



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS

**PROCEDIMIENTO PARA ELABORACIÓN DE UN MODELO
DE DISTRIBUCIÓN DE AGUACATE EN MÉXICO**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y
DE LOS RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

MIRNA BENÍTEZ ESPINOSA

DICIEMBRE DE 2012

Chapingo, Estado de México



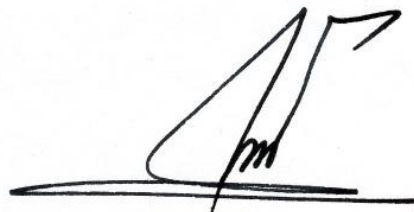
**DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

**“PROCEDIMIENTO PARA ELABORACIÓN DE UN MODELO DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUACATE EN MÉXICO”**

Tesis realizada por la ING. MIRNA BENÍTEZ ESPINOSA bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS
NATURALES**

Director: _____



DR. MARCOS PORTILLO VÁZQUEZ

Asesor: _____



DR. JOSE MIGUEL OMAÑA SILVESTRE

Asesor: _____



M.C. OCTAVIO TOXQUI TLACHINO

Chapingo, Estado de México, Diciembre de 2012

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para llevar a cabo mis estudios de Maestría.

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de Ciencias Económico-Administrativas, por darme la oportunidad de realizar y concluir una carrera profesional, al igual que a todos los profesores y personal administrativo que de alguna manera contribuyeron a mi formación.

A la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria (DGETa) y a la Coordinación Sectorial de Desarrollo Académico (COSDAC) por otorgarme el apoyo económico e incentivarme a realizar estudios de posgrado.

Al Dr. Marcos Portillo Vázquez, por su apoyo incondicional, por su valioso tiempo, observaciones y aportaciones dedicadas a la realización de la presente tesis.

Al Dr. José Miguel Omaña Silvestre, por todas las facilidades otorgadas para la culminación del presente trabajo de investigación.

Al M.C. Octavio Toxqui Tlachino, por sus aportaciones, asesoría, tiempo y empeño dedicado a la revisión de este trabajo.

DEDICATORIA

A mis seres queridos

DATOS BIOGRÁFICOS

Mirna Benítez Espinosa nació en la ciudad de Tapachula, Chiapas el 23 de marzo de 1985.

Cursó sus estudios de bachillerato en la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo en el periodo de 1999-2002. De 2002-2006 estudió la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Economía Agrícola en la División de Ciencias Económico-Administrativas de la misma Universidad.

A partir de 2007 se desempeña como docente de tiempo completo en la Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria. SEMS. SEP

De 2010-2012 realizó estudios de posgrado en el programa de Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales DICEA-UACH.

“PROCEDIMIENTO PARA ELABORACIÓN DE UN MODELO DE DISTRIBUCIÓN DE AGUACATE EN MÉXICO”

"PROCEDURE FOR DEVELOPING AN AVOCADO DISTRIBUTION MODEL IN MEXICO"

Benítez Espinosa, M.¹⁾, Portillo Vázquez, M.²⁾

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación es generar un modelo de distribución óptima de aguacate mediante un procedimiento ágil para su aplicación oportuna que permita minimizar costos de transporte entre centros de producción y consumo en México.

La metodología utilizada fue la de Programación lineal por medio del paquete LINDO (Linear Interactive and Discrete Optimizer), estructurando un modelo de economía cerrada y abierta, usando información de producción, consumo y costos de transporte del año 2011.

Los resultados muestran rutas óptimas de distribución, estableciendo 3 entidades federativas oferentes y 29 demandantes. Sin embargo, existe excedente de producto bajo el modelo cerrado después de satisfacerse la demanda interna del país, por lo que se plantea un modelo abierto con 3 puntos fronterizos y se recomienda que el total de dicho excedente salga por el puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán, obteniendo una distribución óptima (de costo de transporte mínimo) de la producción de aguacate.

PALABRAS CLAVE: aguacate, costos, transporte, programación

1) Tesista 2) Director de tesis

ABSTRACT

The objective of this research is to generate an optimal distribution avocado model by means of a flexible procedure for an appropriate implementation that can minimize transportation costs between production and consumption centers in Mexico.

The research used the linear programming package LINDO (Linear Interactive and Discrete Optimizer), structuring a model of closed and open economy, using data on production, consumption and transport costs in 2011.

Results show optimal distribution routes, establishing 3 states beginning and 29 destinations. However, there is surplus product under the closed model after satisfying the country's domestic demand, so it raises an open model with three border points and it is recommended that the total of such excess out through the port of Lázaro Cardenas, Michoacan, can obtain an optimal distribution (minimum transport cost) of avocado production.

KEYWORDS: avocado, costs, transportation, scheduling

ÍNDICE

Lista de cuadros.....	3
Lista de figuras.....	4
Lista de anexos	4
INTRODUCCIÓN	5
Planteamiento del problema	6
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
Hipótesis	8
CAPÍTULO I. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL AGUACATE	9
1.1 Panorama internacional	9
1.1.1 Superficie cosechada.....	10
1.1.2 Producción mundial	11
1.1.3 Rendimientos	12
1.1.4 Comercio internacional	13
1.1.4.1 Exportaciones	13
1.1.4.2 Importaciones	14
1.1.5 Precios internacionales	15
1.1.5.1 Precios de exportación	15
1.1.5.2 Precios de importación	16
1.1.6 Consumo mundial	17
1.2 Panorama nacional	19
1.2.1 Superficie sembrada y cosechada.....	19
1.2.2 Producción nacional.....	21
1.2.3 Rendimientos	22
1.2.4 Precios nacionales	23
1.2.5 Comercio.....	24
1.2.5.1 Exportaciones	24
1.2.5.2 Importaciones	26
1.2.6 Consumo nacional	27

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	29
2.1 Introducción a la programación lineal	29
2.2 Formulación general de los problemas lineales	30
2.3 Dualidad.....	31
2.4 Modelos lineales de distribución	31
2.5 Formulación de costo de transporte mínimo	31
2.6 Formulación del modelo.....	32
2.7 La oferta es diferente de la demanda	34
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	36
3.1 Formulación del modelo cerrado de distribución óptima de aguacate	36
3.2 Formulación del modelo abierto de distribución óptima de aguacate	50
CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
5.1 Modelo de economía cerrada	59
5.1.2 Interpretación de los resultados de LINDO	64
5.2 Modelo de economía abierta.....	66
5.2.2 Interpretación de los resultados de LINDO	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	72
BIBLIOGRAFÍA	73
ANEXOS	75

Lista de cuadros

Cuadro 1. Consumo Nacional Aparente de Aguacate en miles de toneladas (2000-2010).....	18
Cuadro 2. Principales estados con superficie sembrada de aguacate en hectáreas (2002-2011).....	20
Cuadro 3. Principales estados con superficie cosechada de aguacate en hectáreas (2002-2011).....	21
Cuadro 4. Principales estados productores de aguacate en toneladas (2002-2011)....	22
Cuadro 5. Destino de las exportaciones de aguacate de México en toneladas (2006-2011).....	25
Cuadro 6. Valor comercial de las exportaciones de aguacate de México por país de destino en dólares por tonelada (2006-2011).....	26
Cuadro 7. Origen de las importaciones de aguacate en México en toneladas (2006-2011).....	26
Cuadro 8. Valor comercial de las importaciones de aguacate en México por país de origen en dólares por tonelada (2006-2011).....	27
Cuadro 9. Consumo nacional aparente de aguacate (toneladas)	27
Cuadro 10. Consumo per cápita de aguacate en México.....	28
Cuadro 11. Estados oferentes/demandantes de aguacate en México, 2011	39
Cuadro 12. Principales destinos de exportación del aguacate en México, 2011.....	51
Cuadro 13. Costos de transporte entre orígenes y puntos frontera, 2011.....	53
Cuadro 14. Salida de LINDO, solución del modelo de transporte en economía cerrada	59
Cuadro 15. Salida de LINDO, análisis de sensibilidad del modelo de transporte en economía cerrada	62
Cuadro 16. Distribución óptima de aguacate en México bajo el modelo de economía cerrada, 2011	64
Cuadro 17. Salida de LINDO, solución del modelo de transporte en economía abierta	66
Cuadro 18. Distribución óptima de aguacate en México bajo el modelo de economía abierta, 2011.....	67

Lista de figuras

Figura 1. Superficie cosechada de aguacate por país (2010)	10
Figura 2. Principales países productores de aguacate (2010)	11
Figura 3. Rendimientos de aguacate por principales países productores (2000-2010)	12
Figura 4. Principales países exportadores de aguacate (2010)	14
Figura 5. Principales países importadores de aguacate (2010)	15
Figura 6. Precios de los principales países exportadores de aguacate (2000-2010)	16
Figura 7. Precios de los principales importadores de aguacate en dólares por tonelada (2000-2010).....	17
Figura 8. Superficie sembrada y cosechada de aguacate en México (2002-2011).....	20
Figura 9. Rendimiento Nacional de aguacate (2002-2011)	23
Figura 10. Precios nacionales de aguacate (2002-2011).....	24

Lista de anexos

Anexo 1. Cálculo de la demanda de aguacate en México. Obtención de estados oferentes y demandantes. 2011	75
Anexo 2. Obtención de costos de transporte. 2011.....	76
Anexo 3. Salida de LINDO. Modelo de economía cerrada.....	78
Anexo 4. Salida de LINDO. Modelo de economía abierta.....	87

INTRODUCCIÓN

Existen varios aspectos importantes dentro de la comercialización de productos agropecuarios, uno de ellos tiene que ver con el proceso de llevar los productos desde los productores hasta los consumidores y entre sus etapas fundamentales se encuentra el transporte.

Los precios agrícolas dependen en gran medida de los costos de transporte que están implicados en la movilización del producto; por ejemplo, si las áreas de producción son de fácil acceso y poseen cosechas abundantes, se requerirán bajos costos de transporte, en cambio, si las áreas de producción son lejanas y su infraestructura carretera es precaria, se verá reflejado en un alto costo de transporte y, por ende, en un elevado precio del producto al consumidor final.

Los modelos lineales de distribución ofrecen alternativas de solución al problema del transporte, permitiéndonos determinar las rutas óptimas al menor costo para llevar la cantidad producida de un producto desde las regiones productoras hacia las regiones consumidoras. Estos modelos son de utilidad cuando se quiere determinar la forma en que se realiza el abasto de producto en una zona consumidora, o bien cuando se quiere determinar la forma en que se realiza la distribución de la producción.

La técnica de la Programación lineal se aplica en este trabajo al aguacate hass producido en México, formulando modelos de costo mínimo de transporte bajo una economía de mercado cerrado y abierto, éste último debido a que la oferta interna de dicha fruta es superavitaria; finalmente, el objetivo es el de obtener la distribución óptima de la totalidad de la producción.

Planteamiento del problema

La falta de información y el desconocimiento de los mercados (oferta y demanda de aguacate) por parte de los productores e incluso de las dependencias gubernamentales correspondientes, ocasiona que la producción sea el resultado de decisiones individuales y no planeadas en donde las cantidades de producto difieren de los volúmenes demandados por los consumidores. Se generan por lo tanto, excedentes o déficits que constituyen un problema de mercado que tiene que atenderse.

El problema de la falta de información se presenta también en la etapa de la distribución, desconociéndose hacia o desde dónde es más conveniente enviar el producto y cuáles son las rutas donde se obtienen los costos mínimos de transporte. Aunado a esto, existe también un problema que tiene que ver con la elevada concentración de la producción aguacatera en el estado de Michoacán, pues la mayor parte de la producción distribuida en el país sale de aquí, representando desventajas para los estados más lejanos a la región productora y ocasionándoles altos costos de transporte y elevados precios del producto al consumidor final.

Cabe mencionar que México tiene el primer lugar a nivel mundial en la exportación del también llamado “oro verde” y aunque la exportación resulte atractiva a los productores, lo primordial será fortalecer el mercado local, una manera de hacerlo es identificando las rutas óptimas de distribución de la fruta, minimizando los costos de transporte y logrando mayores utilidades para los productores y mejores precios a los consumidores.

Objetivo general

Generar un modelo de transporte mediante la técnica de programación lineal, que permita minimizar costos de transporte entre los centros productores y consumidores de aguacate en México.

Objetivos específicos

- Identificar las áreas productoras y los volúmenes de producto generado.
- Definir las áreas consumidoras y los volúmenes demandados de este producto.
- Calcular la magnitud del déficit o superávit que se da en cada centro productor para obtener las cantidades a transportar.
- Obtener los costos de transporte de aguacate, de cada uno de los orígenes a cada uno de los destinos.
- Determinar las rutas óptimas para minimizar el costo de distribución de aguacate en México.
- Identificar los centros de producción mejor ubicados con respecto a los centros consumidores y los volúmenes programados para producir en años posteriores.

Hipótesis

- La distribución actual del aguacate incurre en altos costos de transporte debido a que sus rutas de distribución no son las óptimas.
- El presente modelo de transporte permitirá determinar las rutas óptimas para realizar la distribución de la producción de aguacate de orígenes a destinos al mínimo costo.
- Reduciendo los costos de transporte del producto, los precios al consumidor final también se reducen.

CAPÍTULO I. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL AGUACATE

1.1 Panorama internacional

El aguacate es originario de las zonas altas del centro y del este de México, así como de las partes altas de Guatemala (Sarmiento, 2002). Se utiliza principalmente en la alimentación, como complemento de todo tipo de comidas debido a su alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales. De su rica materia grasa puede extraerse aceites que una vez procesados son utilizados en la Industria Cosmética y Farmacéutica. (SE, 2012)

Hay básicamente tres grupos ecológicos o razas de aguacate: mexicana, guatemalteca y antillana. Las variedades más comercializadas internacionalmente son las de origen Guatemalteca o Mexicana, especialmente Hass, Fuerte y Nabal. La variedad Hass ha remplazado a la variedad Fuerte por ventajas de calidad, productividad y resistencia al manejo comercial.

La cosecha se realiza durante todo el año, especialmente entre diciembre y agosto, aprovechando el clima de varias zonas del país. La mayor parte de las importaciones se realizan entre julio y febrero, meses en los cuales aparentemente también disminuye la demanda, posiblemente debido a los precios más altos que se paga por los aguacates importados (SE, 2012).

1.1.1 Superficie cosechada

La superficie cosechada de aguacate para el año 2010 a nivel mundial, fue de 462, 662 hectáreas, siendo los principales países México, Chile, Colombia, Estados Unidos, Indonesia, Perú y Ruanda, que en conjunto representan el 57% de la superficie cosechada mundial de aguacate (FAO, 2012).

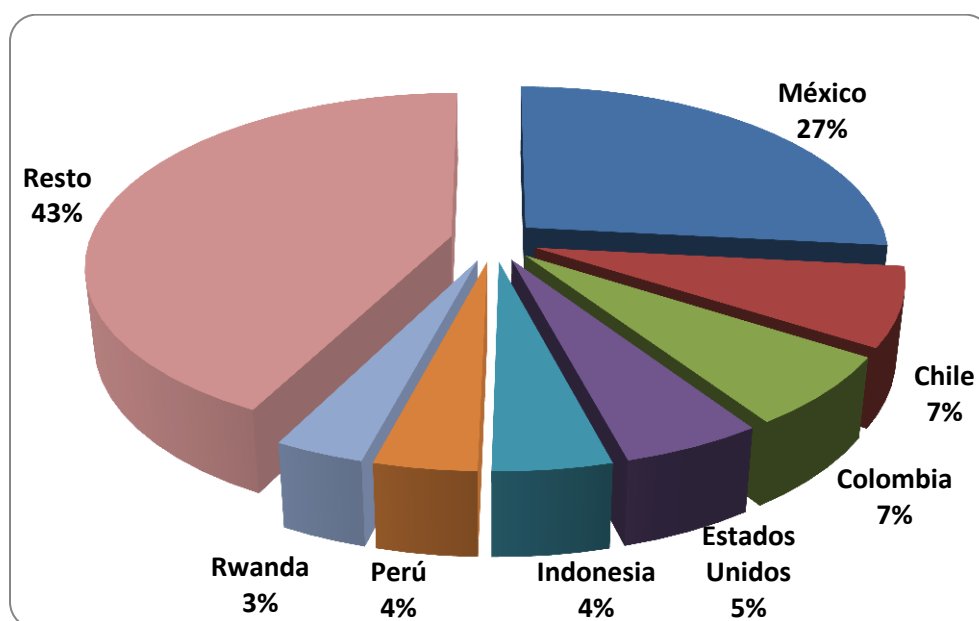


Figura 1. Superficie cosechada de aguacate por país (2010)

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2012

La superficie mundial cosechada para el año 2010, tuvo un incremento de 36% respecto a 2000 y una tasa media de crecimiento anual de 3.14%. El promedio de superficie cosechada para dicho periodo fue de 389 mil hectáreas. México ocupó en el año 2010 el primer lugar en superficie cosechada con 123, 403 hectáreas.

