados comerciales, siendo incluyente en la dinámica de la globalización en los negocios, recurriendo al comercio internacional con otros socios. El modelo de transporte para la distribución de tuna, optimiza la producción de aquellos estados donde su producción abastece su consumo interno y además tienen excedente para poder distribuir a otras entidades demandantes del país.

La ecuación de la función objetivo (Y), será optimizada dadas las limitaciones o restricciones determinadas de oferta y demanda con las variables que necesitan ser minimizadas. La variable a considerar en la minimización de costos de transporte se representa como (C_{ij}), la cual indica el costo de transporte unitario el que se supone transportar de cada origen (m) con disponibilidad de producto a

cada destino (n) considerado demandante con faltante, multiplicado por la cantidad (X) toneladas que se debe enviar a cada uno de los destinos.

El modelo de economía abierta la oferta total es igual a la demanda total, de esta manera el modelo de transporte esta balanceado. La característica principal de este modelo difiere con el modelo general sólo en el hecho de que ahora todas las restricciones son ecuaciones.

El modelo en el mercado abierto para la producción de 2013 se extiende, quedando equilibrado, ahora se incluyen los puntos frontera; los cuales fungen como centros de consumo absorbiendo la diferencia entre oferta y demanda, con sus respectivos costos de transporte, siendo los puertos fronterizos por donde puede salir el excedente de producción; los cuales en el modelo son expresados como nuevos estados demandantes.

Con estas condiciones se forman las ecuaciones que condicionan a la función objetivo. Ahora son ecuaciones por que las restricciones de oferta dejan de ser desigualdades y se cambian a igualdades y las restricciones de demanda quedan con el mismo signo de igual; indicando que se cubra toda la demanda de cada uno de los estados y se realice toda la oferta excedente, quedando ahora como ecuaciones.

De esta manera la función objetivo contendrá 20 nuevos términos, que representan los costos de cada uno de los 5 orígenes a los 4 destinos frontera, así mismo la oferta es ampliada en cada una de ellas agregándose los 4 posibles destinos que recibirán parte de esa oferta, por otro lado la demanda aumenta de 27 a 31, donde los destinos frontera se enviara la cantidad excedente, la cual en el modelo cerrado se muestra en la variable de holgura (slacks).

Para el año 2013, a nivel nacional los estados oferentes son 5 y los demandantes 27, sumándose además 4 puntos frontera de salida para las exportaciones, dando

un valor total de 31 demandantes, por lo tanto la función objetivo contendrá 155 términos, con el propósito de determinar un plan de transporte de las cantidades de unidades de producto que se enviara de cada origen a cada uno de los destinos tal que se minimice el costo de transporte total, como se muestra a continuación:

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

$$X_{ij} \geq 0$$

$$i = 1, 2, \dots, m \text{ (regiones productoras)}$$

$$j = 1, 2, \dots, n \text{ (regiones consumidoras)}$$

$$\text{MIN } Y = C_{11}X_{11}+C_{12}X_{12}+C_{13}X_{13}+\dots+C_{mn}X_{mn}$$

Cumpliendo la condición de que la suma de las ofertas coincide con la suma de las demandas:

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

En el (Anexo 4), se muestra el reporte de salida del modelo utilizando el software de computo LINDO™, con los resultados de valor óptimo (mínimo costo), valor óptimo (mínimo costo), solución óptima, (distribución de la producción), precios duales y los rangos de los coeficientes objetivo y valor de las restricciones, información que se utilizó en el análisis de sensibilidad.

Las cinco restricciones de los estados oferentes representan lo que se manda de cada origen a cada uno de los destinos con signo de igualdad, por estar en equilibrio donde la oferta es igual a la demanda.

Para las 27 restricciones de demanda representan lo que recibe cada destino; la suma de lo que mande cada origen debe ser igual al faltante de dicho destino, sumándole los 4 puntos fronteras Mexicali, Baja California Norte; Nogales, Sonora; Ciudad Juárez, Chihuahua y Nuevo Laredo, Tamaulipas.

Finalizando la programación LINDO™, los resultados se muestran en dos ventanas; una que muestra la solución del problema planteado y la otra que nos cuestiona si deseamos realizar un análisis de sensibilidad al problema, al responder “si” se mostrarán los resultados.

La ventana de solver status, muestra información del proceso de resolución, precisando que de acuerdo a la información ingresada el software presentó los resultados óptimos de acuerdo a los menores costos de transporte para su eficiente y mejor distribución, activando las mejores rutas que permiten obtener el mejor resultado de la función objetivo que es la minimización.

En estas condiciones cada uno de los orígenes distribuye su excedente de producción dentro del país y además considera que puede exportar por medio de programación lineal se optimiza el costo de transporte de llevar el producto de los 5 estados conformados por Zacatecas, México, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí que cumplen la condición de orígenes a los 31 destinos.

Sin embargo el cálculo de los costos de transporte primero se hizo para modelo cerrado considerando solo el mercado nacional, para modelo abierto serán considerados los puntos frontera por donde saldrá el excedente de los estados superavitarios.

Para el año 2013 la producción total fue de 487,375 ton, superando al consumo nacional del mismo año estimado en 459,565 ton, por lo que se tuvo un pequeño superávit con potencialidad de procesar industrialmente por parte de los estados que lo presentan o recurrir a las exportaciones.

Por lo que hay un exceso de oferta de 27,811 ton para procesar o exportar, la cual se considera para los 4 puntos frontera sumándose a los estados demandantes, porque se consideran en el modelo como consumidores; para que el modelo este en equilibrio. Este excedente sumado a la demanda será igual a la diferencia aritmética resultante de producción menos consumo.

En el modelo cerrado la cantidad excedente fue de 27,811 ton, ahora en este modelo esta es la que funge como cantidad que se puede exportar, considerando los 4 puntos frontera los cuales fueron Mexicali, Baja California Norte; Nogales, Sonora; Ciudad Juárez, Chihuahua y Reynosa, Tamaulipas considerados de igual manera como demandantes de la producción excedente resultante de 2013 que fue de 27,811 ton, estos puertos de salida fueron considerados de acuerdo al análisis del Cuadro 3.11 donde se describieron los principales puertos de salida de las exportaciones.

Para los puntos frontera se tomaron solo un destino, ya que de acuerdo al estudio previo en 2013, las exportaciones a EE.UU representaron (97.6%) haciéndose principalmente por Tijuana, Baja California Norte (44.19%), pero como ya se tomó en cuenta esta ciudad como destino para la distribución nacional se determinó la segunda más importante Mexicali, Baja California Norte, mientras por los puentes internacionales de Reynosa, Tamaulipas se realizaron (50.05%) de las exportaciones y por ultimo las de Cd. Juárez, Chihuahua; Tamaulipas y Nogales, Sonora (1.88%).

Al país de Canadá se exportó 1.8% de la producción nacional, realizándose principalmente por los puntos frontera de Nuevo Laredo y Reynosa, del estado de Tamaulipas. Las exportaciones a otros países como Francia donde se envió solo (0.2%), se realiza por los puertos de Veracruz y Altamira, Tamaulipas, mientras al país de Japón (0.1%) las salidas fueron por el aeropuerto internacional "Lic. Benito Juárez", de la Cd. de México, D.F y el aeropuerto internacional "Miguel Hidalgo y Costilla", de Guadalajara, Jalisco. Al resto de países de Europa oriental y

occidental (0.2%) la dinámica de exportación se realiza por el aeropuerto internacional "Lic. Benito Juárez", de la Cd. de México, D.F.

Para los costos de transporte se agregaron las principales fronteras, por donde saldrá el excedente, agregándose cuatro fronteras las cuales están ubicadas en Mexicali, Baja California Norte; Nogales, Sonora; Ciudad Juárez, Chihuahua y Reynosa, Tamaulipas. Asimismo, se supone que cada uno de los orígenes puede enviar a cada uno de los puntos frontera, siempre que se cumpla la condición de menor costo de transporte, agregándose a la función objetivo. En el siguiente Cuadro 4.6 se presenta el cálculo de costos de transporte de cada uno de los cinco orígenes a los cuatro puntos frontera, mientras en el Anexo 2 se muestra la distancia recorrida.

4.6. Costos de transporte de origen a los puntos frontera destino (\$/ton).

Destino / Origen	Zacatecas	México	Puebla	Hidalgo	San Luis Potosí
Mexicali	1727	2006	2151	2044	1792
Nogales	1418	1697	1842	1734	1590
Cd. Juárez	1030	1411	1555	1448	1135
Nvo. Laredo	636	910	1055	948	644

Fuente: elaboración propia con datos de la empresa Transportes Avancarga.

Una vez que se agregan las fronteras de salida para las exportaciones se procesa el modelo de transporte minimizando la función objetivo, mostrándose en el Anexo 4 la salida de LINDO™ en la ventana de reporte. Los resultados del reporte que emite el programa, nos informa sobre el número de iteraciones para resolver el modelo, el valor que minimiza la función objetivo (valor óptimo) y las cantidades de cada variable que responden a la función objetivo o sea la solución óptima de mínimo costo de transporte.

La información básica proporcionada en el encabezado de la ventana demuestra que se han necesitado cuarenta y nueve iteraciones para llegar a la solución óptima (LP OPTIMUM FOUND AT STEP 49), por lo tanto se encontró la solución

óptima en esa iteración, este software de programación lineal utiliza el método de optimización simplex.

4.4.1 Valor óptimo

En el análisis del informe la primera fila corresponde a la solución óptima encontrada de la función objetivo siendo de 0.1963028E+9, indicando que el costo mínimo total de transportar de manera óptima la tuna (*Opuntia* spp.) para 2013 en condiciones de mercado abierto es de \$196'302,841.00 pesos. Esta cifra corresponde al distribuir las 331,231 ton, para consumo interno, más las 27,811 ton que fueron destinadas a la exportación.

La columna de las variables corresponde a origen con su destino, los estados mejor ubicados que muestran optimización en la distribución se muestran en la columna valor (value) que tomaron cada una de las variables producto, que definimos de manera explícita en el modelo y ahora están representadas en el óptimo.

4.4.2 Solución óptima

El Cuadro 4.7 muestra la solución óptima, se especifica la cantidad en toneladas que debe distribuirse de cada origen (i) a cada destino (j), minimizando la función objetivo de acuerdo a los costos de transporte. En estas condiciones cada uno de los orígenes distribuye su excedente de producción dentro del país y además considera que puede exportar, optimizando el costo de transporte de llevar el producto de los 5 estados conformados por Zacatecas, México, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí que cumplen la condición de orígenes a los 31 destinos.

En condiciones de mercado abierto Zacatecas no presenta cambios le manda a los mismos estados y tiene la posibilidad de exportar el excedente por la frontera norte de Nuevo Laredo, Tamaulipas. El estado origen de Zacatecas participa con 57.3% en el abasto de tuna, con una distribución muy diversificada, teniendo

presencia en la región noroeste, región noreste, región centro occidente, región centro y algunas partes de la región sur, teniendo la característica de ser perfectamente autosuficiente y además envía a 17 destinos deficitarios de la República Mexicana como: Monterrey, Nuevo León (19,205 ton); Morelia, Michoacán (17,550 ton); Guadalajara, Jalisco (17,214 ton); Chihuahua (14,108 ton); Tijuana, Baja California Norte (13,145 ton); Culiacán, Sinaloa (11,373 ton); Torreón, Coahuila (11,223 ton); Hermosillo, Sonora (11,082 ton) y Acapulco, Guerrero (10,510 ton).

De la misma manera envía a Tampico, Tamaulipas (9,150 ton); Durango (6,708 ton), Querétaro, (6,486 ton); Tepic, Nayarit (4,549 ton); La Paz, Baja California Sur (2,809 ton), Manzanillo, Colima (2,718 ton); Aguascalientes (2,530 ton); Irapuato Guanajuato (1,734 ton) y por último es el que tiene la capacidad de abastecer al mercado externo de EE.UU por la frontera norte de Nuevo Laredo, Tamaulipas enviando (27,811 ton) valor del excedente resultante del año 2013.

En modelo abierto solo se activó la frontera norte de Nuevo Laredo, Tamaulipas ubicada a 707.9 km del estado productor Zacatecas, quien es el más óptimo para exportar su cantidad excedente, gozando de estar cerca de la frontera seleccionada por el modelo, los puntos frontera no seleccionados fueron Mexicali, Baja California Norte, Nogales, Sonora y Cd. Juárez, Chihuahua, quienes no presentan condiciones óptimas de distribución por estar distantes de las zonas orígenes.

Para el caso de México que representa el segundo estado mejor ubicado para la distribución, abastece la región centro y sur del país enviando a Distrito federal (34,349 ton), Oaxaca (15,157 ton), Acapulco Guerrero (3,145 ton), Tabasco (2,513 ton), Cuernavaca Morelos (6,348 ton), Quintana Roo (5,805 ton), Tlaxcala (4,598 ton) y por último a Campeche (1,772 ton).

La diferencia respecto a mercado cerrado es que ahora en modalidad de mercado abierto ya no le manda a Veracruz y a Chiapas ahora el encargado de abastecer esos destinos es el estado productor de Puebla, como se menciona en el siguiente párrafo. Asimismo México aumento la cantidad enviada a Oaxaca pasando de (592 ton) a (15,157 ton). Ahora tiene la posibilidad de enviarle a Tabasco, Quintana Roo y Campeche, mientras para los estados de Guerrero, Morelos y Tlaxcala conserva la misma cantidad de distribución.

En tercer lugar esta Puebla, quien en el modelo indica estar situado en el mejor lugar para su distribución enviando principalmente a zonas consumidoras del sur, abasteciendo a Veracruz (30,608 ton), Tuxtla Gutiérrez, Chiapas (19,886 ton) y Campeche (1,651 ton). Este importante estado productor de buena calidad y variedad es el más beneficiado en minimización en costos de transporte en economía abierta ya que deja de ser diversificada su producción por que le sigue mandando a Veracruz y ahora tiene la capacidad de distribuir la cantidad que enviaba el estado productor de México, beneficiándose a la vez de satisfacer la demanda total de Chiapas la cual en mercado cerrado solo México era el principal oferente para ese estado. En mercado abierto los estados que antes abastecía este estado en mercado cerrado son acaparados por México los cuales son Chiapas, incluyéndose Campeche, Tabasco, Yucatán y Quintana Roo.

Ocupando el cuarto lugar como principal origen se tiene a Hidalgo quien ahora presenta algunas desventajas por la colindancia tan cerca de principales estados productores como la región de Zumpango, México y Acatzingo, Puebla ya que tiene que transportar su producción hasta estados de la península de Yucatán (8,018 ton) y Tabasco (6,547 ton). Mientras que en mercado cerrado manda en su totalidad al estado de Oaxaca,

Finalmente se encuentra el estado de San Luis Potosí con un consumo de (10,483 ton) se abastece en primera instancia de su producción local (11,413 ton), teniendo un pequeño sobrante de (930 ton), indicando el modelo que debe enviarse en su totalidad a Morelos, provocando que no presente condiciones

óptimas para distribuir, debido a que se encuentra en incompetencia, estando situado a un lado del primer estado productor más importante que es Zacatecas; asimismo, también de Hidalgo.

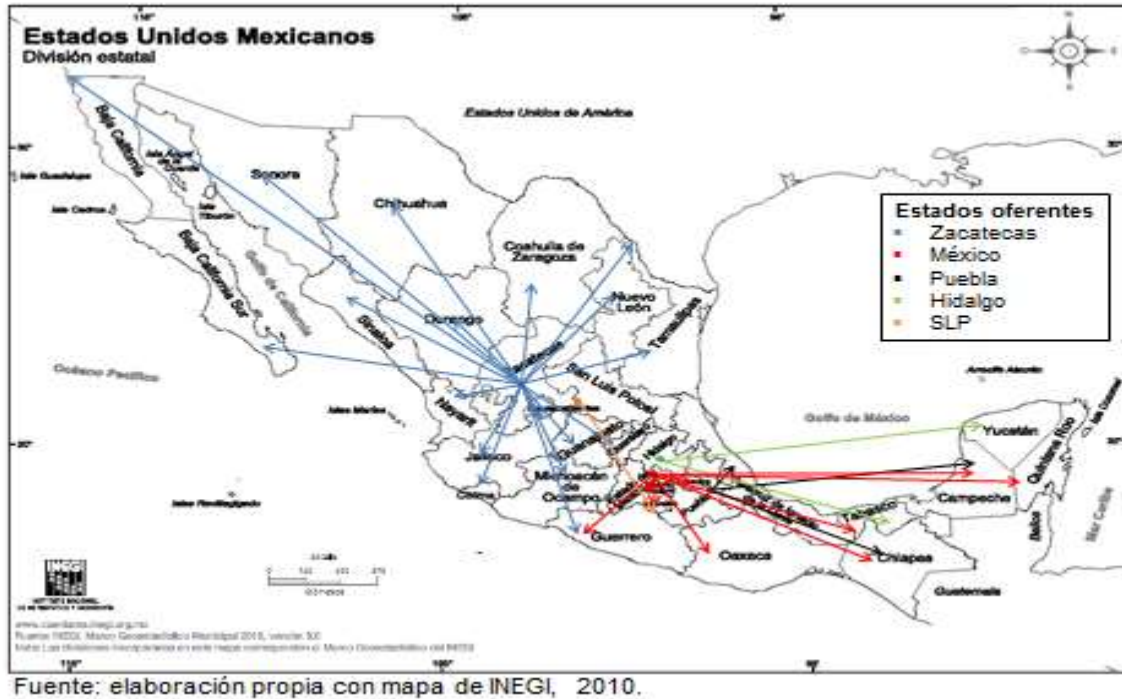
Cuadro 4.7. Distribución óptima de modelo abierto, 2013.

Variable	Origen (i)	Destino (j)	Cantidad (Ton)
X ₁₄	Zacatecas	Aguascalientes	2,530
X ₁₅	Zacatecas	Nuevo León	19,205
X ₁₆	Zacatecas	Michoacán	17,550
X ₁₇	Zacatecas	Jalisco	17,214
X ₁₉	Zacatecas	Chihuahua	14,108
X ₁₁₀	Zacatecas	Guerrero	10,510
X ₁₁₁	Zacatecas	Baja California Norte	13,145
X ₁₁₂	Zacatecas	Sinaloa	11,373
X ₁₁₃	Zacatecas	Coahuila	11,223
X ₁₁₄	Zacatecas	Sonora	11,082
X ₁₁₅	Zacatecas	Tamaulipas	9,150
X ₁₁₉	Zacatecas	Durango	6,708
X ₁₂₀	Zacatecas	Querétaro	6,486
X ₁₂₃	Zacatecas	Nayarit	4,549
X ₁₂₅	Zacatecas	Baja California Sur	2,809
X ₁₂₆	Zacatecas	Colima	2,718
X ₁₂₇	Zacatecas	Guanajuato	1,734
X ₁₃₁	Zacatecas	Nvo. Laredo	27,811
X ₂₁	México	Distrito Federal	34,349
X ₂₈	México	Oaxaca	15,157
X ₂₁₀	México	Guerrero	3,145
X ₂₁₆	México	Tabasco	2,513
X ₂₁₈	México	Morelos	6,348
X ₂₂₁	México	Quintana Roo	5,805
X ₂₂₂	México	Tlaxcala	4,598
X ₂₂₄	México	Campeche	1,772
X ₃₂	Puebla	Veracruz	30,608
X ₃₃	Puebla	Chiapas	19,886
X ₃₂₄	Puebla	Campeche	1,651
X ₄₁₆	Hidalgo	Tabasco	6,547
X ₄₁₇	Hidalgo	Yucatán	8,018
X ₅₁₈	San Luis Potosí	Morelos	930
Total			331,232

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de Linear, Interactive and Discrete Optimizer (LINDO).