1.1.2 Producción mundial

En el mundo se produce aguacate en unos 60 países aproximadamente. Se cultiva principalmente en África del Oeste, Centro y Sur de América y Asia.

En la actualidad, según FAO (2012), son siete los principales países productores de aguacate en el mundo: México, Chile, República Dominicana, Indonesia, Colombia, Perú y Estados Unidos, los cuales representan 64% de la producción mundial de aguacate (Figura 2).

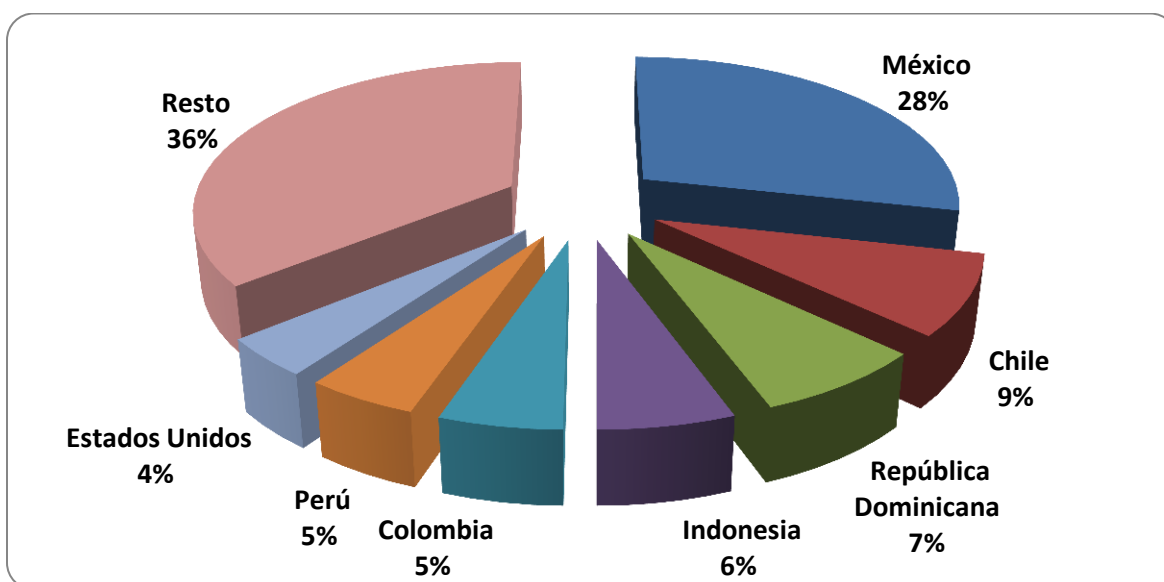


Figura 2. Principales países productores de aguacate (2010)

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2012

De acuerdo con FAO, la producción mundial de aguacate ha aumentado de 2.7 millones de toneladas en 2000 a 3.8 millones de toneladas en 2010, lo que representa una tasa media de crecimiento anual del 3.7 %. Para el mismo periodo de análisis, en

2009 se presentó la mayor producción con 3.9 millones de toneladas, mientras que en el año 2000 se tuvo la más baja con la cifra ya mencionada.

1.1.3 Rendimientos

En el mundo, según FAO, el rendimiento promedio de aguacate para el periodo 2000-2010 de los principales países productores fue de 8.6 ton/ha. Los mayores rendimientos se observaron en República Dominicana sobresaliendo los años 2002 y 2003; con 38.9 y 41.6 ton/ha, respectivamente. Para el mismo periodo, México tuvo un rendimiento promedio de 9.9 ton/ha y el dato más reciente (2010) es de 9.0 ton/ha.

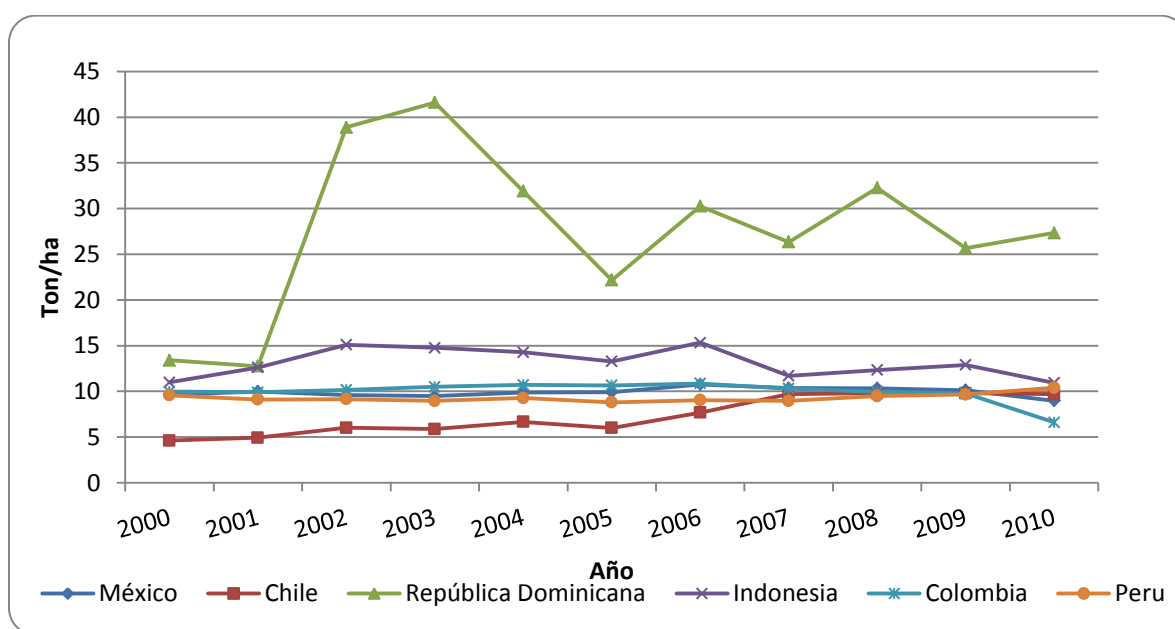


Figura 3. Rendimientos de aguacate por principales países productores (2000-2010)

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2012

1.1.4 Comercio internacional

El aguacate es una fruta con exquisito sabor y extraordinarias propiedades para el cuerpo humano, con una característica importante de prevalecer en madurez fisiológica por un tiempo prolongado en el árbol sin avanzar a su madurez de consumo. También este cultivo es significativo por la derrama económica entre productores, comercializadores, industrializadores y consumidores (Téliz, 2007).

1.1.4.1 Exportaciones

Los 5 principales países exportadores de aguacate (de mayor a menor) en el año 2010 fueron: México en primer lugar con 326,127 toneladas, Chile, Holanda, Perú y España, concentrando entre los mismos, el 75% del total exportado. Países como Indonesia, Colombia y Estados Unidos, que han ocupado un lugar importante en la producción mundial no son grandes exportadores, debido a que presentan un déficit productivo para cubrir su demanda interna.

De acuerdo con FAO (2012), para el periodo que comprende de 2000 a 2010, se exportaron en promedio 514 mil toneladas, a una tasa media de crecimiento anual de 8.20%.

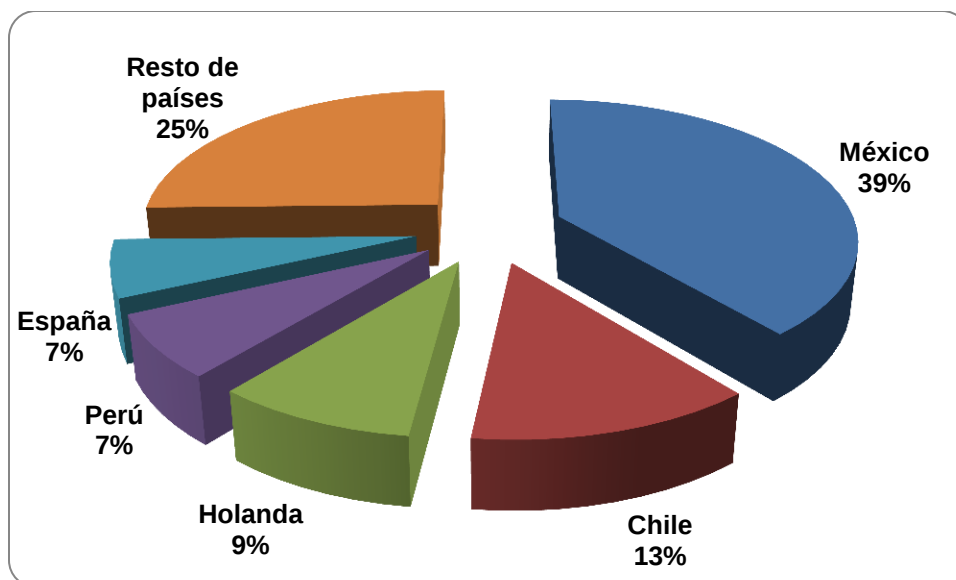


Figura 4. Principales países exportadores de aguacate (2010)

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2012

1.1.4.2 Importaciones

Los principales países importadores de aguacate son Estados Unidos, Holanda, Francia, Japón y Canadá. Según FAO, para 2010 estos países importaron el 69% del aguacate mundial en conjunto. De 2000 a 2010 las importaciones mundiales se incrementaron más del cien por ciento, lo que representa aproximadamente 373 mil toneladas de aguacate.

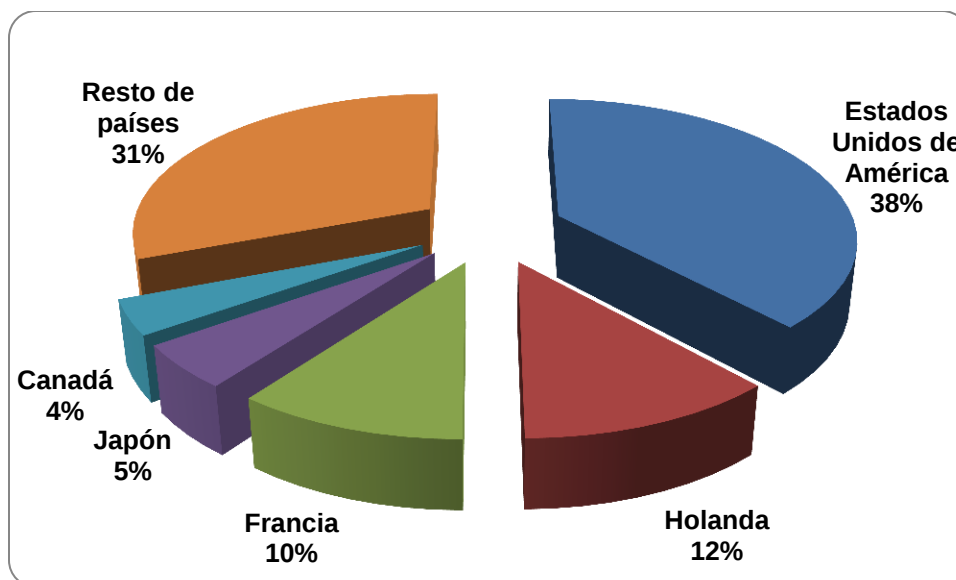


Figura 5. Principales países importadores de aguacate (2010)

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2012

1.1.5 Precios internacionales

1.1.5.1 Precios de exportación

En la figura 5 se observan los precios promedios de exportación anual, los cuales se obtuvieron dividiendo el valor de las exportaciones totales del aguacate en dólares entre el volumen total de exportación en toneladas, esto para cada país.

En 2000, el precio promedio de exportación era de \$1,033 dólares por tonelada incrementándose para 2010 un 68%, es decir, llegando a los \$1,732 dólares por tonelada. Para el caso de México, se observa un precio promedio de \$1,757 dólares por tonelada, superior a los \$1,483 dólares por tonelada a nivel mundial del periodo 2000-2010. En 2000, México recibió un precio de exportación de 825 dólares por

tonelada, mientras que en el 2010 alcanzó 1,821 dólares por tonelada, a una tasa media de crecimiento anual para dicho periodo de 5.3%. Actualmente países como Indonesia y Republica Dominicana son muy competitivos, porque presentan un precio inferior al de México y otros países en los mercados internacionales.

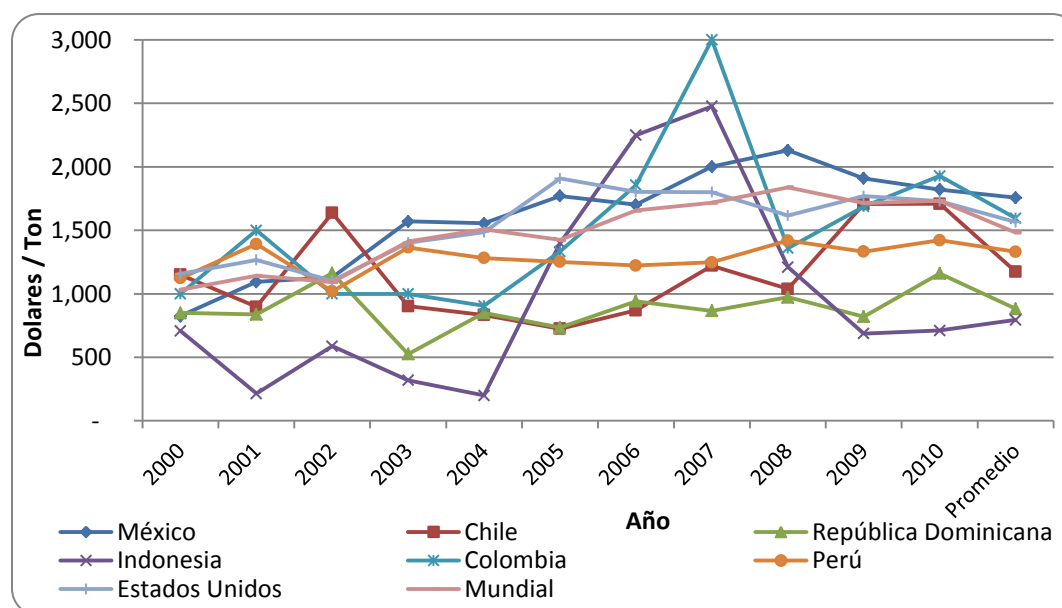


Figura 6. Precios de los principales países exportadores de aguacate (2000-2010)

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2012

1.1.5.2 Precios de importación

Los precios de importación se obtuvieron de la misma forma que los de exportación, dividiendo el valor de las importaciones totales del aguacate en dólares entre el volumen total de importación en toneladas, esto para cada país.

En la gráfica 1.5, se observan las series de los precios promedios anuales de importación de los principales países. El comportamiento de los precios a nivel mundial experimentaron una tasa media de crecimiento anual de 4.5% en el periodo de 2000 a

2010, al pasar de 1,237 a 1,919 dólares por tonelada. Japón en dicho periodo presento los mayores precios, especialmente en 2008 con 3,062 dólares por tonelada. Por el contrario para el mismo año, España presento el precio más bajo con 1,229 dólares por tonelada.