A continuación, en la Figura 4.2 se representa la red de distribución de estados oferentes de tuna, en el mapa de México, de acuerdo a los resultados de la solución para mercado abierto, tomando como criterio principal la mejor solución óptima que minimiza el costo de transporte.

Figura 4.1. Red de distribución de estados oferentes de tuna en mercado abierto.



La importancia de participar en una economía abierta radica en que personas, empresas, entes gubernamentales, políticos, sociales, etc; pueden comercializar bienes y servicios con otros de diferentes partes del mundo, siendo de vital importancia por la generación de divisas entrantes por la pronta realización de alguna actividad comercial en este caso el excedente presentado en el año 2013.

4.4.3 Análisis de sensibilidad informe

El informe final general generado por el software LINDO™, representado en el (Anexo 4), nos indica el óptimo económico y la solución óptima, posteriormente se procede a realizar el análisis de sensibilidad. Los resultados del reporte que emite el programa, nos informa sobre el número de iteraciones para resolver el modelo,

el valor que minimiza la función objetivo (valor óptimo) y las cantidades de cada variable que responden a la función objetivo o sea la solución óptima de mínimo costo de transporte.

Los cambios en el modelo se relacionan con cambios en los coeficientes de las variables de decisión en la función objetivo (ganancia que se obtiene por unidad de decisión) y por otro lado los cambios en los lados derecho de las restricciones o igualdades para este caso que definen al modelo (cantidad disponible de recursos).

En el modelo, la minimización por costos de transporte de zonas productoras a zonas consumidoras puede variar por aumento en los precios de los insumos utilizados por el transportista, así mismo por la disponibilidad de oferta y comportamiento de la demanda en determinado tiempo, en estos casos el análisis de sensibilidad nos ayudara a conocer cómo afectan estos cambios a la solución óptima obtenida y a los beneficios obtenidos por hacer una óptima distribución.

Cuando la variable es una variable básica de la solución óptima su costo reducido es cero en forma automática. Cuando es una variable no básica su costo reducido proporciona información para hacer análisis y ajustes de acuerdo a las propias necesidades.

El costo reducido indica cuánto se puede disminuir (cuando se minimiza) este coeficiente antes de que cambie la solución óptima y esta variable se convierta en básica, recordando que esta información se obtiene mediante el intervalo permisible para seguir óptimo para el coeficiente de esta variable en la función objetivo.

El costo reducido (de una variable no básica) es sólo el decremento permitido (cuando se minimiza), a partir del valor actual del coeficiente para quedar dentro de su intervalo permisible para formar parte de la solución óptima.

De esta manera en la solución óptima una variable que aparece en la solución óptima con valor distinto de cero tendrá siempre un costo reducido igual a cero, como se muestra en el Cuadro 4.7 al formar parte de la base poseen un costo de oportunidad nulo, teniendo sentido ya que esas cantidades se están distribuyendo.

Los rangos de sensibilidad presentados después de resolver el modelo presentan información acerca del rango de aumento y disminución (allowable increase/allowable decrease) la base actual permanecerá sin cambios.

En la tercera parte del informe que emite el programa se presenta un análisis de sensibilidad relacionado con los coeficientes de la función objetivo, los rangos en los cuales esos valores pueden ser variados (aumentar o disminuir) sin que esto haga variar la solución óptima (distribución al menor costo).

El análisis de las cantidades óptimas que deben distribuirse deben de respetar las cantidades de los rangos en los que la base no cambia (ranges in which the basis is unchanged), estos rangos muestran en cuanto pueden variar el valor actual que tiene el coeficiente asociado a cada variable en el funcional (por ejemplo suponiendo que es el único coeficiente que varía), siendo estos coeficientes los (C_i) del modelo.

De esta manera se analiza la cantidad excedente distribuida que solamente es apto el estado de Zacatecas, representada en el modelo como X_{131} (Zacatecas a frontera Nuevo Laredo, Tamaulipas) siendo una variable básica, activa en el modelo abierto, el coeficiente actual es de \$636 pesos, teniendo un incremento permisible de \$142, indicando el límite de incremento que puede tolerar sin que la solución no cambie, rebasando este límite deja de ser básica no siendo óptima. Por otro lado el decremento es infinito (∞), significando este decremento que si baja el costo, la variable soporta y sigue siendo básica.

En cambio sí Zacatecas quisiera mandar su excedente por la frontera de Cd. Juárez Chihuahua, representada por la variable X_{130} la cual es no básica en el modelo. El valor del coeficiente actual es de \$1030 pesos, teniendo un incremento permisible de infinito (∞) esto quiere decir que si el costo del transporte presenta incremento de manera indefinida no entra en la solución óptima. Para que se active y sea óptima tendría que disminuir la cantidad indicada en el decremento permisible el cual es 394, esta información resulta importante para saber hasta donde el recurso del que dispongo es factible o hasta donde se puede subsidiar cierto precio para hacer el envío.

Caso específico presentan las variables X_{210} (México a Guerrero), X_{216} (México a Tabasco), X_{218} (México a Morelos), X_{224} (México a Campeche), X_{324} (Puebla a Campeche) y X_{416} (Hidalgo a Tabasco), todos estos orígenes con su respectivo destino son básicas en el modelo.

Pero tienen la característica de tener un incremento de cero, mientras el decremento permisible es de cero también, indicado esta cantidad que el valor que ya tiene de cada coeficiente es la conveniente dado que el valor óptimo del costo reducido es cero, un pequeño incremento o decremento en los costos del transporte provocarían que se conviertan en no básicas y no se incluyan en la solución óptima.

En conclusión el costo reducido representa el valor que sumado al coeficiente actual de una variable de la función hace que esta variable se active y forme parte de la solución óptima. Esta información es útil en un plan de distribución que representa cambios o imprevistos por situaciones de aumentos en los precios de costos de transporte, comercialización, introducción de nuevos mercados, cambios de ruta etc. Si se logra disminuir el costo de transporte de las variables que aparecen como no básicas, permitirá una buena distribución y así poder satisfacer la demanda de ese producto sin que tenga variaciones la solución óptima.

Decrementos inferiores en los costos de transporte en estas variables hace que siempre la variable o estados oferentes se introduzcan en la solución óptima de manera satisfactoria.

Se presenta otro análisis de sensibilidad, donde se muestran los rangos en que pueden variar los valores del lado derecho de las restricciones para que los precios duales se mantengan iguales. El valor de cero significa que ningún cambio en la cantidad en el lado derecho de la igualdad de una restricción afectará los valores de los precios duales ni los valores de los precios reducidos.

En este modelo balanceado o equilibrado de economía abierta donde la suma de las ofertas es igual a la suma de las demandas, las igualdades del recurso oferta de la fila 2 hasta la 6 son activas, al igual que las restricciones de las filas 7 a la 34 que representan la demanda, demostrándose que todos los recursos fueron requeridos en su totalidad.

Muy importante tomar en cuenta que los valores del lado derecho de todas las restricciones sólo pueden disminuirse o aumentarse en el rango que indica el análisis de sensibilidad de los recursos, para que los precios duales se mantengan iguales, fuera de ese rango se debe replantear el modelo.

De esta manera, concluimos que disminuciones en las unidades de oferta hacen que la solución siga siendo óptima siempre y cuando se encuentren en el intervalo permisible, pero aumentos en las unidades de oferta hacen que la solución no sea óptima.

El análisis de sensibilidad que emite el programa una vez resuelto un modelo, se podrá analizar cómo afectaría a la solución óptima y al valor de la función objetivo la variación dentro de un rango “tolerable”, de uno de los parámetros, manteniendo fijos los restantes.

El análisis de sensibilidad de los coeficientes de la función objetivo y de los valores del lado derecho de las restricciones nos permite estudiar cómo afectaría a la solución óptima obtenida y a la función objetivo el cambio, dentro de un rango predeterminado, de uno de los parámetros, manteniendo fijos los restantes.

La variación en el valor de la función objetivo puede calcularse multiplicando ya sea el incremento o decremento por el precio dual de la restricción, posteriormente sumar el valor del óptimo en caso de maximizar o restarlo del valor óptimo en caso de minimizar.

Por ejemplo, el cálculo de los valores de variables identificando las básicas y resolviendo. Supongamos que disminuye el número de unidades de oferta en 100 unidades para el lado derecho de la igualdad 4 que representa al estado oferente de Puebla donde la base no cambia.

Calculamos el intervalo $[14565.000 - 0.0000, 14565.000 + 0.000] = [14565, 14565]$

El nuevo valor que surge es: $14565.000 + (-100) = 14465$ revisamos que este en el rango obtenido anteriormente. De ser así la base encontrada sigue siendo la óptima, el nuevo valor de función objetivo (Y) es:

$$196302841.000 + ((406.000000) * (-100)) = 196262241.00$$

Por lo tanto se demuestra que la nueva cantidad no está en el rango de variabilidad de la igualdad, no estando en el valor del lado derecho de la igualdad, provocando que no sea óptima la base encontrada, observando que decrementos en unidades de oferta por parte de los estados orígenes como Zacatecas, México, Hidalgo y San Luis Potosí, son óptimos en la solución.

Las mejores condiciones óptimas en el modelo de distribución de mercado de economía cerrada para 2013 de tuna (*Opuntia* spp.) la tiene el principal estado productor que es Zacatecas, porque que tiene incrementos permisibles de cero,

así mismo de la misma forma decrementos permisibles de cero y además su precio dual es cero, si se incrementa o decrece la cantidad de oferta original de 189,905 ton, sería innecesario dado que el valor óptimo sigue siendo el mismo debido a que el precio dual tiene valor de cero.