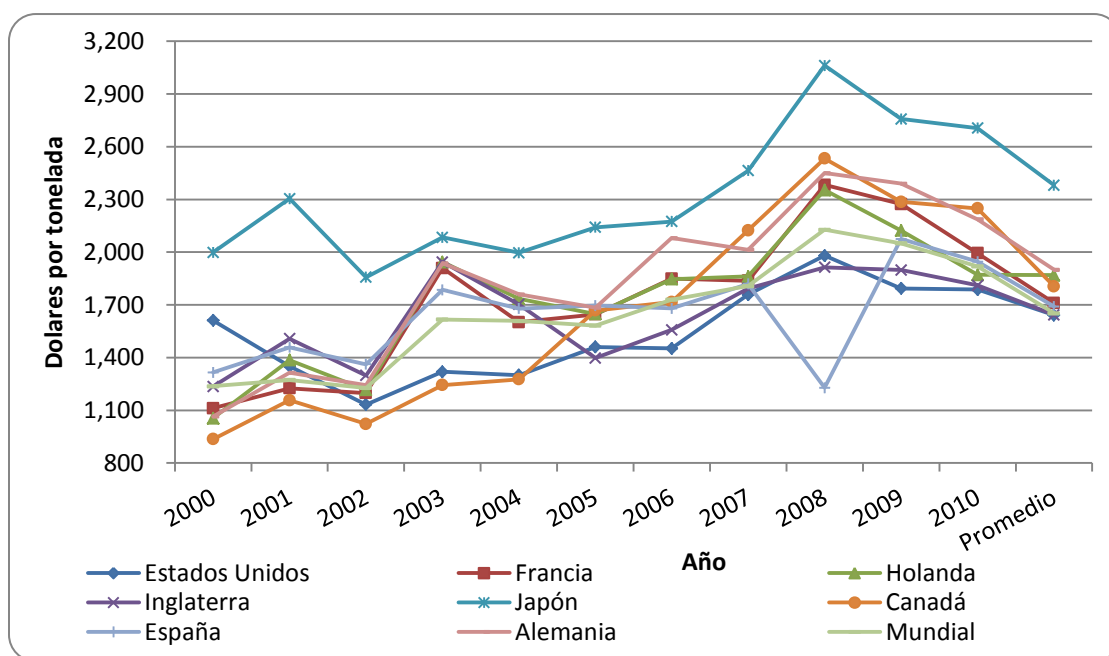


Figura 7. Precios de los principales importadores de aguacate en dólares por tonelada (2000-2010)

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2012

1.1.6 Consumo mundial

El consumo de aguacate se ha incrementado en el mundo considerablemente, ya que era un fruto exótico destinado a ciertos segmentos del mercado pero en la actualidad cualquiera puede acceder a este. Su crecimiento en el consumo además de elevadas producciones y la promoción de sus propiedades nutritivas, también se debe a los

avances de transportación del producto en su conservación a través de equipos especializados que lo han podido trasladar a puntos distantes donde se encuentra el consumidor conservando su calidad.

En el Cuadro 1, con datos de FAO, se observan los principales consumidores de aguacate: México, Estados Unidos, Indonesia, Colombia, República Dominicana, Chile, Francia y Perú, los cuales concentran el 63% del consumo mundial, destacando México con el 25% del total. La información del mismo cuadro se refiere al consumo aparente de aguacate, que se calcula sumando la producción y las importaciones, a lo resultante se le restan las exportaciones.

De 2000 a 2010, el consumo mundial total tuvo un aumento de 42.7%, teniendo un tasa media de crecimiento anual de 3.6%, debido a la expansión de mercados emergentes y en desarrollo.

Por otra parte, el aumento del ingreso, la sensibilización de los consumidores con respecto a las propiedades nutricionales del producto fresco, y la utilización del aguacate en la industria cosmética es lo que ha incrementado la demanda de aguacate (Arroyo, 2012).

Cuadro 1. Consumo Nacional Aparente de Aguacate en miles de toneladas (2000-2010)

País \ Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Total
México	818	869	807	781	852	803	928	924	892	893	788	9,353
Estados Unidos	296	276	300	353	308	548	440	542	420	703	503	4,688
Indonesia	146	142	238	256	222	228	239	202	244	258	224	2,398
Colombia	141	144	153	174	188	188	209	205	191	178	211	1,983
República Dominicana	74	101	136	256	205	96	204	165	169	172	270	1,849
Chile	42	52	62	45	47	24	95	114	246	163	222	1,114
Francia	105	99	99	90	103	103	95	111	94	81	94	1,073
Perú	81	91	89	88	94	85	82	85	85	109	125	1,014
Mundial	2,724	2,844	2,974	3,226	3,210	3,381	3,616	3,615	3,656	3,963	3,888	37,098

Fuente: Elaboración propia con datos de FAO, 2011

1.2 Panorama nacional

En México, este cultivo trae innumerables beneficios económicos a un amplio sector de la población rural y semiurbana de varios estados de la República, por ser el principal productor y exportador a nivel mundial de aguacate, pues es común ver en casas de estados como Michoacán un árbol de aguacate para el autoconsumo familiar, o algunas huertas cuyos frutos tienen la venta asegurada en la misma puerta de la casa o en el mercado local.

Es claro entonces, que el aguacate, además de haber conquistado paladares de todo el mundo, es un producto del que se obtienen importantes divisas para el desarrollo del campo, y con ello una actividad de bajo impacto para el entorno ecológico.

1.2.1 Superficie sembrada y cosechada

La superficie sembrada como cosechada en México ha tenido una tendencia a la alza desde 2002 a 2011, pasando de las 97 mil a las 142 mil hectáreas en superficie sembrada, y de las 93 mil a las 126 mil hectáreas en superficie cosechada para mismo periodo (Grafica 1.6).

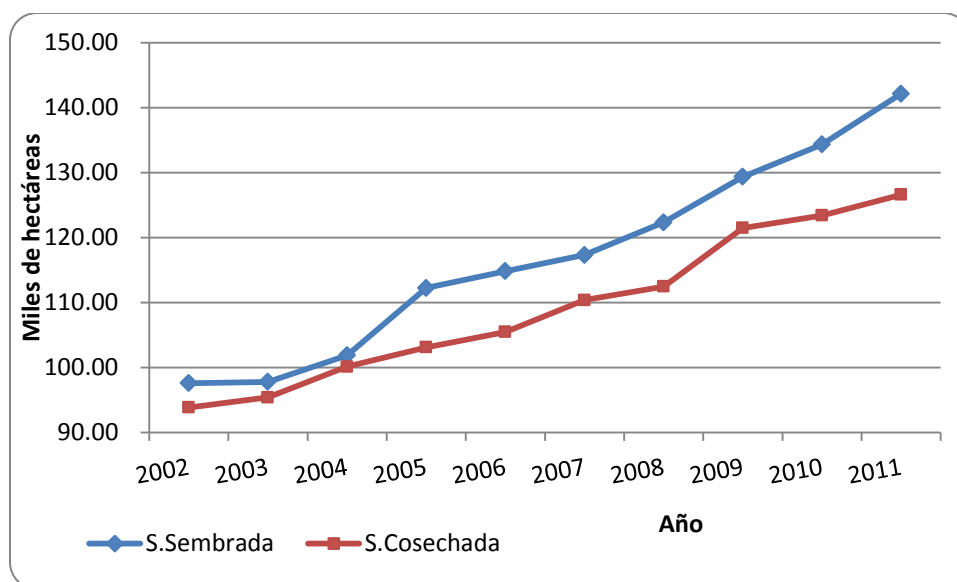


Figura 8. Superficie sembrada y cosechada de aguacate en México (2002-2011)

Fuente: SIAP, 2012

Como ya se señaló, la superficie sembrada de aguacate en el país alcanzó las 142,146 hectáreas en 2011, después de un periodo de expansión que comenzó en 2002 (97,606 hectáreas), a una tasa media de crecimiento anual de 4.3%. El promedio de superficie sembrada para dicho periodo fue 116,985 hectáreas. En 2011, los principales estados donde se cultiva esta fruta fueron Michoacán, Jalisco, Nayarit, México y Morelos, los cuales acumularon el 92% de la superficie sembrada destacando Michoacán con el 77%.

Cuadro 2. Principales estados con superficie sembrada de aguacate en hectáreas (2002-2011)

Estado \ Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Michoacán	81,895	82,523	86,546	95,223	96,764	98,463	103,629	106,222	107,058	108,683
Jalisco	694	681	600	1,385	1,574	2,168	2,229	5,403	8,468	10,868
Nayarit	2,311	2,313	2,260	2,328	2,769	2,689	2,703	2,703	2,708	4,140
México	2,026	1,581	1,771	1,805	1,917	1,947	1,994	2,620	3,615	3,744
Morelos	2,023	2,497	2,502	2,932	2,514	2,514	3,133	3,392	3,348	3,319
Resto	8,656	8,193	8,202	8,578	9,303	9,532	8,662	9,016	9,125	11,391
Nacional	97,606	97,787	101,882	112,251	114,842	117,312	122,349	129,354	134,322	142,146

Fuente: SIAP, 2012

Respecto a la superficie cosechada, para el periodo 2002-2011 se tuvo un incremento del 35%, lo que representa 32,751 hectáreas a una tasa media de crecimiento anual de 3.4%. En cuanto al promedio de superficie cosechada se tuvo un registro de 109,232 hectáreas. Por otro lado, en el último año del periodo, los principales estados con mayor superficie cosechada fueron los mismos que en la superficie sembrada, estos representaron el 94% de la superficie cosechada, volviendo a destacar Michoacán con el 83%.

Cuadro 3. Principales estados con superficie cosechada de aguacate en hectáreas (2002-2011)

Estado\ Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Michoacán	78,788	80,896	85,417	88,148	88,934	93,575	95,564	103,603	103,303	104,809
Jalisco	626	616	479	727	768	1,026	1,230	1,988	4,226	5,929
Morelos	2,023	2,497	2,502	2,552	2,514	2,514	3,133	3,254	2,999	3,034
Nayarit	2,311	2,253	2,259	2,323	2,759	2,681	2,700	2,700	2,696	2,920
México	1,991	1,581	1,771	1,805	1,917	1,787	1,916	2,088	2,156	2,363
Resto	8,108	7,556	7,698	7,563	8,585	8,795	7,937	7,859	8,024	7,543
Nacional	93,847	95,399	100,127	103,119	105,477	110,377	112,479	121,491	123,404	126,598

Fuente: SIAP, 2012

1.2.2 Producción nacional

La producción nacional de aguacate en el periodo 2002-2011 fue de 1, 085,677 toneladas promedio, teniendo una variación del 40%, lo cual representa un aumento en la producción nacional de 363 mil toneladas, a una tasa media acumulada anual de 3.8%.

Los principales productores en 2011 de los veintiocho estados del país en los que se cultiva aguacate fueron Michoacán (86%), Jalisco (3%), Morelos (2%), Estado de México (2%) y Nayarit (2%).

Cuadro 4. Principales estados productores de aguacate en toneladas (2002-2011)

Estado \ Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Michoacán	792,659	800,452	864,069	895,098	1,003,450	1,006,059	1,024,582	1,081,904	950,942	1,092,344
Jalisco	5,426	5,153	4,234	5,911	6,338	10,208	11,178	15,381	29,987	37,742
Morelos	17,174	23,968	30,948	29,207	26,089	25,390	25,372	31,442	26,860	27,716
México	14,980	11,677	20,817	18,946	19,676	18,085	21,352	21,853	21,328	25,955
Nayarit	16,360	15,563	17,258	17,735	22,941	22,711	26,727	26,627	25,843	25,707
Resto	54,476	48,228	49,997	54,619	55,756	60,441	53,219	53,765	52,175	54,678
Nacional	901,075	905,041	987,323	1,021,515	1,134,250	1,142,892	1,162,429	1,230,973	1,107,135	1,264,141

Fuente: SIAP, 2012

1.2.3 Rendimientos

Para el periodo 2002-2011, el rendimiento por hectárea en México registró una tasa media de crecimiento anual de 0.4%, pasando de 9.6 a 10.0 toneladas por hectárea. Por importancia como productores nacionales destacan Michoacán (10.4 ton/ha) y el Estado de México (11.0 ton/ha), que presentan rendimientos superiores a la Nacional (10.0 ton/ha).

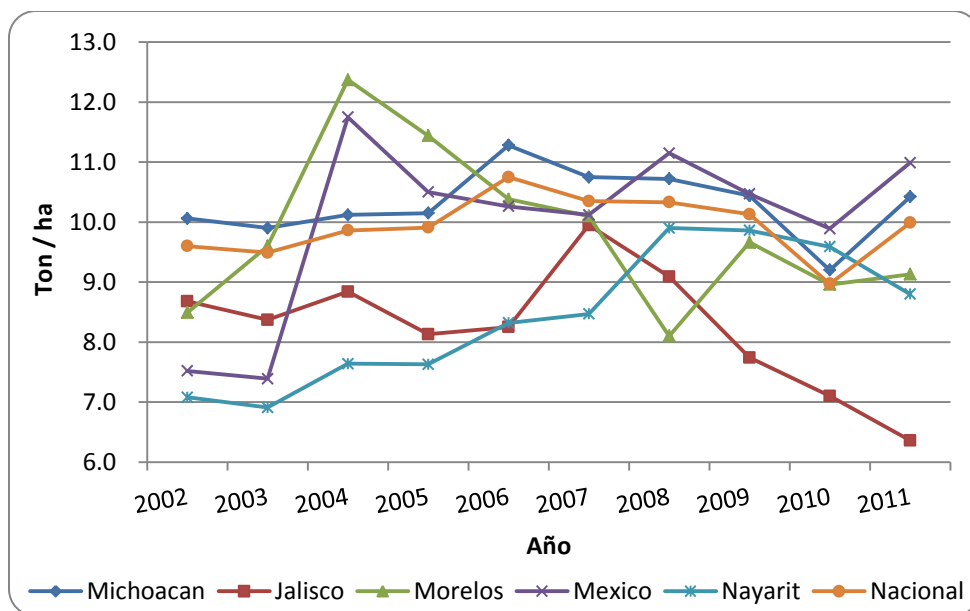


Figura 9. Rendimiento Nacional de aguacate (2002-2011)

Fuente: SIAP, 2012

1.2.4 Precios nacionales

De acuerdo con el SIAP 2011, el precio promedio ponderado nacional para 2011 se ubicó en los \$14,374 por tonelada de aguacate, aumentando su valor en un 12% respecto al año anterior. Para el mismo año, los mayores precios los registran Durango (\$20,458), Aguascalientes (\$15,749), Michoacán (\$15,063), México (\$13,738), Baja California (\$12,258), Morelos (\$10,640) y Jalisco (\$10,156).

A lo largo del periodo 2003-2010, el precio del aguacate se ha ido elevando a nivel nacional, esto obedece principalmente al incremento registrado en los precios de los principales estados productores.