Soluciones óptimas es cuando el nuevo valor está en el rango, por lo tanto la base encontrada sigue siendo óptima también en sus valores. En el modelo balanceado o equilibrado de tuna los incrementos permisibles son de cero y los decrementos permisibles son de cero igualmente, no soportando cambios en los valores del lado derecho de las igualdades.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Utilizando la programación lineal con el método del transporte se determinaron las mejores zonas orígenes y zonas destino, conociendo precisamente la producción estatal y nacional, el consumo nacional aparente, consumo per cápita y consumo total de cada uno de los estados, obteniendo los mejores estados con superávit con condiciones de distribución nacional o distribución al exterior, procurando el costo mínimo de transporte, cumpliendo la condición de que los destinos deficitarios satisfacen su necesidad de consumo de los superavitarios.

En 2013 la producción total de tuna fue de 487,375 ton, obteniendo primero la diferencia aritmética de restar producción menos consumo de cada uno de los estados, para determinar si son autosuficientes, generando que 27 entidades demanden 303,420 ton, satisfaciéndose del excedente producido por Zacatecas, Estado de México, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí, quienes juntos ofertan 331,231 ton. De esta manera, el superávit alcanzado es de 27,811 ton, con potencialidad de procesar industrialmente o recurrir a las exportaciones.

A través del análisis se determinó que cinco estados conformados por Zacatecas, México, Puebla, Hidalgo y San Luis Potosí cumplen la condición de orígenes y 27 estados de destino en un modelo de economía cerrado, en el modelo de economía abierta se sumaron cuatro puntos frontera de salida para el exceso de producción. Las zonas demandantes son las que concentran mayor densidad poblacional principalmente en las grandes urbes, como la ciudad de México, Distrito Federal, Veracruz, Jalisco, Puebla, Nuevo León y Guanajuato del total nacional.

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, sin embargo; son abastecidos por el estado productor con menores costos por tonelada, lo cual es posible por los precios altos que presentan los estados demandantes.

Para el modelo de mercado abierto se consideraron las fronteras de Mexicali, Baja California Norte; Nogales, Sonora; Cd. Juárez, Chihuahua y Nuevo Laredo, Tamaulipas; puntos de salida donde puede exportarse el excedente de los estados que lo presentan, activándose solo la frontera de Nuevo Laredo, Tamaulipas; ubicada a 707.9 km de distancia de acuerdo a la minimización de los costos de transporte del estado de Zacatecas; permitiendo comercializar las 27,811 ton disponibles del fruto por este puerto de salida, teniendo un costo de origen a destino de \$636.00 por tonelada.

De acuerdo a los costos de transporte son proporcionales a las distancias, situación que origina una clara restricción de distribución de algunos estados productores por estar ubicados en la mayor parte del centro y centro norte de la República Mexicana, asimismo otro factor importante es la colindancia de importantes estados productores, impidiendo competir con productores líderes. El costo total de transportar de manera óptima la tuna, para el año 2013 en el modelo de mercado cerrado fue de \$178'615,045.00 pesos, cantidad que corresponde por distribuir las 303,420 ton, demandadas para consumo interno.

En condiciones de mercado abierto es de \$196'302,841.00 pesos, cifra correspondiente por abastecer el mercado interno de México (303,420 ton), sumando las 27,811 ton que fueron destinadas a la exportación. En orden descendente respecto a la participación en el costo total de transporte es el siguiente: Zacatecas \$133'225,289.00, Estado de México \$27'243,312.00, Puebla \$22'303,521.00, Hidalgo \$13'091,759.00 y con \$438,960.00 el estado de San Luis Potosí. En el modelo de economía abierta la oferta total es igual a la demanda total de esta manera el modelo de transporte esta balanceado.

5.2 Recomendaciones

La producción de tuna se desarrolla principalmente en regiones áridas de México, siendo una variedad noble a los cuidados respecto a otros frutales. El apoyo gubernamental en la tecnificación del cultivo sería de enorme utilidad a fin de producir variedades del fruto de acuerdo a las exigencias organolépticas y de calidad que los consumidores demandantes desean, lo cual se verá reflejado en mejores precios del mercado nacional y extranjero.

La consolidación de productores líderes, medianos y pequeños, debe ser integradora en cada ciclo productivo, lo cual ayudará a homogeneizar las características y precios del fruto en los distintos mercados; asimismo, la organización conjunta en la planeación de siembras, cosechas, rendimiento, producción y demás actividades involucradas con la comercialización, evitará la volatilidad de sus cosechas en manos de intermediarios, los cuales ocasionan distorsiones del mercado, al provocar que el producto compita con otros frutales de temporada y se desplome su precio.

Este estudio permite realizar consideraciones posteriores de acuerdo a los resultados que se obtendrían al hacer estimaciones en determinados parámetros de los valores para analizar soluciones y beneficios óptimos de acuerdo al informe del software LINDO™. El modelo es una aproximación a la realidad, el análisis y las implicaciones de su aplicación están sujetos a cambios posteriores que ocurran en las variables de oferta, demanda, costos de transporte etc.

El análisis en cambios de variables utilizando la programación lineal, aplicando el método del transporte de costo mínimo, permite identificar posibles impactos en los resultados del problema original sin necesidad de resolver nuevamente el problema.

Instituciones o dependencias gubernamentales deben de considerar la planeación de óptimos de distribución en productos agrícolas poniendo en práctica este tipo de herramientas, con la intención de ayudar en la mejora de políticas de decisión sobre los costos de transporte de zonas oferentes a zonas demandantes, lo cual se verá reflejado en una mejora competitiva y de ingresos para los productores marginados de las regiones áridas del país.

BIBLIOGRAFÍA

- 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.
- Anaya, T. J. J. 2011. Logística integral. La gestión operativa de la empresa. Cuarta edición. Edit. ESIC. Madrid, España. 248 p.
- Ahumada, O. y Villalobos, J. R. 2008. Application of planning models in the agri-food supply chain: A review. *European Journal of Operational Research*. Vol. 196. 1-20.
- Aramyan, C.; Ondersteijn, O.; van Kooten, O.; Lansink, A. O.; 2006. Performance indicators in agri-food production chains. In: *Quantifying the Agri-Food Supply Chain*. Springer, Netherlands (Chapter 5). 49–66 pp.
- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. ASERCA. 2014. Coordinación General de Promoción Comercial y Fomento a las Exportaciones.
- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. ASERCA. 2011. Nopal y tuna, una mirada a su realidad actual. *Revista Claridades Agropecuarias*. No.213. 3-12 pp.
- Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. ASERCA. 2001. Nopal, leyenda. *Revista Claridades Agropecuarias*, No. 98. 44 pp.
- Ballou, R. H. 2004. Logística: Administración de la cadena de suministro, Quinta edición. Edit. Pearson Educación. México, D.F. 789 p.
- Beamon, B. M. 1998. Supply chain design and analysis: Models and methods. *International Journal of Production Economics* 55. 281–294.

- Chase, R. B.; Jacobs, F. R y Aquilano, N. J. 2009. Administración de operaciones. Producción y cadena de suministros. Duodécima edición. Edit. McGraw-Hill. 366-384 pp.
- Checkland, P. 1993. Pensamiento de sistemas. Prácticas de sistemas. Editorial, Grupo Noriega editores. México, D.F. 367 p.
- Compés, R. y Andrés, S. 2004. La logística de la alimentación perecedera: problemas y soluciones. Distribución y consumo, Vol. 74. 69-77 pp.
- Christopher, M. 2005. Logistics and Supply Chain Management. Third edition. Pearson Education. London. 269 p.
- Flores, V. C.; J. M. de Luna E. 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.
- Flores, V. C. 2003. Importancia del nopal. pp. 1-18. In: C. A. Flores Valdez, ed. Nopalitos y tunas, producción, comercialización, poscosecha e industrialización. 1ª Ed. Universidad Autónoma Chapingo, CIESTAAM. México.
- 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.

- Gaither, N y Frazier, G. 2006. Administración de Producción y Operaciones. Octava edición. Thomson Editores. México. 12 pp.
- Gallegos, V. C. y Méndez, G. S. 2000. La tuna: Criterios y técnicas para su producción comercial. Primera edición. Universidad Autónoma Chapingo; Fundación PRODUCE Zacatecas A.C.; Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 164 p.
- García, M. R.; García, S. J. y García, S. R. 2003. Teoría del mercado de productos agrícolas. Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática Programa de Postgrado en Economía. Colegio de Postgraduados, Montecillo, estado de México. 382 p.
- Guevara, J. C.; Suassuna, P. and Felker, P. 2009. Opuntia forage production system: status and prospectus for rangeland application. Rangeland Ecol. Manage. 62(5):428-434.
- Heizer, J. y Render, B. 2009. Principios de administración de operaciones. Séptima edición. Pearson Educación. México. 328-448 pp.
- Hillier F. S. y Lieberman G. J. 2010. Introducción a la investigación de operaciones. Novena Edición. McGraw - Hill. México. 282-285 pp.
- López, J. J.; Fuentes, J. y Rodríguez, A. 1997. Industrialización de la tuna cardona (*Opuntia streptacantha*). J. Profess. Assoc. Cactus Develop. 2: 169-175.
- Martner, P. C.; Morales, P. C.; De la Torre, R. M. y Bustos, R. A. 2005. Cadenas logísticas de exportación en México: piña fresca. Publicación Técnica No 276. Secretaría de Comunicaciones y transportes, Instituto Mexicano del transporte. Qro. 186 p.