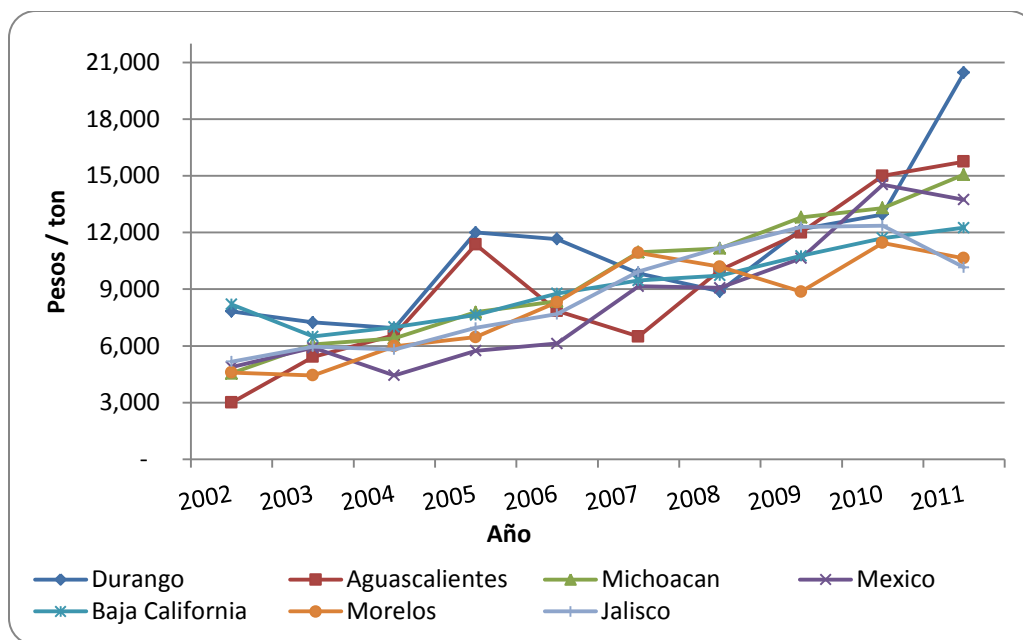


Figura 10. Precios nacionales de aguacate (2002-2011)

Fuente: SIAP, 2012

1.2.5 Comercio

México es el principal productor, consumidor y exportador de aguacate en el mundo. Su consumo interno lo cubre prácticamente con su producción nacional.

1.2.5.1 Exportaciones

En el año 2011 según SIAVI, el 80% de las exportaciones de aguacate mexicano se destinaron a Estados Unidos, le siguen en importancia Japón y Canadá, exportando hacia ellos el 8% y 6% del total respectivamente. Para el periodo que comprende de 2006 a 2011, las exportaciones tuvieron un incremento de 92% representando 192,206 toneladas, a una tasa media de crecimiento anual de 14.0%, debido a que se han

elevado las venta de aguacate a los Estados Unidos por ser el país más atractivo para exportar por su cercanía, precios pagados y el levantamiento de restricciones fitosanitarias. (Cuadro 5).

Cuadro 5. Destino de las exportaciones de aguacate de México en toneladas (2006-2011)

País \ Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Total	%
Estados Unidos	118,809	228,382	249,262	308,622	270,223	321,522	1,496,820	74.4
Japón	28,807	24,829	23,749	27,224	40,594	33,275	178,477	8.9
Canadá	17,148	19,604	18,095	22,583	25,181	22,891	125,503	6.2
El Salvador	10,965	9,298	8,200	10,199	7,768	6,952	53,383	2.7
Costa Rica	5,684	5,979	6,468	6,991	7,708	6,883	39,712	2.0
Francia	10,655	9,014	8,438	6,028	3,867	1,173	39,176	1.9
Honduras	5,264	5,184	4,650	5,645	5,688	4,159	30,589	1.5
Guatemala	5,079	4,727	3,392	4,433	3,996	1,600	23,226	1.2
Resto	5,935	3,243	4,079	5,100	3,836	2,098	24,290	1.2
Total	208,346	310,260	326,333	396,825	368,859	400,552	2,011,176	100.0

Fuente: SIAVI, 2012

En cuanto al valor comercial del producto recibido por las exportaciones mexicanas, se observa que el precio varía de acuerdo al país de destino. En promedio, para el periodo 2006-2011, a los países que se les vende a menor precio por tonelada son Honduras, Francia, El Salvador y Estados Unidos que van de los \$1,835 a \$1,993 dólares por tonelada, mientras que a los países que se exporta con un mayor precio son Japón y Canadá a \$2,211 y \$2,039 dólares por tonelada, respectivamente (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valor comercial de las exportaciones de aguacate de México por país de destino en dólares por tonelada (2006-2011)

País \ Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Promedio
Estados Unidos	1,590	1,992	2,180	1,907	1,821	2,471	1,993
Japón	1,706	2,124	2,225	2,769	1,868	2,574	2,211
Canadá	1,687	2,040	2,183	1,951	1,847	2,527	2,039
El Salvador	1,634	1,873	1,979	1,768	1,757	2,194	1,868
Costa Rica	1,702	1,955	2,188	1,907	1,822	2,384	1,993
Francia	1,616	1,998	1,883	1,701	1,718	2,142	1,843
Honduras	1,611	1,881	1,947	1,714	1,768	2,088	1,835
Guatemala	1,675	1,931	2,084	1,870	1,811	2,413	1,964
Resto	1,623	2,221	2,095	1,755	1,731	2,377	1,967
Total	1,625	2,001	2,166	1,957	1,824	2,471	2,007

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAVI, 2012

1.2.5.2 Importaciones

De acuerdo al SIAVI 2011, México importó 940 toneladas de aguacate de Estados Unidos, siendo este país, el único origen de importación. De 2006 a 2011 las importaciones de este producto tuvieron una disminución de 1,774 toneladas, a una tasa media de crecimiento anual de -15.0%.

Cuadro 7. Origen de las importaciones de aguacate en México en toneladas (2006-2011)

País \ Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Estados Unidos	2,114	91	393	0	6,598	940

Fuente: SIAVI, 2012

Con respecto al valor comercial, en 2011 se registró el precio de compra más alto del periodo a \$2,138 dólares por tonelada, observándose una tasa media de crecimiento anual de 12.0%, es decir, un incremento de 1,275 dólares de 2006 a 2011.

Cuadro 8. Valor comercial de las importaciones de aguacate en México por país de origen en dólares por tonelada (2006-2011)

País \ Año	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Estados Unidos	863	841	1,279	833	1,216	2,138

Fuente: SIAVI, 2012

1.2.6 Consumo nacional

El Consumo Nacional Aparente de aguacate como ya se mencionó, se forma por la producción nacional, menos las exportaciones más las importaciones. Así, se tiene que para el periodo 2006-2011 se produjeron en promedio 1, 173,637 toneladas por año. Las importaciones para el mismo periodo fueron en promedio de 1,689 toneladas anuales. Por otra parte, las exportaciones para el periodo de referencia promediaron anualmente las 335,196 toneladas. Los comportamientos anteriores ubican al consumo aparente de aguacate en un promedio anual de 864,529 toneladas. La tasa media de crecimiento anual tuvo una disminución de 1.4% para el mismo periodo, debido al incremento de las exportaciones y el estancamiento de la producción nacional (Cuadro 9).

Cuadro 9. Consumo nacional aparente de aguacate (toneladas)

Año	Producción	Importaciones	Exportaciones	Consumo Nacional Aparente
2006	1,134,250	2,114	208,346	928,017
2007	1,142,892	91	310,260	832,724
2008	1,162,429	393	326,333	836,489
2009	1,230,973	0	396,825	834,148
2010	1,107,135	6,598	368,859	744,874
2011	1,264,141	940	400,552	864,529
Total	7,041,820	10,136	2,011,176	5,040,780
Promedio	1,173,637	1,689	335,196	840,130

Fuente: Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Sistema de Información Arancelaria

(SIAVI), y Secretaría de Economía (SE), 2012.

Respecto al consumo per cápita, se observó una disminución de consumo por persona al pasar de 8.8 a 7.9 kilogramos de aguacate, debido al mismo problema del consumo nacional aparente, desaceleración de la producción nacional y aumento de las exportaciones.

Cuadro 10. Consumo per cápita de aguacate en México

Año	Población (habitantes)	Consumo Nacional Aparente (kg)	Consumo per-cápita (kg / hab /año)
2006	104,874,282	928,017,211	8.8
2007	105,790,725	832,723,577	7.9
2008	106,682,518	836,488,905	7.8
2009	107,550,697	834,147,535	7.8
2010	112,336,538	744,873,693	6.6
2011	114,793,341	864,529,216	7.5

Fuente: SAGARPA, SIAP, INEGI, CONAPO y BANCO MUNDIAL. 2012

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción a la programación lineal

Los métodos de optimización se pueden clasificar en clásicos y no clásicos. Los métodos no clásicos comprenden las técnicas de la Programación Matemática, la cual comprende muchos tipos de problemas. Los elementos principales de un problema de Programación Matemática son la función objetivo, el conjunto de restricciones y el conjunto de restricciones de no negatividad de las variables de elección.

Si la función objetivo y el conjunto de restricciones son lineales y las variables son individualmente no negativas, el problema es de Programación Lineal.

La Programación Lineal es una técnica que formula y resuelve problemas lineales de optimización con restricciones lineales. El algoritmo de solución, el método simplex fue desarrollado por George Dantzing, en 1974. La Programación Lineal es una de las técnicas de investigación de operaciones más usadas.

Dentro de la Programación Lineal la función objetivo es lineal y maximiza o minimiza. El conjunto de restricciones son lineales, generalmente son desigualdades y establecen límites. El conjunto de restricciones de no negatividad establecen que las variables de decisión no pueden tomar valores negativos. (García, 2009).

2.2 Formulación general de los problemas lineales

De acuerdo a Chiang (1987), un problema de Programación Lineal con n variables de elección y m restricciones puede expresarse en forma completa de la siguiente forma:

$$\text{Max } \pi = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

$$\text{sujeto a } a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq r_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq r_2$$

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq r_m$$

$$\text{y } x_j \geq 0 \quad (j=1, 2, 3, \dots, n)$$

Para lograr un considerable ahorro de espacio, los problemas de Programación Lineal pueden expresarse en notación de sumatoria ($\sum$), esto es (García, 2009):

$$\text{Max } \pi = \sum_i^n c_jx_j$$

$$\text{sujeta a } \sum_i^n a_{ij}x_i \leq r_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, m)$$

$$\text{y } x_j \geq 0 \quad (j=1, 2, 3, \dots, n)$$

2.3 Dualidad

Para cada problema de minimización ($\text{Min } C$) existe siempre un programa de maximización recíproco ($\text{Max } C$), en donde $C=C^*$. En la terminología de la Programación Lineal, al problema lineal original se denomina *primal* y al problema recíproco del primal se llama *dual*. (García, 2009).

2.4 Modelos lineales de distribución

Los modelos lineales de distribución se pueden formular de diferentes maneras. La formulación más sencilla es aquella en donde la función objetivo minimiza los costos de transporte de las posibles rutas que se pueden activar en la solución; este es el conocido modelo de transporte. Otras formulaciones son aquellas que minimizan los costos de transporte y producción, o bien aquellas que maximizan la ganancia neta. (García, 2009).

2.5 Formulación de costo de transporte mínimo

El presente modelo permite determinar las rutas óptimas al menor costo posible para llevar la cantidad producida de un producto desde las regiones productoras hacia las regiones consumidoras. Estos modelos son de utilidad cuando se quiere determinar la forma en que se realiza el abasto de producto en una zona consumidora, o bien cuando se quiere determinar la forma en que se realiza la distribución de la producción. Los supuestos y la notación matemática del modelo se presentan a continuación (García, 2009):

Supuestos

- a. Un área geográfica puede ser dividida en n regiones que pueden ser productoras y consumidoras

$i=1, 2, \dots, n$ regiones productoras

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

- b. Los consumidores de la j -ésima región consumidora demandan y_j de un producto homogéneo.
- c. Los consumidores son indiferentes al origen del producto.
- d. Los productores de la región i producen x_i .
- e. La demanda total del producto de todas las regiones consumidoras $\sum_{j=1}^n b_j$ debe ser igual o menor que el total de toda la producción de todas las regiones productoras $\sum_{i=1}^m a_i$.
- f. Los costos unitarios de transporte de la región i a la región j son c_{ij} y son independientes de la cantidad enviada del producto de i a j .

2.6 Formulación del modelo

Según García (2009), la función objetivo minimiza los costos de transporte de todas las posibles rutas que se activan en el proceso de comercialización. Definiendo a c_{ij} y x_{ij} como los costos de transporte y cantidad enviada del producto de la región productora i a la región consumidora j , respectivamente, la función objetivo se puede se puede expresar en los siguientes términos:

$$\text{Min } C = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad 1)$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad 2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \geq b_j, \quad j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad 3)$$

$$\text{y} \quad x_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i \text{ y } j \quad 4)$$

La función objetivo, Ecuación (1), minimiza los costos de transporte de todas las rutas que se activan en la solución del modelo.

El conjunto de restricciones dadas por (2) son las ecuaciones de balance de oferta y demanda del producto en las zonas productoras. Indican la forma en que se distribuye la producción de cada zona i . Cada restricción indica que todos los envíos de una región productora i , dirigidos hacia todos los mercados j , deberán ser menores o iguales a la producción que se genera en la región oferente.

De manera similar, el conjunto de restricciones dados por (3) son ecuaciones de balance de oferta y demanda del producto en la zona consumidora. Indican la forma en que se abastece el consumo de cada región consumidora j . Indican que las recepciones de producto provenientes de todas las regiones i por parte de la región j deben ser mayores o iguales al consumo de la región j .

La Ecuación (4) establece las condiciones de no negatividad del modelo.

2.7 La oferta es diferente de la demanda

Se puede presentar el caso en que la oferta total difiera de la demanda total del producto. Cuando se presenta esta situación se deben introducir variables dummy en los modelos espaciales. Tales variables son las siguientes:

a_0 Producción en la región 0 (variable dummy)

b_0 Consumo en la región 0 (variable dummy)

Los valores que tomarán a_0 y b_0 serán los siguientes:

a_0 será igual al valor máximo del intervalo $(0, \sum_{j=1}^n b_j - \sum_{i=1}^m a_i)$ para excesos de demanda.

b_0 será igual al valor máximo del intervalo $(0, \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j)$ para excesos de oferta.

El problema de distribución sería similar al primero presentado en este capítulo con algunas diferencias. La representación matemática del modelo sería la siguiente:

$$\text{Min } C = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij} \quad 1)$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \leq a_i, \quad (i = 0, 1, 2, \dots, m) \quad 2)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \geq b_j, \quad (j = 0, 1, 2, \dots, n) \quad 3)$$

$$\text{y} \quad X_{ij} \geq 0 \quad \text{para todo } i \text{ y } j \quad 4)$$

Dada la definición de las variables dummy se asume que $c_{0j} = 0$ y $c_{i0} = 0$. Cuando la oferta es mayor a la demanda (lo cual indica excesos de oferta del producto) una región dummy y_0 debe ser introducida para que absorba el exceso de cantidad ofrecida. Los envíos de la región i a la región $y_0(x_{i0})$ podrían indicar que dicha cantidad debería almacenarse en la región i .

En cambio, cuando la oferta sea menor a la demanda (lo cual indica excesos de demanda) una región dummy x_0 debe ser introducida para que absorba el exceso de cantidad demandada (García, 2009).

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

3.1 Formulación del modelo cerrado de distribución óptima de aguacate

A continuación se muestra el procedimiento para formular el modelo cerrado de distribución de mínimo costo de aguacate:

Todas las cifras utilizadas en los modelos corresponden al año 2011

a) Búsqueda de información

- Se buscaron datos estadísticos acerca de producción en el Anuario estadístico de la producción agrícola dentro de la página de internet del SIAP, 2012.
- Importaciones y exportaciones, en la página de internet del Sistema de información arancelaria vía internet SIAVI de la Secretaría de Economía capítulo 08, partida 0804, subpartida 080440, fracción 08044001 , también se buscó en el sitio FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura), sin embargo, los datos estadísticos de comercio de productos agrícolas sólo están disponibles hasta el año 2010.
- Población nacional, en la página del Banco Mundial se encontró el dato de la población nacional de México 2011 y con base en ello se calculó la tasa de crecimiento (2010 a 2011) utilizando los datos del censo poblacional del INEGI 2010, ésta tasa se aplicó a la población de cada uno de los estados de la República Mexicana y así se obtuvo la población estatal 2011.

b) Cálculo del consumo de aguacate

Los datos anteriores se utilizaron con el objetivo de calcular el consumo aparente y consumo per cápita de aguacate en México, los datos encontrados y calculados más recientes corresponden al año 2011.