- Méndez, G. S. y García, H. J. 2006. La tuna: Producción y diversidad. CONABIO. Biodiversitas 68:1-5.
- Mondragón, J. C. 2001. Cactus pear domestication and breeding. Plant Breed. Rev. 20:135-166.
- Murray, P. G. 1999. El poder curativo del nopal. Selector Actualidad Editorial. México, D. F. 160 p.
- Nobel, P. S. 1999. Biología ambiental. In: Barbera, G., Inglese, P. y Pimienta, Eds. Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal, 132. Roma. 37-50 pp.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. 2006. Boletín de Servicios Agrícolas. No. 162. Utilización Agroindustrial del Nopal. Roma. 165 p.
- Porter, M. E. 2002. Ventaja Competitiva, Creación y sostenimiento de un desempeño superior. Segunda edición. Onceava reimpresión. Edit. Grupo patria cultural. 550 p.
- Ramírez, P. J.; Sosa, L. R. y Santos, A. B. 2010. 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. 73 p.
- Ramírez, A. M. 2013. Modelo de transporte de costo mínimo para cebolla en México. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Chapingo. 119 p.
- Ruiz, R. y Oregui, L. 2001. El enfoque sistémico en el análisis de la producción animal: revisión bibliográfica. Invest. Agr. Prod. Sanid. Anim. Vol.16. Número 1. 29-61 p.

Salvatore, D. 1994. Microeconomía. Tercera edición. Edit. McGraw - Hill. México. 436 p.

Salvatore, D. 1999. Economía Internacional. Sexta edición. Edit. Prentice Hall, México. 767 p.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2004. Plan rector sistema producto nacional nopal. Segunda fase: base conceptual de referencia. Base de referencia estructura estratégica, México. 63 p.

Secretaría de comunicaciones y transportes. SCT. 2014. NOM-012-SCT-2-2014. Norma Oficial Mexicana sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. SCT. 2012. Anuario Estadístico. Dirección general de planeación. Sector Comunicaciones y Transportes. 242 p.

Secretaría de economía. SE. 2008. Agenda de Competitividad en Logística 2008-2012. Subsecretaría de Industria y Comercio. Dirección General de Comercio Interior y Economía Digital. 61 p.

Schroeder, R.; Meyer, G. S.; Rungtusanatham, M. J. 2011. Administración de Operaciones: Concepto y casos contemporáneos. Quinta edición. Edit. McGraw-Hill. México. 210-232 pp.

Stamer, H. 1969. Teoría del mercado agrario. Ed. Academia. León, España. 336 p.

- Sullivan, A. y Sheffrin, S. M. 2003. Economía Principios e Instrumentos. Tercera Edición. Pearson Education. 824 p
- Sumaya, M. M. T; Suárez, D. T.; Cruz, C. N. S; Alanís, G. E y Sampedro, G. J. 2010. Innovación de productos de alto valor agregado a partir de la tuna mexicana. Revista Mexicana de Agronegocios. Vol. XIV. Núm. 27. 435-441p.
- Soler, F. F.; Molina, F. F. y Rojas, C. L. 2007. Álgebra lineal y programación lineal con aplicaciones a ciencias administrativas, contables y financieras con uso de: Derive, Q.S.B y Excel. Segunda Edición. Ecoe Ediciones. Colombia. 673 p.
- Scheinvar, L. 1999. Taxonomía de las Opuntias utilizadas. In: Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal. No. 132. Roma. 21-28 pp.
- Taha, H. A. 2004. Investigación de Operaciones. Séptima Edición. Pearson Education. México. 830 p.
- Tomek, W. G. and K. L. Robinson. 1991. Agricultural product prices. Cornell University Press. Ithaca and London. 360 p.
- Toxqui, T. O. 2013. Modelo de transporte de maíz blanco (*Zea Mays L.*) en México. Tesis doctoral. Universidad Autónoma Chapingo. 103 p.
- Uzun, I. 1996. Fruit and cladodes isosymes in cactus pear. Acta Hort. 438: 53-55.
- Vargas, S. A. 2012. Marketing agropecuario. Primera edición. Edit. Trillas. México. 166 p.

Zegbe, J.; Sánchez B. y Serna A. 2014. Análisis económico de la aplicación de fertilizantes minerales en el rendimiento del nopal tunero. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.5 Núm.3. 449-461 p.

REFERENCIAS ELECTRÓNICAS

Financiera Rural. FR. 2011. Monografía del Nopal y la Tuna. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial. En: <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/MonografiaNopal-Tuna%28jul11%29.pdf>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 2013. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, al cuarto trimestre de 2013. En: http://mim.promexico.gob.mx/wb/mim/seleccion_de_indicadores

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 2013. Anuario estadístico y geográfico por entidad federativa 2013. En: http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/integracion/pais/aepef/2013/AEGPEF_2013.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 2010. Resumen Indicadores de demografía y población. En: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/temas/default.aspx?s=est&c=17484>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI. 2010. Mapa marco geoestadístico municipal, versión 5.0. En: http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/nacional/div_territorial/nacionalestadisticos.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. SIAP. 2014. Cierre de la producción agrícola. Anuario estadístico de la producción agrícola, cultivo tuna. En: <http://www.siap.gob.mx/tuna/>

Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta. SIACON. 2012. Estadística de tuna. En: <http://www.siap.gob.mx/optestadisticasiacon2012parcialsiaconzip/>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. Coordinación General de Comunicación Social. 2011. Gana mercado internacional la tuna mexicana. Comunicado de prensa NUM.371/11.En:<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/2011/julio/Documents/2011B371.pdf>

Secretaría de economía. SE.; Sistema de información arancelaria vía internet. SIAVI. 2014. En: <http://www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php>

Secretaría de economía. SE. 2010. Inventario Nacional de Centrales y Módulos de Abasto y Mercados Mayoristas Niveles de operación 2009-2010. En:<http://www.elogistica.economia.gob.mx/swb/work/models/elogistica/Resource/19/1/images/INVENTARIONACIONALCEDAS10.pdf>

Secretaría de economía. SE. 2013. Modelos de Agricultura Metropolitana. Agroparques Clusters Agroalimentarios Agrologística Foro Global Agroalimentario Octubre 2013. En:http://www.fga.org.mx/files/presentations/2013/fga_2013.Dolf_Hogewoning.es.pdf

Secretaría de comunicaciones y transportes. SCT. 2014. Como calcular tarifas de transporte de carga. En: <http://www.transporte.mx/como-calcular-tarifas-de-autotransporte-de-carga/>

Secretaría de comunicaciones y transportes. SCT. 2014. Trazar ruta. En: <http://www.sct.gob.mx/carreteras-v2/servicios/traza-tu-ruta/>

Secretaría de Relaciones Exteriores. SRE. Comisión Internacional de Límites y aguas entre México y los Estados Unidos Sección Mexicana. CILA. 2014. En: <http://www.sre.gob.mx/cilanorte/>

Secretaría de Relaciones Exteriores. SRE. Comisión Internacional de Límites y aguas entre México y Guatemala. Y entre México y Belice. CILA. 2014. En: <http://www.sre.gob.mx/cilasur/>

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA. 2004. Plan rector sistema producto nacional nopal y tuna. Segunda fase: base conceptual de referencia base de referencia estructura estratégica. México, D.F En: http://184.107.87.82/IMG/pdf/prn_nopal.pdf

Transportes Avancarga. 2014. Rutas y tarifas, servicio público federal de carga regular nacional. En: <http://www.paginasprodigy.com.mx/avancarga/>

ANEXOS

Anexo 1. Distancia en kilómetros de origen a destino.

Origen / Destino	1 Zacatecas	2 México	3 Puebla	4 Hidalgo	5 San Luis Potosí
1 Distrito Federal	586.83	54.63	169.13	97.35	407.01
2 Veracruz	979.60	437.38	240.63	418.60	799.77
3 Chiapas	1413.60	871.38	674.63	852.60	1233.77
4 Aguascalientes	81.00	467.80	661.97	518.22	205.00
5 Nuevo León	486.83	855.04	1049.21	905.46	498.31
6 Michoacán	404.57	266.51	460.68	316.93	326.13
7 Jalisco	317.77	503.32	697.49	553.74	359.42
8 Oaxaca	1041.98	499.76	303.01	480.98	862.15
9 Chihuahua	884.62	1395.59	1589.76	1446.01	1026.62
10 Guerrero	969.95	443.67	474.19	488.39	790.12
11 Baja California Norte	2342.01	2716.16	2910.33	2766.58	2428.55
12 Sinaloa	812.67	1186.82	1380.99	1237.24	1042.92
13 Coahuila	446.62	957.59	1151.76	1808.01	588.62
14 Sonora	1478.18	1852.33	2046.50	1902.75	1708.43
15 Tamaulipas	580.88	471.93	530.22	423.15	419.88
16 Tabasco	1323.90	781.68	584.93	762.90	1144.07
17 Yucatán	1864.61	1322.39	1125.64	1303.61	1684.70
18 Morelos	668.37	142.10	187.61	186.81	488.54
19 Durango	352.37	863.34	1057.51	913.76	494.37
20 Querétaro	374.33	174.47	368.64	224.89	204.00
21 Quintana Roo	2178.01	1635.79	1439.04	1617.01	1998.18
22 Tlaxcala	680.70	138.49	88.27	119.70	500.87
23 Nayarit	519.39	704.94	899.11	755.36	561.03
24 Campeche	1706.44	1164.22	967.47	1145.40	1526.61
25 Baja California Sur	3802.89	4177.04	4371.21	4227.00	3944.89
26 Colima	615.77	801.32	995.49	851.74	657.42
27 Guanajuato	274.60	278.44	472.61	328.86	196.16

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México.

Anexo 2. Distancia en kilómetros de origen a los puntos frontera destino.

Destino / Origen	Zacatecas	México	Puebla	Hidalgo	San Luis Potosí
Mexicali	2171.9	2546.1	2740.2	2596.5	2258.5
Nogales	1756.9	2131.1	2325.2	2181.5	1987.2
Cd. Juárez	1236.1	1747.1	1941.3	1797.5	1378.1
Nvo. Laredo	707.9	1076.1	1270.3	1126.6	719.4

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) de México.

Anexo 3. Solución óptima de mercado cerrado.

TITLE- DISTRIBUCION MERCADO CERRADO
LP OPTIMUM FOUND AT STEP 53

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.1786150E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	0.000000	5.000000
X12	0.000000	12.000000
X13	0.000000	12.000000
X14	2530.000000	0.000000
X15	19205.000000	0.000000
X16	17550.000000	0.000000
X17	17214.000000	0.000000
X18	0.000000	13.000000
X19	14108.000000	0.000000
X110	10510.000000	0.000000
X111	13145.000000	0.000000
X112	11373.000000	0.000000
X113	11223.000000	0.000000
X114	11082.000000	0.000000
X115	9150.000000	0.000000
X116	0.000000	12.000000
X117	0.000000	12.000000
X118	0.000000	0.000000
X119	6708.000000	0.000000
X120	6486.000000	0.000000
X121	0.000000	12.000000
X122	0.000000	12.000000
X123	4549.000000	0.000000
X124	0.000000	12.000000
X125	2809.000000	0.000000
X126	2718.000000	0.000000
X127	1734.000000	0.000000
X21	34349.000000	0.000000
X22	4769.000000	0.000000
X23	19886.000000	0.000000
X24	0.000000	681.000000
X25	0.000000	666.000000
X26	0.000000	289.000000
X27	0.000000	530.000000
X28	592.000000	0.000000
X29	0.000000	773.000000
X210	3145.000000	0.000000
X211	0.000000	671.000000
X212	0.000000	671.000000
X213	0.000000	773.000000
X214	0.000000	671.000000
X215	0.000000	311.000000
X216	0.000000	0.000000
X217	0.000000	0.000000
X218	6348.000000	0.000000
X219	0.000000	774.000000
X220	0.000000	243.000000
X221	0.000000	0.000000
X222	4598.000000	0.000000
X223	0.000000	530.000000
X224	0.000000	0.000000
X225	0.000000	671.000000
X226	0.000000	530.000000

X227	0.000000	395.000000
X31	0.000000	233.000000
X32	25839.000000	0.000000
X33	0.000000	0.000000
X34	0.000000	972.000000
X35	0.000000	958.000000
X36	0.000000	581.000000
X37	0.000000	822.000000
X38	0.000000	1.000000
X39	0.000000	1065.000000
X310	0.000000	169.000000
X311	0.000000	963.000000
X312	0.000000	963.000000
X313	0.000000	1065.000000
X314	0.000000	963.000000
X315	0.000000	501.000000
X316	9060.000000	0.000000
X317	8018.000000	0.000000
X318	0.000000	181.000000
X319	0.000000	1065.000000
X320	0.000000	535.000000
X321	5805.000000	0.000000
X322	0.000000	110.000000
X323	0.000000	822.000000
X324	3423.000000	0.000000
X325	0.000000	962.000000
X326	0.000000	822.000000
X327	0.000000	687.000000
X41	0.000000	46.000000
X42	0.000000	0.000000
X43	0.000000	0.000000
X44	0.000000	732.000000
X45	0.000000	718.000000
X46	0.000000	341.000000
X47	0.000000	582.000000
X48	14565.000000	0.000000
X49	0.000000	825.000000
X410	0.000000	47.000000
X411	0.000000	723.000000
X412	0.000000	722.000000
X413	0.000000	1421.000000
X414	0.000000	723.000000
X415	0.000000	288.000000
X416	0.000000	0.000000
X417	0.000000	0.000000
X418	0.000000	47.000000
X419	0.000000	825.000000
X420	0.000000	294.000000
X421	0.000000	0.000000
X422	0.000000	0.000000
X423	0.000000	582.000000
X424	0.000000	0.000000
X425	0.000000	722.000000
X426	0.000000	582.000000
X427	0.000000	447.000000
X51	0.000000	5.000000
X52	0.000000	12.000000
X53	0.000000	12.000000
X54	0.000000	227.000000
X55	0.000000	142.000000
X56	0.000000	76.000000
X57	0.000000	165.000000
X58	0.000000	13.000000

X59	0.000000	240.000000
X510	0.000000	0.000000
X511	0.000000	199.000000
X512	0.000000	305.000000
X513	0.000000	240.000000
X514	0.000000	306.000000
X515	0.000000	14.000000
X516	0.000000	12.000000
X517	0.000000	12.000000
X518	930.000000	0.000000
X519	0.000000	240.000000
X520	0.000000	7.000000
X521	0.000000	12.000000
X522	0.000000	12.000000
X523	0.000000	165.000000
X524	0.000000	12.000000
X525	0.000000	239.000000
X526	0.000000	165.000000
X527	0.000000	76.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	27811.000000	0.000000
3)	0.000000	392.000000
4)	0.000000	539.000000
5)	0.000000	406.000000
6)	0.000000	134.000000
7)	0.000000	-540.000000
8)	0.000000	-826.000000
9)	0.000000	-1150.000000
10)	0.000000	-168.000000
11)	0.000000	-471.000000
12)	0.000000	-409.000000
13)	0.000000	-345.000000
14)	0.000000	-872.000000
15)	0.000000	-767.000000
16)	0.000000	-831.000000
17)	0.000000	-1854.000000
18)	0.000000	-714.000000
19)	0.000000	-441.000000
20)	0.000000	-1210.000000
21)	0.000000	-541.000000
22)	0.000000	-1083.000000
23)	0.000000	-1486.000000
24)	0.000000	-606.000000
25)	0.000000	-370.000000
26)	0.000000	-387.000000
27)	0.000000	-1720.000000
28)	0.000000	-603.000000
29)	0.000000	-495.000000
30)	0.000000	-1368.000000
31)	0.000000	-2944.000000
32)	0.000000	-567.000000
33)	0.000000	-312.000000

NO. ITERATIONS= 53

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X11	545.000000	INFINITY	5.000000
X12	838.000000	INFINITY	12.000000
X13	1162.000000	INFINITY	12.000000
X14	168.000000	227.000000	INFINITY
X15	471.000000	142.000000	INFINITY
X16	409.000000	76.000000	INFINITY
X17	345.000000	165.000000	INFINITY
X18	885.000000	INFINITY	13.000000
X19	767.000000	240.000000	INFINITY
X110	831.000000	0.000000	7.000000
X111	1854.000000	199.000000	INFINITY
X112	714.000000	305.000000	INFINITY
X113	441.000000	240.000000	INFINITY
X114	1210.000000	306.000000	INFINITY
X115	541.000000	14.000000	INFINITY
X116	1095.000000	INFINITY	12.000000
X117	1498.000000	INFINITY	12.000000
X118	606.000000	INFINITY	0.000000
X119	370.000000	240.000000	INFINITY
X120	387.000000	7.000000	INFINITY
X121	1732.000000	INFINITY	12.000000
X122	615.000000	INFINITY	12.000000
X123	495.000000	165.000000	INFINITY
X124	1380.000000	INFINITY	12.000000
X125	2944.000000	239.000000	INFINITY
X126	567.000000	165.000000	INFINITY
X127	312.000000	76.000000	INFINITY
X21	148.000000	5.000000	INFINITY
X22	434.000000	0.000000	0.000000
X23	758.000000	0.000000	INFINITY
X24	457.000000	INFINITY	681.000000
X25	745.000000	INFINITY	666.000000
X26	306.000000	INFINITY	289.000000
X27	483.000000	INFINITY	530.000000
X28	480.000000	1.000000	0.000000
X29	1148.000000	INFINITY	773.000000
X210	439.000000	0.000000	0.000000
X211	2133.000000	INFINITY	671.000000
X212	993.000000	INFINITY	671.000000
X213	822.000000	INFINITY	773.000000
X214	1489.000000	INFINITY	671.000000
X215	460.000000	INFINITY	311.000000
X216	691.000000	INFINITY	0.000000
X217	1094.000000	INFINITY	0.000000
X218	214.000000	0.000000	0.000000
X219	752.000000	INFINITY	774.000000
X220	238.000000	INFINITY	243.000000
X221	1328.000000	INFINITY	0.000000
X222	211.000000	0.000000	INFINITY
X223	633.000000	INFINITY	530.000000
X224	976.000000	INFINITY	0.000000
X225	3223.000000	INFINITY	671.000000
X226	705.000000	INFINITY	530.000000
X227	315.000000	INFINITY	395.000000
X31	234.000000	INFINITY	233.000000
X32	287.000000	0.000000	0.000000
X33	611.000000	INFINITY	0.000000