El consumo per cápita se calculó sumando las importaciones y restando las exportaciones a la producción nacional, la cantidad obtenida es el consumo aparente en toneladas:

$$\text{Consumo nacional aparente} = \text{Producción nacional} + \text{Importaciones} - \text{Exportaciones}$$

Después, ésta misma cantidad se dividió entre la población nacional y el resultado es el consumo per cápita de aguacate en México, éste fue de 7.54 kg/persona/año (2011).

$$\text{Consumo per cápita} = \text{Consumo nacional aparente} / \text{Población nacional}$$

c) Cálculo de la demanda de aguacate

Ahora, es necesario hacer un cálculo aproximado de la demanda de aguacate de cada uno de los estados de la república mexicana para saber cuáles de ellos tienen un excedente o faltante en dicho producto así que, utilizando una manera quizá menos precisa pero muy oportuna, se multiplicó la población estatal por la cifra obtenida de consumo per cápita nacional (Ver Anexo 1):

$$\text{Demanda estatal de aguacate} = \text{Consumo per cápita nacional} * \text{Población estatal}$$

Lo anterior no implica que toda la población mexicana consuma aguacate y que además lo consuma exactamente en la cantidad que indica el consumo per cápita, pero recordemos que las estimaciones se realizan utilizando promedios para abarcar tanto a los consumidores como a los no consumidores.

El paso siguiente es identificar los estados que son oferentes o demandantes de la fruta en cuestión, es decir, aquellos que después de restar a su propia producción su consumo interno, resulten con signo positivo o negativo; los primeros (+) representan las entidades federativas que después de tener satisfecha su demanda aun cuentan con producto sobrante o excedente, a éstos los llamaremos *estados oferentes*; los segundos (-), representan las entidades federativas que con su propia o nula producción, son incapaces de satisfacer su consumo interno y que, por lo tanto, tienen un faltante de producto, a éstos los llamaremos *estados demandantes* (Ver Anexo 1).

$$\text{Estados oferentes/demandantes} = \text{Producción interna} - \text{Consumo interno}$$

Según datos de SIAP. SAGARPA, todos los estados del país producen cierta cantidad de aguacate, excepto, Chihuahua, Coahuila, el Distrito Federal y Tlaxcala. Después de realizar los cálculos mencionados anteriormente resultaron 3 estados oferentes: Michoacán con un excedente de producto de 1, 058,817.67 toneladas, Nayarit con un excedente de 17,347.01 toneladas y Morelos con un excedente de 14,021.26 toneladas, las otras 29 entidades resultaron ser demandantes de producto. Ahora, al sumar la cantidad de producto excedente y hacer lo mismo para el producto faltante, se obtuvo el total de oferta y demanda de aguacate en México, esto es:

Estados oferentes = 3 Oferta nacional de aguacate = 1, 090,185.93 ton

Estados demandantes = 29 Demanda nacional de aguacate = 691,644.03 ton

La diferencia entre las cantidades anteriores nos indicará si estamos ante un modelo deficitario o excedentario; en el presente estudio el resultado fue positivo de 398,541.90 toneladas, es decir, que después de cubrir los requerimientos internos del país aún quedan existencias de producto, ese producto tendrá que ser colocado en algún lado y a ello se referirá el modelo de economía abierta.

Cuadro 11. Estados oferentes/demandantes de aguacate en México, 2011

Oferentes		Ton	Demandantes		Ton
1	Michoacán	1,058,817.67	1	Aguascalientes	- 8,939.49
2	Morelos	14,021.26	2	Baja California	- 24,255.32
3	Nayarit	17,347.01	3	Baja California Sur	- 4,275.42
			4	Campeche	- 5,828.25
			5	Chiapas	- 29,650.93
			6	Chihuahua	- 26,248.22
			7	Coahuila de Zaragoza	- 21,177.49
			8	Colima	- 4,399.33
			9	Distrito Federal	- 68,201.24
			10	Durango	- 10,343.19
			11	Guanajuato	- 41,453.77
			12	Guerrero	- 12,702.92
			13	Hidalgo	- 18,099.77
			14	Jalisco	- 18,898.51
			15	Estado de México	- 90,981.30
			16	Nuevo León	- 35,824.72
			17	Oaxaca	- 25,861.87
			18	Puebla	- 37,570.79
			19	Querétaro	- 13,795.61
			20	Quintana Roo	- 10,142.73
			21	San Luis Potosí	- 19,862.97
			22	Sinaloa	- 21,302.75
			23	Sonora	- 20,152.01
			24	Tabasco	- 16,684.02

25	Tamaulipas	- 24,893.56
26	Tlaxcala	- 9,014.84
27	Veracruz	- 56,668.78
28	Yucatán	- 3,354.33
29	Zacatecas	- 11,059.91

Fuente: Elaboración propia con base en SIAP, SIAVI, Banco Mundial e INEGI, 2012.

d) Obtención de costos de transporte

En nuestro apartado de economía cerrada, la información anterior fue útil para construir un modelo óptimo de distribución de aguacate en México minimizando los costos de transporte, por lo que el siguiente paso consistió en investigar el costo de llevar producto desde los estados oferentes hacia los estados demandantes.

Recordemos que un modelo es una representación simplificada de la realidad, cabe mencionarlo porque nos enfrentaremos ante varias cuestiones que, precisamente, tendrán que “simplificarse” para poder llevar a cabo el objetivo, por ejemplo: son interminables las rutas de movilización de aguacate en nuestro país entre los distintos estados, municipios y comunidades pero hubo que decidir sólo una ciudad representativa en cada entidad federativa.

Para Michoacán, Nayarit y Morelos (estados oferentes) se eligió la ciudad más cercana a las áreas de producción y empacado de aguacate, éstas fueron: Uruapan, Tepic y Cuautla respectivamente, para el resto de las entidades (estados demandantes) se eligieron aquellas ciudades con mayor afluencia, más pobladas y mejor ubicadas, ayudándose de mapas carreteros.

Existen también varias formas de transportar productos agrícolas hacia su destino pero, para facilitar este estudio, se decidió trabajar con rutas terrestres únicamente; dentro de la transportación terrestre contamos también con diversos tipos de transporte y cada uno de ellos con diferente capacidad de carga y formas de conservación de la fruta, sin embargo, no todas las frutas frescas pueden movilizarse de la misma manera. Para obtener ésta información de manera precisa fue necesario buscar y contactar a comercializadoras de aguacate (comercializadora de aguacates Aguirre en Guadalajara, Jalisco; Unión de Productores, Empacadores y Comercializadores de Aguacate de Michoacán A.C. en Uruapan, Michoacán y Aguacates Ibáñez en mercado de abastos en Guadalajara, Jalisco) quienes dijeron que para realizar la transportación, el aguacate necesita cierto grado de maduración, que la mayor parte del transporte se realiza en camiones tipo torton o rabón y que la conservación en frío es necesaria generalmente cuando el viaje implica un recorrido mayor a 8 horas desde la empacadora a su destino final y se hace en camiones con caja refrigerada; entonces, partiendo de lo anterior se consultaron en primer lugar los tiempos de recorrido terrestre entre ciudades orígenes y destinos en el sitio de internet rutas punto a punto, de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes y con base en ello se decidió manejar costos de transporte para camiones tipo torton de redilas (ventilados) para los recorridos menores a 8 horas y camiones tipo torton caja refrigerada para recorridos mayores a 8 horas.

Los costos de transporte se obtuvieron de la página de internet FLETES, pero hay que aclarar que la tarifa que ahí se muestra es aproximada y tiene que ser confirmada por ejecutivos al momento de realizar la contratación además de que no incluye impuestos,

seguro de la mercancía ni servicios especiales entre otras cuestiones que para el presente estudio no son relevantes. Cabe también hacer notar que los costos por transportar en torton-caja refrigerada son muy superiores a los de transportar en torton-redilas (Ver Anexo 2).

e) Formulación del modelo

Con toda la información recabada anteriormente, se procedió a formular el modelo cerrado de distribución de aguacate.

Función objetivo

1) Algebraicamente:

$$\text{Min } x_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Donde:

c_{ij} = Costos unitarios de transporte (\$/Ton) de cada una de las áreas productoras (primer subíndice) a cada uno de los centros consumidores (segundo subíndice).

x_{ij} = Unidades de producto que serán enviadas de cada uno de los orígenes (primer subíndice) a cada uno de los destinos (segundo subíndice)

Conjunto de restricciones

sujeto a

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

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

donde

a_i = cantidad ofertada en el origen i

b_j = cantidad demandada en el destino j

Condición de no negatividad

$$X_{ij} \geq 0$$

2) De forma desarrollada

La nomenclatura empleada para designar tanto orígenes como destinos fue numérica, aclarando:

- El coeficiente que acompaña a la variable “X” representa el costo de transporte
- El primer subíndice en la variable “X” representa a alguno de los 3 orígenes (1 Michoacán, 2 Nayarit y 3 Morelos)

- El segundo subíndice, que puede ser de una o dos cifras, representa a alguno de los 29 destinos

Notar que:

X127 se lee como equis uno-veintisiete (no puede ser equis doce-siete debido a que no existen más de 3 orígenes en el modelo)

Ejemplo:

721.60 X127 indica que cuesta 721.60 pesos mexicanos enviar “X” cantidad del origen 1 al destino 27

Función objetivo

$$\begin{aligned} \text{Min} = & 379.60 X_{11} + 2,080.32 X_{12} + 3,536.62 X_{13} + 1,583.12 X_{14} + 1,287.44 X_{15} + \\ & 1,221.44 X_{16} + 774.40 X_{17} + 319.80 X_{18} + 560.00 X_{19} + 825.80 X_{110} + 272.63 X_{111} + \\ & 529.53 X_{112} + 399.53 X_{113} + 249.60 X_{114} + 293.80 X_{115} + 821.04 X_{116} + 777.04 \\ & X_{117} + 471.47 X_{118} + 258.27 X_{119} + 1,774.08 X_{120} + 382.20 X_{121} + 876.41 X_{122} \\ & + 1,473.05 X_{123} + 1,195.04 X_{124} + 1,088.56 X_{125} + 470.60 X_{126} + 721.60 X_{127} + \\ & 1,753.55 X_{128} + 478.40 X_{129} + 382.20 X_{21} + 1,649.12 X_{22} + 3,105.28 X_{23} + 1,928.08 \\ & X_{24} + 1,632.40 X_{25} + 1,081.52 X_{26} + 812.24 X_{27} + 340.27 X_{28} + 850.00 X_{29} + 685.95 \\ & X_{210} + 364.97 X_{211} + 858.00 X_{212} + 636.00 X_{213} + 179.40 X_{214} + 585.87 X_{215} + \\ & 936.32 X_{216} + 1,072.72 X_{217} + 774.40 X_{218} + 494.00 X_{219} + 2,120.07 X_{220} + 495.73 \\ & X_{221} + 438.33 X_{222} + 1,041.71 X_{223} + 1,540.00 X_{224} + 1,203.84 X_{225} + 773.52 X_{226} \\ & + 1,017.28 X_{227} + 2,098.51 X_{228} + 482.73 X_{229} + 520.87 X_{31} + 2,407.76 X_{32} + \\ & 3,861.14 X_{33} + 1,132.41 X_{34} + 836.98 X_{35} + 1,341.12 X_{36} + 841.14 X_{37} + 755.49 \\ & X_{38} + 300.00 X_{39} + 962.67 X_{310} + 429.55 X_{311} + 172.80 X_{312} + 167.38 X_{313} + \\ & 766.67 X_{314} + 179.30 X_{315} + 872.08 X_{316} + 384.47 X_{317} + 333.33 X_{318} + 279.40 \\ & X_{319} + 1,324.40 X_{320} + 413.50 X_{321} + 1,204.45 X_{322} + 1,801.09 X_{323} + 677.17 X_{324} \\ & + 1,020.48 X_{325} + 149.00 X_{326} + 304.99 X_{327} + 1,293.57 X_{328} + 587.54 X_{329} \end{aligned}$$

Restricciones

Sujeto a:

Restricciones de oferta

La cantidad de aguacate que posee el origen 1 (Michoacán) para ofertar

$$\begin{aligned} 1) \quad & X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} + X_{111} + X_{112} \\ & + X_{113} + X_{114} + X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{120} + X_{121} + X_{122} + \\ & X_{123} + X_{124} + X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} + X_{129} \leq 1,058,817.67 \end{aligned}$$

La cantidad de aguacate que posee el origen 2 (Nayarit) para ofertar

$$\begin{aligned} 2) \quad & X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} + X_{211} + X_{212} \\ & + X_{213} + X_{214} + X_{215} + X_{216} + X_{217} + X_{218} + X_{219} + X_{220} + X_{221} + X_{222} + \\ & X_{223} + X_{224} + X_{225} + X_{226} + X_{227} + X_{228} + X_{229} \leq 17,347.01 \end{aligned}$$

La cantidad de aguacate que posee el origen 3 (Morelos) para ofertar

$$\begin{aligned} 3) \quad & X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{310} + X_{311} + X_{312} \\ & + X_{313} + X_{314} + X_{315} + X_{316} + X_{317} + X_{318} + X_{319} + X_{320} + X_{321} + X_{322} + \\ & X_{323} + X_{324} + X_{325} + X_{326} + X_{327} + X_{328} + X_{329} \leq 14,021.26 \end{aligned}$$

Restricciones de demanda:

Las cantidades de aguacate que requieren cada uno de los estados demandantes

1) $X_{11} + X_{21} + X_{31} = 8,939.49$	Cantidad que demanda el estado de Aguascalientes
2) $X_{12} + X_{22} + X_{32} = 24,255.32$	Cantidad que demanda el estado de Baja California
3) $X_{13} + X_{23} + X_{33} = 4,275.42$	Cantidad que demanda el estado de Baja California Sur
4) $X_{14} + X_{24} + X_{34} = 5,828.25$	Cantidad que demanda el estado de Campeche
5) $X_{15} + X_{25} + X_{35} = 29,650.93$	Cantidad que demanda el estado de Chiapas
6) $X_{16} + X_{26} + X_{36} = 26,248.22$	Cantidad que demanda el estado de Chihuahua
7) $X_{17} + X_{27} + X_{37} = 21,177.49$	Cantidad que demanda el estado de Coahuila
8) $X_{18} + X_{28} + X_{38} = 4,399.33$	Cantidad que demanda el estado de Colima
9) $X_{19} + X_{29} + X_{39} = 68,201.24$	Cantidad que demanda el Distrito Federal
10) $X_{110} + X_{210} + X_{310} = 10,343.19$	Cantidad que demanda el estado de Durango
11) $X_{111} + X_{211} + X_{311} = 41,453.77$	Cantidad que demanda el estado de Guanajuato
12) $X_{112} + X_{212} + X_{312} = 12,702.92$	Cantidad que demanda el estado de Guerrero
13) $X_{113} + X_{213} + X_{313} = 18,099.77$	Cantidad que demanda el estado de Hidalgo
14) $X_{114} + X_{214} + X_{314} = 18,898.51$	Cantidad que demanda el estado de Jalisco
15) $X_{115} + X_{215} + X_{315} = 90,981.30$	Cantidad que demanda el Estado de México
16) $X_{116} + X_{216} + X_{316} = 35,824.72$	Cantidad que demanda el estado de Nuevo León
17) $X_{117} + X_{217} + X_{317} = 25,861.87$	Cantidad que demanda el estado de Oaxaca
18) $X_{118} + X_{218} + X_{318} = 37,570.79$	Cantidad que demanda el estado de Puebla
19) $X_{119} + X_{219} + X_{319} = 13,795.61$	Cantidad que demanda el estado de Querétaro
20) $X_{120} + X_{220} + X_{320} = 10,142.73$	Cantidad que demanda el estado de Quintana Roo
21) $X_{121} + X_{221} + X_{321} = 19,862.97$	Cantidad que demanda el estado de San Luis Potosí
22) $X_{122} + X_{222} + X_{322} = 21,302.75$	Cantidad que demanda el estado de Sinaloa
23) $X_{123} + X_{223} + X_{323} = 20,152.01$	Cantidad que demanda el estado de Sonora
24) $X_{124} + X_{224} + X_{324} = 16,684.02$	Cantidad que demanda el estado de Tabasco
25) $X_{125} + X_{225} + X_{325} = 24,893.56$	Cantidad que demanda el estado de Tamaulipas
26) $X_{126} + X_{226} + X_{326} = 9,014.84$	Cantidad que demanda el estado de Tlaxcala
27) $X_{127} + X_{227} + X_{327} = 56,668.78$	Cantidad que demanda el estado de Veracruz
28) $X_{128} + X_{228} + X_{328} = 3,354.33$	Cantidad que demanda el estado de Yucatán
29) $X_{129} + X_{229} + X_{329} = 11,059.91$	Cantidad que demanda el estado de Zacatecas

En total, el modelo se compone de 87 variables (3 orígenes x 29 destinos) en la función objetivo, 3 restricciones de oferta y 29 de demanda.

f) Introducción del modelo al paquete LINDO

La función objetivo y las restricciones de demanda y oferta fueron introducidas al programa LINDO (Linear Interactive Discrete Optimization) con la siguiente secuencia:

1. MIN
2. Función objetivo, revisando que todos los coeficientes llevaran la variable "X"
3. ST (que significa: sujeto a)
4. Restricciones de oferta y demanda, utilizando el símbolo "<=" para menor o igual
5. END

Nota: LINDO no acepta el uso de la coma ",", por lo que se eliminaron todas ellas. También se dejó espacio entre líneas y se evitó numerar las restricciones para no incurrir en confusiones al momento de interpretar los resultados en la salida de LINDO.