X34	601.000000	INFINITY	972.000000
X35	890.000000	INFINITY	958.000000
X36	451.000000	INFINITY	581.000000
X37	628.000000	INFINITY	822.000000
X38	334.000000	INFINITY	1.000000
X39	1293.000000	INFINITY	1065.000000
X310	461.000000	INFINITY	169.000000
X311	2278.000000	INFINITY	963.000000
X312	1138.000000	INFINITY	963.000000
X313	967.000000	INFINITY	1065.000000
X314	1634.000000	INFINITY	963.000000
X315	503.000000	INFINITY	501.000000
X316	544.000000	0.000000	INFINITY
X317	947.000000	0.000000	INFINITY
X318	248.000000	INFINITY	181.000000
X319	896.000000	INFINITY	1065.000000
X320	383.000000	INFINITY	535.000000
X321	1181.000000	0.000000	INFINITY
X322	174.000000	INFINITY	110.000000
X323	778.000000	INFINITY	822.000000
X324	829.000000	0.000000	INFINITY
X325	3367.000000	INFINITY	962.000000
X326	850.000000	INFINITY	822.000000
X327	460.000000	INFINITY	687.000000
X41	180.000000	INFINITY	46.000000
X42	420.000000	INFINITY	0.000000
X43	744.000000	INFINITY	0.000000
X44	494.000000	INFINITY	732.000000
X45	783.000000	INFINITY	718.000000
X46	344.000000	INFINITY	341.000000
X47	521.000000	INFINITY	582.000000
X48	466.000000	0.000000	INFINITY
X49	1186.000000	INFINITY	825.000000
X410	472.000000	INFINITY	47.000000
X411	2171.000000	INFINITY	723.000000
X412	1030.000000	INFINITY	722.000000
X413	1456.000000	INFINITY	1421.000000
X414	1527.000000	INFINITY	723.000000
X415	423.000000	INFINITY	288.000000
X416	677.000000	INFINITY	0.000000
X417	1080.000000	INFINITY	0.000000
X418	247.000000	INFINITY	47.000000
X419	789.000000	INFINITY	825.000000
X420	275.000000	INFINITY	294.000000
X421	1314.000000	INFINITY	0.000000
X422	197.000000	INFINITY	0.000000
X423	671.000000	INFINITY	582.000000
X424	962.000000	INFINITY	0.000000
X425	3260.000000	INFINITY	722.000000
X426	743.000000	INFINITY	582.000000
X427	353.000000	INFINITY	447.000000
X51	411.000000	INFINITY	5.000000
X52	704.000000	INFINITY	12.000000
X53	1028.000000	INFINITY	12.000000
X54	261.000000	INFINITY	227.000000
X55	479.000000	INFINITY	142.000000
X56	351.000000	INFINITY	76.000000
X57	376.000000	INFINITY	165.000000
X58	751.000000	INFINITY	13.000000
X59	873.000000	INFINITY	240.000000
X510	697.000000	INFINITY	0.000000
X511	1919.000000	INFINITY	199.000000
X512	885.000000	INFINITY	305.000000

X513	547.000000	INFINITY	240.000000
X514	1382.000000	INFINITY	306.000000
X515	421.000000	INFINITY	14.000000
X516	961.000000	INFINITY	12.000000
X517	1364.000000	INFINITY	12.000000
X518	472.000000	0.000000	INFINITY
X519	476.000000	INFINITY	240.000000
X520	260.000000	INFINITY	7.000000
X521	1598.000000	INFINITY	12.000000
X522	481.000000	INFINITY	12.000000
X523	526.000000	INFINITY	165.000000
X524	1246.000000	INFINITY	12.000000
X525	3049.000000	INFINITY	239.000000
X526	598.000000	INFINITY	165.000000
X527	254.000000	INFINITY	76.000000

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	189905.000000	INFINITY	27811.000000
3	73687.000000	10510.000000	3145.000000
4	52145.000000	4769.000000	3145.000000
5	14565.000000	592.000000	3145.000000
6	930.000000	6348.000000	930.000000
7	34349.000000	3145.000000	10510.000000
8	30608.000000	3145.000000	4769.000000
9	19886.000000	3145.000000	10510.000000
10	2530.000000	27811.000000	2530.000000
11	19205.000000	27811.000000	19205.000000
12	17550.000000	27811.000000	17550.000000
13	17214.000000	27811.000000	17214.000000
14	15157.000000	3145.000000	592.000000
15	14108.000000	27811.000000	14108.000000
16	13655.000000	27811.000000	10510.000000
17	13145.000000	27811.000000	13145.000000
18	11373.000000	27811.000000	11373.000000
19	11223.000000	27811.000000	11223.000000
20	11082.000000	27811.000000	11082.000000
21	9150.000000	27811.000000	9150.000000
22	9060.000000	3145.000000	4769.000000
23	8018.000000	3145.000000	4769.000000
24	7278.000000	3145.000000	6348.000000
25	6708.000000	27811.000000	6708.000000
26	6486.000000	27811.000000	6486.000000
27	5805.000000	3145.000000	4769.000000
28	4598.000000	3145.000000	4598.000000
29	4549.000000	27811.000000	4549.000000
30	3423.000000	3145.000000	3423.000000
31	2809.000000	27811.000000	2809.000000
32	2718.000000	27811.000000	2718.000000
33	1734.000000	27811.000000	1734.000000

Anexo 4. Solución óptima de mercado abierto.

TITLE- DISTRIBUCION MERCADO ABIERTO
LP OPTIMUM FOUND AT STEP 49

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.1963028E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	0.000000	5.000000
X12	0.000000	12.000000
X13	0.000000	12.000000
X14	2530.000000	0.000000
X15	19205.000000	0.000000
X16	17550.000000	0.000000
X17	17214.000000	0.000000
X18	0.000000	13.000000
X19	14108.000000	0.000000
X110	10510.000000	0.000000
X111	13145.000000	0.000000
X112	11373.000000	0.000000
X113	11223.000000	0.000000
X114	11082.000000	0.000000
X115	9150.000000	0.000000
X116	0.000000	12.000000
X117	0.000000	12.000000
X118	0.000000	0.000000
X119	6708.000000	0.000000
X120	6486.000000	0.000000
X121	0.000000	12.000000
X122	0.000000	12.000000
X123	4549.000000	0.000000
X124	0.000000	12.000000
X125	2809.000000	0.000000
X126	2718.000000	0.000000
X127	1734.000000	0.000000
X128	0.000000	1091.000000
X129	0.000000	782.000000
X130	0.000000	394.000000
X131	27811.000000	0.000000
X21	34349.000000	0.000000
X22	0.000000	0.000000
X23	0.000000	0.000000
X24	0.000000	681.000000
X25	0.000000	666.000000
X26	0.000000	289.000000
X27	0.000000	530.000000
X28	15157.000000	0.000000
X29	0.000000	773.000000
X210	3145.000000	0.000000
X211	0.000000	671.000000
X212	0.000000	671.000000
X213	0.000000	773.000000
X214	0.000000	671.000000
X215	0.000000	311.000000
X216	2513.000000	0.000000
X217	0.000000	0.000000
X218	6348.000000	0.000000
X219	0.000000	774.000000
X220	0.000000	243.000000
X221	5805.000000	0.000000
X222	4598.000000	0.000000

X223	0.000000	530.000000
X224	1772.000000	0.000000
X225	0.000000	671.000000
X226	0.000000	530.000000
X227	0.000000	395.000000
X228	0.000000	1762.000000
X229	0.000000	1453.000000
X230	0.000000	1167.000000
X231	0.000000	666.000000
X31	0.000000	233.000000
X32	30608.000000	0.000000
X33	19886.000000	0.000000
X34	0.000000	972.000000
X35	0.000000	958.000000
X36	0.000000	581.000000
X37	0.000000	822.000000
X38	0.000000	1.000000
X39	0.000000	1065.000000
X310	0.000000	169.000000
X311	0.000000	963.000000
X312	0.000000	963.000000
X313	0.000000	1065.000000
X314	0.000000	963.000000
X315	0.000000	501.000000
X316	0.000000	0.000000
X317	0.000000	0.000000
X318	0.000000	181.000000
X319	0.000000	1065.000000
X320	0.000000	535.000000
X321	0.000000	0.000000
X322	0.000000	110.000000
X323	0.000000	822.000000
X324	1651.000000	0.000000
X325	0.000000	962.000000
X326	0.000000	822.000000
X327	0.000000	687.000000
X328	0.000000	2054.000000
X329	0.000000	1745.000000
X330	0.000000	1458.000000
X331	0.000000	958.000000
X41	0.000000	46.000000
X42	0.000000	0.000000
X43	0.000000	0.000000
X44	0.000000	732.000000
X45	0.000000	718.000000
X46	0.000000	341.000000
X47	0.000000	582.000000
X48	0.000000	0.000000
X49	0.000000	825.000000
X410	0.000000	47.000000
X411	0.000000	723.000000
X412	0.000000	722.000000
X413	0.000000	1421.000000
X414	0.000000	723.000000
X415	0.000000	288.000000
X416	6547.000000	0.000000
X417	8018.000000	0.000000
X418	0.000000	47.000000
X419	0.000000	825.000000
X420	0.000000	294.000000
X421	0.000000	0.000000
X422	0.000000	0.000000
X423	0.000000	582.000000

X424	0.000000	0.000000
X425	0.000000	722.000000
X426	0.000000	582.000000
X427	0.000000	447.000000
X428	0.000000	1814.000000
X429	0.000000	1504.000000
X430	0.000000	1218.000000
X431	0.000000	718.000000
X51	0.000000	5.000000
X52	0.000000	12.000000
X53	0.000000	12.000000
X54	0.000000	227.000000
X55	0.000000	142.000000
X56	0.000000	76.000000
X57	0.000000	165.000000
X58	0.000000	13.000000
X59	0.000000	240.000000
X510	0.000000	0.000000
X511	0.000000	199.000000
X512	0.000000	305.000000
X513	0.000000	240.000000
X514	0.000000	306.000000
X515	0.000000	14.000000
X516	0.000000	12.000000
X517	0.000000	12.000000
X518	930.000000	0.000000
X519	0.000000	240.000000
X520	0.000000	7.000000
X521	0.000000	12.000000
X522	0.000000	12.000000
X523	0.000000	165.000000
X524	0.000000	12.000000
X525	0.000000	239.000000
X526	0.000000	165.000000
X527	0.000000	76.000000
X528	0.000000	1290.000000
X529	0.000000	1088.000000
X530	0.000000	633.000000
X531	0.000000	142.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	392.000000
4)	0.000000	539.000000
5)	0.000000	406.000000
6)	0.000000	134.000000
7)	0.000000	-540.000000
8)	0.000000	-826.000000
9)	0.000000	-1150.000000
10)	0.000000	-168.000000
11)	0.000000	-471.000000
12)	0.000000	-409.000000
13)	0.000000	-345.000000
14)	0.000000	-872.000000
15)	0.000000	-767.000000
16)	0.000000	-831.000000
17)	0.000000	-1854.000000
18)	0.000000	-714.000000
19)	0.000000	-441.000000
20)	0.000000	-1210.000000
21)	0.000000	-541.000000
22)	0.000000	-1083.000000

23)	0.000000	-1486.000000
24)	0.000000	-606.000000
25)	0.000000	-370.000000
26)	0.000000	-387.000000
27)	0.000000	-1720.000000
28)	0.000000	-603.000000
29)	0.000000	-495.000000
30)	0.000000	-1368.000000
31)	0.000000	-2944.000000
32)	0.000000	-567.000000
33)	0.000000	-312.000000
34)	0.000000	-636.000000

NO. ITERATIONS= 49

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
X11	545.000000	INFINITY	5.000000
X12	838.000000	INFINITY	12.000000
X13	1162.000000	INFINITY	12.000000
X14	168.000000	227.000000	INFINITY
X15	471.000000	142.000000	INFINITY
X16	409.000000	76.000000	INFINITY
X17	345.000000	165.000000	INFINITY
X18	885.000000	INFINITY	13.000000
X19	767.000000	240.000000	INFINITY
X110	831.000000	0.000000	7.000000
X111	1854.000000	199.000000	INFINITY
X112	714.000000	305.000000	INFINITY
X113	441.000000	240.000000	INFINITY
X114	1210.000000	306.000000	INFINITY
X115	541.000000	14.000000	INFINITY
X116	1095.000000	INFINITY	12.000000
X117	1498.000000	INFINITY	12.000000
X118	606.000000	INFINITY	0.000000
X119	370.000000	240.000000	INFINITY
X120	387.000000	7.000000	INFINITY
X121	1732.000000	INFINITY	12.000000
X122	615.000000	INFINITY	12.000000
X123	495.000000	165.000000	INFINITY
X124	1380.000000	INFINITY	12.000000
X125	2944.000000	239.000000	INFINITY
X126	567.000000	165.000000	INFINITY
X127	312.000000	76.000000	INFINITY
X128	1727.000000	INFINITY	1091.000000
X129	1418.000000	INFINITY	782.000000
X130	1030.000000	INFINITY	394.000000
X131	636.000000	142.000000	INFINITY
X21	148.000000	5.000000	INFINITY
X22	434.000000	INFINITY	0.000000
X23	758.000000	INFINITY	0.000000
X24	457.000000	INFINITY	681.000000
X25	745.000000	INFINITY	666.000000
X26	306.000000	INFINITY	289.000000
X27	483.000000	INFINITY	530.000000
X28	480.000000	0.000000	INFINITY
X29	1148.000000	INFINITY	773.000000
X210	439.000000	0.000000	0.000000
X211	2133.000000	INFINITY	671.000000

X212	993.000000	INFINITY	671.000000
X213	822.000000	INFINITY	773.000000
X214	1489.000000	INFINITY	671.000000
X215	460.000000	INFINITY	311.000000
X216	691.000000	0.000000	0.000000
X217	1094.000000	INFINITY	0.000000
X218	214.000000	0.000000	0.000000
X219	752.000000	INFINITY	774.000000
X220	238.000000	INFINITY	243.000000
X221	1328.000000	0.000000	INFINITY
X222	211.000000	0.000000	INFINITY
X223	633.000000	INFINITY	530.000000
X224	976.000000	0.000000	0.000000
X225	3223.000000	INFINITY	671.000000
X226	705.000000	INFINITY	530.000000
X227	315.000000	INFINITY	395.000000
X228	2006.000000	INFINITY	1762.000000
X229	1697.000000	INFINITY	1453.000000
X230	1411.000000	INFINITY	1167.000000
X231	910.000000	INFINITY	666.000000
X31	234.000000	INFINITY	233.000000
X32	287.000000	0.000000	INFINITY
X33	611.000000	0.000000	INFINITY
X34	601.000000	INFINITY	972.000000
X35	890.000000	INFINITY	958.000000
X36	451.000000	INFINITY	581.000000
X37	628.000000	INFINITY	822.000000
X38	334.000000	INFINITY	1.000000
X39	1293.000000	INFINITY	1065.000000
X310	461.000000	INFINITY	169.000000
X311	2278.000000	INFINITY	963.000000
X312	1138.000000	INFINITY	963.000000
X313	967.000000	INFINITY	1065.000000
X314	1634.000000	INFINITY	963.000000
X315	503.000000	INFINITY	501.000000
X316	544.000000	INFINITY	0.000000
X317	947.000000	INFINITY	0.000000
X318	248.000000	INFINITY	181.000000
X319	896.000000	INFINITY	1065.000000
X320	383.000000	INFINITY	535.000000
X321	1181.000000	INFINITY	0.000000
X322	174.000000	INFINITY	110.000000
X323	778.000000	INFINITY	822.000000
X324	829.000000	0.000000	0.000000
X325	3367.000000	INFINITY	962.000000
X326	850.000000	INFINITY	822.000000
X327	460.000000	INFINITY	687.000000
X328	2151.000000	INFINITY	2054.000000
X329	1842.000000	INFINITY	1745.000000
X330	1555.000000	INFINITY	1458.000000
X331	1055.000000	INFINITY	958.000000
X41	180.000000	INFINITY	46.000000
X42	420.000000	INFINITY	0.000000
X43	744.000000	INFINITY	0.000000
X44	494.000000	INFINITY	732.000000
X45	783.000000	INFINITY	718.000000
X46	344.000000	INFINITY	341.000000
X47	521.000000	INFINITY	582.000000
X48	466.000000	INFINITY	0.000000
X49	1186.000000	INFINITY	825.000000
X410	472.000000	INFINITY	47.000000
X411	2171.000000	INFINITY	723.000000
X412	1030.000000	INFINITY	722.000000

X413	1456.000000	INFINITY	1421.000000
X414	1527.000000	INFINITY	723.000000
X415	423.000000	INFINITY	288.000000
X416	677.000000	0.000000	0.000000
X417	1080.000000	0.000000	INFINITY
X418	247.000000	INFINITY	47.000000
X419	789.000000	INFINITY	825.000000
X420	275.000000	INFINITY	294.000000
X421	1314.000000	INFINITY	0.000000
X422	197.000000	INFINITY	0.000000
X423	671.000000	INFINITY	582.000000
X424	962.000000	INFINITY	0.000000
X425	3260.000000	INFINITY	722.000000
X426	743.000000	INFINITY	582.000000
X427	353.000000	INFINITY	447.000000
X428	2044.000000	INFINITY	1814.000000
X429	1734.000000	INFINITY	1504.000000
X430	1448.000000	INFINITY	1218.000000
X431	948.000000	INFINITY	718.000000
X51	411.000000	INFINITY	5.000000
X52	704.000000	INFINITY	12.000000
X53	1028.000000	INFINITY	12.000000
X54	261.000000	INFINITY	227.000000
X55	479.000000	INFINITY	142.000000
X56	351.000000	INFINITY	76.000000
X57	376.000000	INFINITY	165.000000
X58	751.000000	INFINITY	13.000000
X59	873.000000	INFINITY	240.000000
X510	697.000000	INFINITY	0.000000
X511	1919.000000	INFINITY	199.000000
X512	885.000000	INFINITY	305.000000
X513	547.000000	INFINITY	240.000000
X514	1382.000000	INFINITY	306.000000
X515	421.000000	INFINITY	14.000000
X516	961.000000	INFINITY	12.000000
X517	1364.000000	INFINITY	12.000000
X518	472.000000	0.000000	INFINITY
X519	476.000000	INFINITY	240.000000
X520	260.000000	INFINITY	7.000000
X521	1598.000000	INFINITY	12.000000
X522	481.000000	INFINITY	12.000000
X523	526.000000	INFINITY	165.000000
X524	1246.000000	INFINITY	12.000000
X525	3049.000000	INFINITY	239.000000
X526	598.000000	INFINITY	165.000000
X527	254.000000	INFINITY	76.000000
X528	1792.000000	INFINITY	1290.000000
X529	1590.000000	INFINITY	1088.000000
X530	1135.000000	INFINITY	633.000000
X531	644.000000	INFINITY	142.000000

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	189905.000000	0.000000	0.000000
3	73687.000000	0.000000	0.000000
4	52145.000000	0.000000	0.000000
5	14565.000000	0.000000	0.000000
6	930.000000	0.000000	0.000000
7	34349.000000	0.000000	0.000000
8	30608.000000	0.000000	0.000000
9	19886.000000	0.000000	0.000000
10	2530.000000	0.000000	0.000000

11	19205.000000	0.000000	0.000000
12	17550.000000	0.000000	0.000000
13	17214.000000	0.000000	0.000000
14	15157.000000	0.000000	0.000000
15	14108.000000	0.000000	0.000000
16	13655.000000	0.000000	0.000000
17	13145.000000	0.000000	0.000000
18	11373.000000	0.000000	0.000000
19	11223.000000	0.000000	0.000000
20	11082.000000	0.000000	0.000000
21	9150.000000	0.000000	0.000000
22	9060.000000	0.000000	0.000000
23	8018.000000	0.000000	0.000000
24	7278.000000	0.000000	0.000000
25	6708.000000	0.000000	0.000000
26	6486.000000	0.000000	0.000000
27	5805.000000	0.000000	0.000000
28	4598.000000	0.000000	0.000000
29	4549.000000	0.000000	0.000000
30	3423.000000	0.000000	0.000000
31	2809.000000	0.000000	0.000000
32	2718.000000	0.000000	0.000000
33	1734.000000	0.000000	0.000000
34	27811.000000	0.000000	0.000000