A continuación se muestra la formulación del modelo de la misma manera en que se introdujo a LINDO:

Min

379.60X11+2080.32X12+3536.62X13+1583.12X14+1287.44X15+1221.44X16+774.40
X17+319.80X18+560.00X19+825.80X110+272.63X111+529.53X112+399.53X113+249
.60X114+293.80X115+821.04X116+777.04X117+471.47X118+258.27X119+1774.08X
120+382.20X121+876.41X122+1473.05X123+1195.04X124+1088.56X125+470.60X12

$6+721.60X_{127}+1753.55X_{128}+478.40X_{129}+382.20X_{21}+1649.12X_{22}+3105.28X_{23}+192$
 $8.08X_{24}+1632.40X_{25}+1081.52X_{26}+812.24X_{27}+340.27X_{28}+850.00X_{29}+685.95X_{210}+$
 $364.97X_{211}+858.00X_{212}+636.00X_{213}+179.40X_{214}+585.87X_{215}+936.32X_{216}+1072.7$
 $2X_{217}+774.40X_{218}+494.00X_{219}+2120.07X_{220}+495.73X_{221}+438.33X_{222}+1041.71X_{2}$
 $23+1540.00X_{224}+1203.84X_{225}+773.52X_{226}+1017.28X_{227}+2098.51X_{228}+482.73X_{22}$
 $9+520.87X_{31}+2407.76X_{32}+3861.14X_{33}+1132.41X_{34}+836.98X_{35}+1341.12X_{36}+841.14$
 $X_{37}+755.49X_{38}+300.00X_{39}+962.67X_{310}+429.55X_{311}+172.80X_{312}+167.38X_{313}+766$
 $.67X_{314}+179.30X_{315}+872.08X_{316}+384.47X_{317}+333.33X_{318}+279.40X_{319}+1324.40X$
 $320+413.5X_{321}+1204.45X_{322}+1801.09X_{323}+677.17X_{324}+1020.48X_{325}+149.00X_{326}$
 $+304.99X_{327}+1293.57X_{328}+587.54X_{329}$

ST

$X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + X_{110} + X_{111} + X_{112} +$
 $X_{113} + X_{114} + X_{115} + X_{116} + X_{117} + X_{118} + X_{119} + X_{120} + X_{121} + X_{122} + X_{123} +$
 $X_{124} + X_{125} + X_{126} + X_{127} + X_{128} + X_{129} \leq 1058817.67$

$X_{21} + X_{22} + X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} + X_{27} + X_{28} + X_{29} + X_{210} + X_{211} + X_{212} +$
 $X_{213} + X_{214} + X_{215} + X_{216} + X_{217} + X_{218} + X_{219} + X_{220} + X_{221} + X_{222} + X_{223} +$
 $X_{224} + X_{225} + X_{226} + X_{227} + X_{228} + X_{229} \leq 17347.01$

$X_{31} + X_{32} + X_{33} + X_{34} + X_{35} + X_{36} + X_{37} + X_{38} + X_{39} + X_{310} + X_{311} + X_{312} +$
 $X_{313} + X_{314} + X_{315} + X_{316} + X_{317} + X_{318} + X_{319} + X_{320} + X_{321} + X_{322} + X_{323} +$
 $X_{324} + X_{325} + X_{326} + X_{327} + X_{328} + X_{329} \leq 14021.26$

$X_{11} + X_{21} + X_{31} = 8939.49$

$X_{12} + X_{22} + X_{32} = 24255.32$

$X_{13} + X_{23} + X_{33} = 4275.42$

$X_{14} + X_{24} + X_{34} = 5828.25$

$X_{15} + X_{25} + X_{35} = 29650.93$

$X_{16} + X_{26} + X_{36} = 26248.22$
 $X_{17} + X_{27} + X_{37} = 21177.49$
 $X_{18} + X_{28} + X_{38} = 4399.33$
 $X_{19} + X_{29} + X_{39} = 68201.24$
 $X_{110} + X_{210} + X_{310} = 10343.19$
 $X_{111} + X_{211} + X_{311} = 41453.77$
 $X_{112} + X_{212} + X_{312} = 12702.92$
 $X_{113} + X_{213} + X_{313} = 18099.77$
 $X_{114} + X_{214} + X_{314} = 18898.51$
 $X_{115} + X_{215} + X_{315} = 90981.30$
 $X_{116} + X_{216} + X_{316} = 35824.72$
 $X_{117} + X_{217} + X_{317} = 25861.87$
 $X_{118} + X_{218} + X_{318} = 37570.79$
 $X_{119} + X_{219} + X_{319} = 13795.61$
 $X_{120} + X_{220} + X_{320} = 10142.73$
 $X_{121} + X_{221} + X_{321} = 19862.97$
 $X_{122} + X_{222} + X_{322} = 21302.75$
 $X_{123} + X_{223} + X_{323} = 20152.01$
 $X_{124} + X_{224} + X_{324} = 16684.02$
 $X_{125} + X_{225} + X_{325} = 24893.56$
 $X_{126} + X_{226} + X_{326} = 9014.84$
 $X_{127} + X_{227} + X_{327} = 56668.78$
 $X_{128} + X_{228} + X_{328} = 3354.33$
 $X_{129} + X_{229} + X_{329} = 11059.91$
END

3.2 Formulación del modelo abierto de distribución óptima de aguacate

Como se vio en el capítulo de Marco teórico, se puede presentar el caso en que la oferta total difiera de la demanda total del producto. Cuando se presenta esta situación se deben introducir variables dummy en los modelos espaciales.

Cuando la oferta es mayor a la demanda (lo cual indica exceso de producto) una región dummy y_0 debe ser introducida para que absorba el exceso de cantidad ofrecida. Los envíos de la región i a la región $y_0(x_{i0})$ podrían indicar que dicha cantidad debería almacenarse en la región i .

En un modelo abierto de distribución óptima habla de la existencia de actividad económica entre México y el exterior, en este caso el comercio internacional de bienes que se movilizarán hacia/desde otros países, las causas entre otras cosas pueden ser porque se trata de un modelo deficitario o superavitario. Para el caso de déficit de producto, se estaría considerando la posibilidad de importar el producto, por el contrario, en el caso del superávit estaríamos hablando de exportación.

El caso que nos ocupa en la presente investigación es el del aguacate, recordemos que México es el principal productor, consumidor y exportador de dicha fruta en el mundo y como lo indica el modelo de economía cerrada, la demanda interna se encuentra satisfecha, pero la oferta, aun presenta excedente de producto, mismo que tiene que ser absorbido por otros países consumidores, es decir, dicho exceso de oferta se destinará a la exportación.

Con base en lo anterior, se procedió a generar el modelo óptimo de distribución de aguacate en una economía abierta llevando a cabo el siguiente procedimiento:

a) Búsqueda de información

Se buscó información acerca de los principales destinos de exportación del aguacate mexicano, estos son:

Cuadro 12. Principales destinos de exportación del aguacate en México, 2011.

	País	Ton	%
1	Estados Unidos de América	321,521.57	80%
2	Japón	33,274.57	8%
3	Canadá	22,891.17	6%
4	El Salvador	6,952.49	2%
5	Costa Rica	6,882.74	2%
	Resto de países	9,029.56	2%
	Total	400,552.10	100%

Fuente: SIAVI, 2012

Como puede observarse, la mayor parte del comercio internacional se hace con Norteamérica, por lo que el siguiente paso será buscar, de acuerdo a la cadena logística de exportación, los puntos frontera en México que comunican con los países que se muestran en el cuadro anterior.

b) Identificar puntos frontera

Los “puntos frontera” o “puntos fronterizos” son aquellos sitios desde donde parte el aguacate hacia otros países (aduanas), es decir, el destino final de la fruta en su traslado de la zona productora a la zona consumidora dentro los límites terrestres de México. Los costos de transporte involucrados después de dichos puntos y hasta la llegada del producto al país destino, no son objeto de este estudio.

De acuerdo con la “Monografía del sector aguacate en México”, 2012 de Secretaría de Economía (SE), los principales puntos de salida del aguacate para exportación hacia Estados Unidos vía terrestre son: Nuevo Laredo, Tamaulipas y Cd. Juárez, Chihuahua; de acuerdo con SENASICA, 2012 el principal punto de salida de aguacate en contenedores para exportación vía marítima es el puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán. El área externa de influencia o Foreland de este puerto, se circunscribe a la Costa Oeste de Norte América con Estados Unidos y Canadá, con Centro América con Guatemala, El Salvador, Ecuador, Colombia, Panamá; en Sur América con Chile, Argentina, Perú y con la Cuenca del Pacífico Oriental, como Japón, Malasia, Filipinas, Singapur, Taiwán, Corea, Rusia, China, Taiwán, Indonesia, Tailandia, Pakistán, Nueva Zelanda, Sudáfrica, etc. (<http://www.puertolazarocardenas.com.mx/plc25/hinterland-y-foreland>).

c) Obtención de costos de transporte

Se obtuvieron los costos de transporte (fletes, 2012) desde los orígenes, que serán los mismos que se manejaron en el modelo de economía cerrada, hasta los nuevos destinos que ahora serán puntos frontera: Nuevo Laredo, Cd. Juárez y puerto de Lázaro Cárdenas.

Cuadro 13. Costos de transporte entre orígenes y puntos frontera, 2011

Costos de transporte		Orígenes		
		Michoacán, Uruapan	Nayarit, Tepic	Morelos, Cuautla
		Costo/Ton (\$)	Costo/Ton (\$)	Costo/Ton (\$)
Destinos (Puntos frontera)	Michoacán, Puerto Lázaro Cárdenas	230.38	684.48	785.50
	Tamaulipas, Nuevo Laredo	1,185.73	1,146.90	1,250.93
	Chihuahua, Cd. Juárez	1,807.47	1,616.54	1,682.11

Fuente: Elaboración propia con base en FLETES, 2012.

d) Formulación del modelo

Esta nueva formulación tratará de un modelo equilibrado, es decir, donde la oferta y la demanda serán iguales. Una buena parte de la producción de aguacate fue distribuida de manera interna en México pero quedó un sobrante que ahora será requerido o demandado en su totalidad por los puntos frontera ya mencionados (y destinado a la exportación), de esta manera, se agotará toda la producción ofrecida.

El nuevo modelo (de economía abierta) estará compuesto ahora por 3 destinos más (puntos frontera), los cuáles se agregaron a la función objetivo del modelo de economía cerrada con sus respectivos costos de transporte, sumando un total de 30 destinos y conservando el mismo número de orígenes (3), quedando de la siguiente manera:

Función objetivo

1) *Algebraicamente:*

$$\text{Min } x_0 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

Donde:

c_{ij} = Costos unitarios de transporte (\$/Ton) de cada una de las áreas productoras (primer subíndice) a cada uno de los centros consumidores (segundo subíndice).

x_{ij} = Unidades de producto que serán enviadas de cada uno de los orígenes (primer subíndice) a cada uno de los destinos (segundo subíndice)

Conjunto de restricciones

sujeto a

$$\text{Oferta} \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m.$$

$$\text{Demanda} \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

donde

a_i = cantidad ofertada en el origen i

b_j = cantidad demandada en el destino j

Condición de no negatividad

$$X_{ij} \geq 0$$

Nótese que el signo utilizado en la restricción de oferta ahora es “=” porque en el modelo abierto (o de mercado abierto) se trata de agotar la oferta o cantidad de aguacate ofrecida.

A continuación se muestra la estructura del modelo de manera desarrollada, las nuevas variables introducidas aparecen subrayadas para facilitar su identificación:

Función objetivo

Min

379.60X11+2080.32X12+3536.62X13+1583.12X14+1287.44X15+1221.44X16+774.40
X17+319.80X18+560.00X19+825.80X110+272.63X111+529.53X112+399.53X113+249
.60X114+293.80X115+821.04X116+777.04X117+471.47X118+258.27X119+1774.08X
120+382.20X121+876.41X122+1473.05X123+1195.04X124+1088.56X125+470.60X12
6+721.60X127+1753.55X128+478.40X129+230.88X130+1185.73X131+1807.47X132+
382.20X21+1649.12X22+3105.28X23+1928.08X24+1632.40X25+1081.52X26+812.24
X27+340.27X28+850.00X29+685.95X210+364.97X211+858.00X212+636.00X213+179
.40X214+585.87X215+936.32X216+1072.72X217+774.40X218+494.00X219+2120.07
X220+495.73X221+438.33X222+1041.71X223+1540.00X224+1203.84X225+773.52X2
26+1017.28X227+2098.51X228+482.73X229+684.48X230+1146.90X231+1616.54X23

$$\begin{aligned} & \underline{2}+520.87X31+2407.76X32+3861.14X33+1132.41X34+836.98X35+1341.12X36+841.14 \\ & X37+755.49X38+300.00X39+962.67X310+429.55X311+172.80X312+167.38X313+766 \\ & .67X314+179.30X315+872.08X316+384.47X317+333.33X318+279.40X319+1324.40X \\ & 320+413.5X321+1204.45X322+1801.09X323+677.17X324+1020.48X325+149.00X326 \\ & +304.99X327+1293.57X328+587.54X329+\underline{785.50X330+1250.93X331+1682.11X332} \end{aligned}$$

Sujeto a

Restricciones de oferta: crecerán a la derecha por la inclusión de 3 destinos más, sin embargo, el número de restricciones de oferta siguen siendo 3.

$$\begin{aligned} & X11 + X12 + X13 + X14 + X15 + X16 + X17 + X18 + X19 + X110 + X111 + X112 + \\ & X113 + X114 + X115 + X116 + X117 + X118 + X119 + X120 + X121 + X122 + X123 + \\ & X124 + X125 + X126 + X127 + X128 + X129 + \underline{X130+X131+X132} = 1058817.67 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & X21 + X22 + X23 + X24 + X25 + X26 + X27 + X28 + X29 + X210 + X211 + X212 + \\ & X213 + X214 + X215 + X216 + X217 + X218 + X219 + X220 + X221 + X222 + X223 + \\ & X224 + X225 + X226 + X227 + X228 + X229 + \underline{X230+X231+X232} = 17347.01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & X31 + X32 + X33 + X34 + X35 + X36 + X37 + X38 + X39 + X310 + X311 + X312 + \\ & X313 + X314 + X315 + X316 + X317 + X318 + X319 + X320 + X321 + X322 + X323 + \\ & X324 + X325 + X326 + X327 + X328 + X329 + \underline{X330+X331+X332} = 14021.26 \end{aligned}$$

Restricciones de demanda: crecerán hacia abajo por la inclusión de 3 destinos más, mismos que se sumarán y se igualarán a la cantidad sobrante de producto en el país tomándose ésta como la cantidad demandada, debido a lo anterior, en realidad se introdujo solo una restricción más de demanda, es decir, ahora se tienen 30.

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} = 8939.49$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} = 24255.32$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} = 4275.42$$

$$X_{14} + X_{24} + X_{34} = 5828.25$$

$$X_{15} + X_{25} + X_{35} = 29650.93$$

$$X_{16} + X_{26} + X_{36} = 26248.22$$

$$X_{17} + X_{27} + X_{37} = 21177.49$$

$$X_{18} + X_{28} + X_{38} = 4399.33$$

$$X_{19} + X_{29} + X_{39} = 68201.24$$

$$X_{110} + X_{210} + X_{310} = 10343.19$$

$$X_{111} + X_{211} + X_{311} = 41453.77$$

$$X_{112} + X_{212} + X_{312} = 12702.92$$

$$X_{113} + X_{213} + X_{313} = 18099.77$$

$$X_{114} + X_{214} + X_{314} = 18898.51$$

$$X_{115} + X_{215} + X_{315} = 90981.30$$

$$X_{116} + X_{216} + X_{316} = 35824.72$$

$$X_{117} + X_{217} + X_{317} = 25861.87$$

$$X_{118} + X_{218} + X_{318} = 37570.79$$

$$X_{119} + X_{219} + X_{319} = 13795.61$$

$$X_{120} + X_{220} + X_{320} = 10142.73$$

$$X_{121} + X_{221} + X_{321} = 19862.97$$

$$X_{122} + X_{222} + X_{322} = 21302.75$$

$$X_{123} + X_{223} + X_{323} = 20152.01$$

$$X_{124} + X_{224} + X_{324} = 16684.02$$

$$X_{125} + X_{225} + X_{325} = 24893.56$$

$$X_{126} + X_{226} + X_{326} = 9014.84$$

$$X_{127} + X_{227} + X_{327} = 56668.78$$

$$X_{128} + X_{228} + X_{328} = 3354.33$$

$$X_{129} + X_{229} + X_{329} = 11059.91$$

$$\underline{X_{130} + X_{230} + X_{330} +}$$

$$\underline{X_{131} + X_{231} + X_{331} +}$$

$$\underline{X_{132} + X_{232} + X_{332} = 398541.90}$$

En total, el modelo se compone de 96 variables (3 orígenes x 32 destinos) en la función objetivo, 3 restricciones de oferta y 30 de demanda.

e) Introducción del modelo al paquete LINDO

Una vez que se tiene la estructura del modelo abierto, se copiará y pegará en el paquete LINDO (Linear Interactive Discrete Optimization) siguiendo los mismos pasos que en el modelo cerrado.

CAPÍTULO IV. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Modelo de economía cerrada

La solución del modelo de transporte en economía cerrada se presenta en el siguiente cuadro (Ver también Anexo 3):

Cuadro 14. Salida de LINDO, solución del modelo de transporte en economía cerrada

OBJECTIVE FUNCTION VALUE				1) 0.5028913E+09	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
1	2	3	4	5	6
X11	8939.490234	0.000000	2)	398541.875000	0.000000
X12	24255.320312	0.000000	3)	0.000000	438.079987
X13	4275.419922	0.000000	4)	0.000000	517.869995
X14	5828.250000	0.000000	5)	0.000000	-379.600006
X15	29650.929688	0.000000	6)	0.000000	-2080.320068
X16	26248.220703	0.000000	7)	0.000000	-3536.620117
X17	21177.490234	0.000000	8)	0.000000	-1583.119995
X18	4399.330078	0.000000	9)	0.000000	-1287.439941
X19	68201.242188	0.000000	10)	0.000000	-1221.439941
X110	10343.190430	0.000000	11)	0.000000	-774.400024
X111	41453.769531	0.000000	12)	0.000000	-319.799988
X112	12702.919922	0.000000	13)	0.000000	-560.000000
X113	18099.769531	0.000000	14)	0.000000	-825.799988
X114	18898.509766	0.000000	15)	0.000000	-272.630005
X115	90981.296875	0.000000	16)	0.000000	-529.530029
X116	35824.718750	0.000000	17)	0.000000	-399.529999
X117	25861.869141	0.000000	18)	0.000000	-249.600006
X118	37570.789062	0.000000	19)	0.000000	-293.799988
X119	13795.610352	0.000000	20)	0.000000	-821.039978
X120	10142.730469	0.000000	21)	0.000000	-777.039978
X121	19862.970703	0.000000	22)	0.000000	-471.470001
X122	3955.739990	0.000000	23)	0.000000	-258.269989
X123	20152.009766	0.000000	24)	0.000000	-1774.079956
X124	2662.760010	0.000000	25)	0.000000	-382.200012
X125	24893.560547	0.000000	26)	0.000000	-876.409973
X126	9014.839844	0.000000	27)	0.000000	-1473.050049
X127	56668.781250	0.000000	28)	0.000000	-1195.040039
X128	3354.330078	0.000000	29)	0.000000	-1088.560059
X129	11059.910156	0.000000	30)	0.000000	-470.600006
X222	17347.009766	0.000000	31)	0.000000	-721.599976
X324	14021.259766	0.000000	32)	0.000000	-1753.550049
			33)	0.000000	-478.399994

Fuente: Elaboración propia con base en SIAP, SIAVI, INEGI, FAO y FLETES, 2012.

La interpretación de cada una de las columnas de la solución se presenta a continuación:

Valor de la función objetivo= \$502, 891,300.00 es el valor del costo de transporte total que resulta ser mínimo.

1. Variable de elección: indica la ruta en cuestión, designada por X con su origen y destino.
2. Valor de la variable de elección (solución óptima) o número de toneladas de aguacate que deben enviarse desde el origen hacia el destino indicado.
3. Costo reducido, es el cambio en la función objetivo cuando el valor de la variable de elección aumenta en una unidad.

En el caso de las rutas activas el costo reducido es cero, pero para las rutas que resultaron no activas este concepto adquiere utilidad, traduciéndose como un subsidio al transporte, ejemplificando:

La ruta X131 (ver anexo 1) no se encuentra activa, lo que significa que ahí no se envió producto, por lo tanto su valor es de cero pero su costo reducido es mayor que cero, esto quiere decir que si se quisiera enviar una unidad de producto a esta ruta (activarla), el costo de la función objetivo se incrementaría en \$955.349976. Dicho de otra manera, si se quisiera mandar una unidad de producto a esta ruta, el costo de transporte desde el origen 1 hacia el destino 31 tendría que reducirse en \$955.349976 o subsidiarse en la misma cantidad.

Las últimas 3 columnas en el cuadro 14 se refieren a las restricciones del modelo:

4. Fila, se numeran cada una de las restricciones del modelo, los resultados comienzan por el número 2 (refiriéndose a la primera restricción), ya que el número 1 se asigna a la función objetivo.
5. Excedente, nos indica la cantidad sobrante de producto. Para el caso de este modelo de mercado cerrado tenemos un excedente de producto (aguacate) de 398,541.875 toneladas en la primera restricción de oferta, que es en el estado de Michoacán.
6. Precios duales: indica la cantidad en la que se modificaría la función objetivo si agrega una unidad adicional en el lado derecho de las restricciones, es decir, las cantidades de producto ofrecidas/demandadas, para ejemplificar:

El precio dual en la primera restricción de oferta es de cero, lo que significa que si aumento en una unidad la cantidad de aguacate ofertada en Michoacán no se modificará el costo en la función objetivo, esto debido a que tenemos un sobrante de producto, lo único que sucedería es que nos sobraría una unidad más.

Cuadro 15. Salida de LINDO, análisis de sensibilidad del modelo de transporte en economía cerrada

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED							
OBJ COEFFICIENT RANGES				RIGHTHAND SIDE RANGES			
VARIABLE	CURRENT COEF	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE	ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
7	8	9	10	11	12	13	14
X11	379.600006	440.679993	INFINITY	2	1058817.625000	INFINITY	398541.875000
X12	2080.320068	6.879883	INFINITY	3	17347.009766	3955.739990	17347.009766
X13	3536.620117	6.739990	INFINITY	4	14021.259766	2662.760010	14021.259766
X14	1583.119995	67.160034	INFINITY	5	8939.490234	398541.875000	8939.490234
X15	1287.439941	67.410034	INFINITY	6	24255.320312	398541.875000	24255.320312
X16	1221.439941	298.160034	INFINITY	7	4275.419922	398541.875000	4275.419922
X17	774.400024	475.919952	INFINITY	8	5828.250000	398541.875000	5828.250000
X18	319.799988	458.549988	INFINITY	9	29650.929688	398541.875000	29650.929688
X19	560.000000	257.869995	INFINITY	10	26248.220703	398541.875000	26248.220703
X110	825.799988	298.230011	INFINITY	11	21177.490234	398541.875000	21177.490234
X111	272.630005	530.419983	INFINITY	12	4399.330078	398541.875000	4399.330078
X112	529.530029	161.139954	INFINITY	13	68201.242188	398541.875000	68201.242188
X113	399.529999	285.720001	INFINITY	14	10343.190430	398541.875000	10343.190430
X114	249.600006	367.879974	INFINITY	15	41453.769531	398541.875000	41453.769531
X115	293.799988	403.369995	INFINITY	16	12702.919922	398541.875000	12702.919922
X116	821.039978	553.359985	INFINITY	17	18099.769531	398541.875000	18099.769531
X117	777.039978	125.300018	INFINITY	18	18898.509766	398541.875000	18898.509766
X118	471.470001	379.729980	INFINITY	19	90981.296875	398541.875000	90981.296875
X119	258.269989	539.000000	INFINITY	20	35824.718750	398541.875000	35824.718750
X120	1774.079956	68.190063	INFINITY	21	25861.869141	398541.875000	25861.869141
X121	382.200012	549.169983	INFINITY	22	37570.789062	398541.875000	37570.789062
X122	876.409973	845.909973	6.739868	23	13795.610352	398541.875000	13795.610352
X123	1473.050049	6.739868	INFINITY	24	10142.730469	398541.875000	10142.730469
X124	1195.040039	783.039917	57.889893	25	19862.970703	398541.875000	19862.970703
X125	1088.560059	449.789917	INFINITY	26	3955.739990	398541.875000	3955.739990
X126	470.600006	196.269989	INFINITY	27	20152.009766	398541.875000	20152.009766
X127	721.599976	101.260010	INFINITY	28	2662.760010	398541.875000	2662.760010
X128	1753.550049	57.889893	INFINITY	29	24893.560547	398541.875000	24893.560547
X129	478.399994	442.410004	INFINITY	30	9014.839844	398541.875000	9014.839844
X222	438.329987	6.739868	INFINITY	31	56668.781250	398541.875000	56668.781250
X324	677.169983	57.889893	INFINITY	32	3354.330078	398541.875000	3354.330078
				33	11059.910156	398541.875000	11059.910156

Fuente: Elaboración propia con base en SIAP, SIAVI, INEGI, FAO y FLETES, 2012.

Este apartado muestra los resultados del análisis de sensibilidad (Ver también Anexo

3):

Rangos en los cuáles la solución básica no cambia

7. Variable de elección

8. Coeficiente actual, indica los costos de transporte utilizados en el modelo
9. Incremento permitido, nos da la cifra en que puede incrementarse el costo de transporte para que la para que la solución actual se mantenga.
10. Disminución permitida, nos da la cifra en que puede disminuirse el costo de transporte para que la solución actual se mantenga.
11. Fila, se numeran cada una de las restricciones del modelo, los resultados comienzan por el número 2 (refiriéndose a la primera restricción), ya que el número 1 se asigna a la función objetivo.
12. Valor actual de las restricciones, cantidad ofertada o demandada de aguacate.
13. Incremento permitido, indica la cantidad en la que puede incrementarse la oferta/demanda de aguacate para que la solución básica no cambie. La palabra INFINITY significa que la oferta en la primera restricción (cantidad de aguacate que ofrece Michoacán) puede aumentar de manera infinita y la solución seguiría siendo la misma.
14. Disminución permitida, indica la cantidad en la que puede disminuirse la oferta/demanda de aguacate para que la solución básica no cambie.

5.1.2 Interpretación de los resultados de LINDO

Cuadro 16. Distribución óptima de aguacate en México bajo el modelo de economía cerrada, 2011

Rutas activas		
Origen	Destino	Cantidad a enviar (Ton)
Uruapan, Michoacán (1,058,817.67)	1 Aguascalientes, Aguascalientes	8,939.49
	2 Mexicali, Baja California	24,255.32
	3 La paz, Baja California Sur	4,275.42
	4 Campeche, Campeche	5,828.25
	5 Tuxtla Gutiérrez, Chiapas	29,650.93
	6 Chihuahua, Chihuahua	26,248.22
	7 Saltillo, Coahuila	21,177.49
	8 Colima, Colima	4,399.33
	9 Distrito Federal (Churubusco)	68,201.24
	10 Gómez Palacio, Durango	10,343.19
	11 León, Guanajuato	41,453.77
	12 Chilpancingo, Guerrero	12,702.92
	13 Pachuca, Hidalgo	18,099.77
	14 Guadalajara, Jalisco	18,898.51
	15 Toluca, Estado de México	90,981.30
	16 Monterrey, Nuevo León	35,824.72
	17 Oaxaca, Oaxaca	25,861.87
	18 Puebla, Puebla	37,570.79
	19 Querétaro, Querétaro	13,795.61
	20 Chetumal, Quintana Roo	10,142.73
	21 San Luis potosí, San Luis potosí	19,862.97
	22 Culiacán, Sinaloa	3,955.74
	23 Hermosillo, Sonora	20,152.01
	24 Villa hermosa, Tabasco	2,662.76
	25 Matamoros, Tamaulipas	24,893.56
	26 Apizaco, Tlaxcala	9,014.84
	27 Veracruz, Veracruz	56,668.78
	28 Mérida, Yucatán	3,354.33
	29 Zacatecas, Zacatecas	11,059.91
Tepic, Nayarit (17,347.01)	1 Culiacán, Sinaloa	17,347.01
Cuautla, Morelos (14,021.26)	1 Villa hermosa, Tabasco	14,021.26
Sobrante de aguacate en Michoacán		398,541.90

Fuente: Elaboración propia en LINDO con base en SIAP, SIAVI, INEGI, FAO y FLETES, 2012.

El cuadro anterior muestra las rutas óptimas para el envío de aguacate en México según los resultados de LINDO, recordemos que en total se tenían 87 rutas contempladas (3 orígenes x 29 destinos) de las cuales sólo 31 resultaron activas, es decir, que son aquellas donde el costo de transporte es mínimo y realizar la distribución en las cantidades indicadas arriba sería la decisión más conveniente *ceteris paribus*.

Nótese que los orígenes 2 y 3, Nayarit y Morelos respectivamente, sólo arrojaron una ruta activa cada uno de ellos, la óptima, enviando la totalidad de su producción a Sinaloa el primero y a Tabasco el segundo. Esto puede ser así porque, además de que el costo de transporte es el mínimo entre estas zonas, la cantidad de producto ofertada por estos estados sería insuficiente para satisfacer la demanda nacional.

El estado de Michoacán por su parte (origen 1), cubrió la demanda total de 27 estados de la república y completó los faltantes en Sinaloa y Tabasco que no alcanzaron a ser cubiertos por Nayarit y Morelos, además, resultó con un excedente de casi 400, 000 toneladas que tendrán que ser distribuidas al exterior de México, dicho de otra manera, se destinarán a la exportación. Este caso se analiza en el siguiente apartado.

5.2 Modelo de economía abierta

La solución del modelo de transporte en economía abierta se presenta en el siguiente cuadro (Ver también Anexo 4):

Cuadro 17. Salida de LINDO, solución del modelo de transporte en economía abierta

OBJECTIVE FUNCTION VALUE				1)	0.5947072E+09
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
1	2	3	4	5	6
X130	398541.906250	0.000000	2)	0.000000	-3536.620117

Fuente: Elaboración propia en LINDO con base en SIAP, SIAVI, INEGI, FAO y FLETES, 2012.

Con el objetivo de no repetir información en los cuadros de salida del primer apartado de LINDO, sólo se muestra el cambio que se dio en los resultados del paquete bajo el modelo de economía abierta ya que las rutas activas y las cantidades óptimas de distribución de aguacate que arrojó el modelo de economía cerrada no presentaron modificaciones.

La interpretación de cada una de las columnas de la solución se presenta a continuación:

Valor de la función objetivo= \$594, 707,200.00 es el valor del costo de transporte total que resulta ser mínimo.

1. Variable de elección
2. Valor de la variable de elección (solución óptima) o número de toneladas de aguacate que deben enviarse desde el origen hacia el destino indicado. La información nueva en este modelo es que el total del excedente nacional sale del origen 1 hacia el destino 30.

3. Costo reducido, es el cambio en la función objetivo cuando el valor de la variable de elección aumenta en una unidad.
4. Fila, se numeran cada una de las restricciones del modelo, los resultados comienzan por el número 2 (refiriéndose a la primera restricción), ya que el número 1 se asigna a la función objetivo.
5. Excedente, nos indica la cantidad sobrante de producto. Contrario a lo sucedido en el primer modelo, bajo el esquema de economía abierta no existen sobrantes de producto (aguacate), pues todo fue enviado hacia el punto frontera óptimo (puerto de Lázaro Cárdenas).
6. Precios duales, indica la cantidad en la que se modificaría la función objetivo si agrega una unidad adicional en el lado derecho de las restricciones, es decir, las cantidades de producto ofrecidas/demandadas.

5.2.2 Interpretación de los resultados de LINDO

Cuadro 18. Distribución óptima de aguacate en México bajo el modelo de economía abierta, 2011

Rutas activas		
Origen	Destino	Cantidad a enviar (Ton)
Uruapan, Michoacán (398,541.90)	Puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán	398,541.90
Sobrante de aguacate		0.00

Fuente: Elaboración propia en LINDO con base en SIAP, SIAVI, INEGI, FAO y FLETES, 2012.

Bajo la modalidad de economía abierta solo se trataba de realizar la distribución óptima del excedente nacional de aguacate (398,541.90 ton), los resultados (Ver también

Anexo 4) arrojan que la totalidad del mismo, generado en el estado de Michoacán, se destinó únicamente al puerto de Lázaro Cárdenas localizado en la misma entidad.

El resultado era de esperarse sabiendo de antemano que el aguacate de exportación, destinado principalmente a Norteamérica, se embarca precisamente por dicho puerto gracias a su cercanía y conveniente localización respecto a la principal zona productora de esta fruta en nuestro país.

Cabe aclarar que el hecho de que las rutas desde Uruapan, Michoacán hacia Nuevo Laredo, Tamaulipas y Cd. Juárez, Chihuahua no se encuentren activas, no implica que en la realidad suceda lo mismo pero, recordemos que la solución que nos da el paquete LINDO indica solo los óptimos, basándose únicamente en minimizar costos de transporte.

CONCLUSIONES

- El procedimiento para identificar orígenes, destinos y cantidades a transportar utilizado en la presente investigación, permite obtener recomendaciones en corto plazo y resultados oportunos y confiables.

En México, con base en datos de 2011:

- Mediante la técnica de programación lineal fue necesario realizar dos modelos de distribución: el primero bajo una economía cerrada (mercado interno) y el segundo, de economía abierta (mercado externo), éste último debido al excedente de producto generado en el país. Estos modelos, permiten minimizar costos de transporte entre los centros productores y los centros consumidores de aguacate.
- El aguacate se produjo en 28 entidades federativas (Total = 1, 264,141.46 ton) de las cuáles, después de satisfacer su demanda interna, sólo 3: Michoacán, Nayarit y Morelos, presentaron un excedente de producto cuyos volúmenes fueron 1, 058,817.67 ton, 14,021.26 ton y 17,347.01 ton respectivamente. Estas se nombraron como áreas productoras, orígenes o estados oferentes. La oferta total de aguacate para transportar en el país fue de 1, 090,185.93 toneladas.

- De las 32 áreas contempladas en este estudio (31 estados de la república y 1 Distrito Federal) resultaron 29 áreas consumidoras, llamadas también destinos o demandantes de producto, requiriendo un total de 691,644.03 toneladas.
- Se obtuvieron los costos de transporte de las 87 rutas del modelo (de 3 orígenes a 29 destinos). El tipo de transporte considerado para los costos fue torton con ventilación para recorridos menores a 8 horas y torton caja refrigerada para los recorridos mayores a 8 horas, éste último tiene costos más elevados.
- De acuerdo a los resultados obtenidos con el paquete LINDO, las rutas óptimas en las que el costo de transporte de aguacate fue el mínimo, son: Michoacán envía producto hacia las 29 zonas consumidoras sumando un total de 660,275.77 toneladas; Nayarit envía 17,347.01 toneladas únicamente a Sinaloa y Morelos envía 14,021.26 toneladas solamente a Tabasco. Con esta distribución queda cubierta la demanda interna del país.
- Después de cubrir la demanda total, en México la producción de aguacate resultó ser superavitaria con 398,541.90 toneladas, esto se debió a que el estado de Michoacán fue (y en la actualidad sigue siendo) el principal productor con una participación del 86.4% del total nacional y el responsable del 100% del excedente generado.
- Con base en el modelo de economía abierta, el 100% del excedente de aguacate existente en Uruapan, Michoacán se envió al punto frontera número 1

(puerto de Lázaro Cárdenas, Michoacán), el óptimo era un tanto predecible debido a la cercanía entre estas zonas y al bajo costo de transporte.

- Como la producción de aguacate en México es superavitaria, no se identificaron los centros de producción mejor ubicados con respecto a los centros consumidores ni los volúmenes programados (potencial) para producir en años posteriores, los cuales serían aplicables si el modelo fuera deficitario o si el objetivo fuera estimular la exportación del producto.
- La distribución actual del aguacate, con base en la variable precios de fletes, incurre en altos costos de transporte debido a que sus rutas de distribución no son las óptimas, de aquí se deduce que si dichos costos disminuyen, el precio del aguacate al consumidor final también se reduce.

RECOMENDACIONES

Se sugiere seguir las rutas y cantidades a transportar que señalan los resultados para abastecer el aguacate a un mínimo costo para que llegue a menor precio a los consumidores.

En Economía abierta se recomienda exportar los excedentes de producto por el puerto de Lázaro Cárdenas para bajar costos de transporte del principal centro productor hacia el exterior del país.

Para obtener recomendaciones oportunas y confiables, se recomienda emplear los procedimientos utilizados en la presente investigación para definir orígenes, destinos, cantidades a transportar y cantidades demandadas en los centros de consumo del producto.

BIBLIOGRAFÍA

Arroyo Pozos, M. G. 2012. Mercado del aguacate mexicano (*Persea americana*, Mill) 1975-2010. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.

CONAPO, 2011. Consejo Nacional de Población. Base de datos del crecimiento poblacional. www.conapo.gob.mx/

EL BANCO MUNDIAL. 2012. Estadísticas de México. <http://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>. Consultado: octubre de 2012.

FAO. 2012. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Base de datos. <http://faostat.fao.org/>. Consultado: octubre de 2012.

FLETES. 2011. Cotizaciones de transportes en México. www.fletes.com. Consultado: noviembre de 2011.

García Mendoza, N. G. 2011. Aplicación de un modelo de equilibrio espacial para determinar la estructura del mercado de maíz blanco en México. UACH. Tesis de Maestría. Chapingo, Estado de México.

García Salazar, J. A. 2009. Modelos de equilibrio espacial e intertemporal. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Estado de México.

INEGI. 2012. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Base de datos. México. www.inegi.org.mx. Consultado: octubre de 2012.

Mapas carreteros. 2012. Mapas de México. <http://www.mapacarreteras.org>. Consultado: octubre de 2012.

Sarmiento FM. 2002. El aguacate joya de México para el mundo. Revista México Desconocido. México.

Scora RW, Wolstenholme BN, Lavi U. Taxonomy and Uses. The avocado. Botany, Production and Uses. Eds A. W. Whaley, B. Schaffer and B.N. Wolstenholme. CAB International. 2002. Pp. 15-37.

SCT. 2012. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Administración Portuaria Integral de Lázaro Cárdenas S.A. de C.V. México. www.puertolazarocardenas.com.mx/plc25/hinterland-y-foreland. Consultado: noviembre de 2011.

SCT. 2012. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Subsecretaría de infraestructura. Dirección general de desarrollo carretero. Rutas punto a punto. México. http://aplicaciones4.sct.gob.mx/sibuac_internet/ControllerUI?action=cmdEscogeRuta. Consultado: octubre de 2012.

Secretaría de Economía. Dirección General de Industrias Básicas. 2012. Monografía del sector aguacate en México: Situación actual y oportunidades de mercado. México.

SENASICA. 2012. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Curso de Inspección y vigilancia cuarentenaria. Tema 3 Zonas productivas de México.

SHCP. 2012. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Aduanas de México. Mapa de aduanas del país. México. http://www.aduanas.gob.mx/aduana_mexico/2010/mapa/nuevo_mapa.htm. Consultado: octubre de 2012.

SIAP, 2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Base de datos. México. www.siap.gob.mx/aagricola_siap/icultivo/index.jsp. Consultado: octubre de 2012.

SIAVI. 2012. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Base de datos. México. www.economia-snci.gob.mx/siavi4/fraccion.php. Consultado: octubre 2012.

Taha, H.A. 1988. Investigación de Operaciones una Introducción. Segunda Edición. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A. México. p. 118-140

Téliz, O. D., 2007. El aguacate y su manejo integrado. 2° edición. Editorial Mundi-Prensa México. 267 p.

ANEXOS

Anexo 1. Cálculo de la demanda de aguacate en México. Obtención de estados oferentes y demandantes. 2011

	Estado	Población (Hab.)	Producción (Ton)	Demanda (Ton)	Diferencia (Ton)
1	Aguascalientes	1,210,911.89	191.4	9,130.89	- 8,939.49
2	Baja California	3,224,071.46	55.8	4,311.12	- 24,255.32
3	Baja California Sur b	650,957.78	633.13	4,908.55	- 4,275.42
4	Campeche	840,427.81	509	6,337.25	- 5,828.25
5	Chiapas	4,901,481.33	7,308.71	36,959.64	- 29,650.93
6	Chihuahua	3,480,964.48		26,248.22	- 26,248.22
7	Coahuila de Zaragoza	2,808,498.38		21,177.49	- 21,177.49
8	Colima	664,782.65	613.47	5,012.80	- 4,399.33
9	Distrito Federal	9,044,653.35		68,201.24	- 68,201.24
10	Durango	1,668,646.31	2,239.24	12,582.43	- 10,343.19
11	Guanajuato	5,606,359.10	821	42,274.77	- 41,453.77
12	Guerrero	3,462,880.44	13,408.94	26,111.86	- 12,702.92
13	Hidalgo	2,723,302.01	2,435.30	20,535.07	- 18,099.77
14	Jalisco	7,511,441.61	37,741.54	56,640.05	- 18,898.51
15	México	15,507,758.50	25,955.00	116,936.30	- 90,981.30
16	Michoacán de Ocampo	4,446,194.29	1,092,344.21	33,526.54	1,058,817.67
17	Morelos	1,816,095.00	27,715.53	13,694.27	14,021.26
18	Nayarit	1,108,707.52	25,707.22	8,360.21	17,347.01
19	Nuevo León	4,755,229.25	32.1	35,856.82	- 35,824.72
20	Oaxaca	3,885,111.01	3,433.82	29,295.69	- 25,861.87
21	Puebla	5,906,234.01	6,965.19	44,535.98	- 37,570.79
22	Querétaro	1,867,914.03	289.4	14,085.01	- 13,795.61
23	Quintana Roo c	1,354,568.43	71.4	10,214.13	- 10,142.73
24	San Luis Potosí	2,642,063.35	59.52	19,922.49	- 19,862.97
25	Sinaloa	2,828,292.00	24	21,326.75	- 21,302.75
26	Sonora	2,720,708.51	363.5	20,515.51	- 20,152.01
27	Tabasco	2,287,561.31	565.34	17,249.36	- 16,684.02
28	Tamaulipas	3,340,037.36	292	25,185.56	- 24,893.56
29	Tlaxcala	1,195,522.53		9,014.84	- 9,014.84
30	Veracruz	7,810,350.85	2,225.20	58,893.98	- 56,668.78
31	Yucatán	1,998,345.52	11,714.20	15,068.53	- 3,354.33
32	Zacatecas	1,523,268.95	426.3	11,486.21	- 11,059.91
Estados Unidos Mexicanos		114,793,341.00	1,264,141.46	65,599.56	398,541.90

Fuente: Elaboración propia con base en SIAP, SIAVI, Banco Mundial e INEGI, 2012.

Anexo 2. Obtención de costos de transporte. 2011

Estados demandantes			Estados oferentes					
			MICHOACAN		NAYARIT		MORELOS	
			Uruapan		Tepic		Cuautla	
			Tiempo (Hrs.)	Costo (\$)/Ton	Tiempo (Hrs.)	Costo (\$)/Ton	Tiempo (Hrs.)	Costo (\$)/Ton
1	AGUASCALIENTES	Aguascalientes	04:17	379.60	04:19	382.20	05:56	520.87
2	BAJA CALIFORNIA	Mexicali	11:43	2,080.32	18:36	1,649.12	26:47	2,407.76
3	BAJA CALIFORNIA SUR	La Paz	07:18	3,536.62	14:11	3,105.28	46:22	3,861.14
4	CAMPECHE	Campeche	15:37	1,583.12	18:38	1,928.08	11:47	1,132.41
5	CHIAPAS	Tuxtla Gutiérrez	11:44	1,287.44	14:46	1,632.40	07:54	836.98
6	CHIHUAHUA	Chihuahua	14:07	1,221.44	13:05	1,081.52	15:50	1,341.12
7	COAHUILA	Saltillo	09:07	774.40	10:01	812.24	09:32	841.14
8	COLIMA	Colima	05:01	319.80	03:50	340.27	08:05	755.49
9	DISTRITO FEDERAL	D. F. (Churubusco)	04:22	560.00	07:24	850.00	01:12	300.00
10	DURANGO	Gómez Palacio	10:03	825.80	09:00	685.95	11:46	962.67
11	GUANAJUATO	León	03:14	272.63	04:11	364.97	04:53	429.55
12	GUERRERO	Chilpancingo	06:41	529.53	09:32	858.00	02:02	172.80
13	HIDALGO	Pachuca	04:11	399.53	07:13	636.00	02:11	167.38
14	JALISCO	Guadalajara	03:11	249.60	02:08	179.40	06:15	766.67
15	MEXICO	Toluca	03:24	293.80	06:26	585.87	02:14	179.30
16	NUEVO LEON	Monterrey	09:44	821.04	10:52	936.32	10:09	872.08
17	OAXACA	Oaxaca	08:17	777.04	11:19	1,072.72	04:28	384.47
18	PUEBLA	Puebla	05:10	471.47	08:11	774.40	01:09	333.33
19	QUERETARO	Querétaro	03:00	258.27	05:46	494.00	03:13	279.40
20	QUINTANA ROO	Chetumal	17:55	1,774.08	20:57	2,120.07	14:06	1,324.40
21	SAN LUIS POTOSI	SLP	04:41	382.20	05:49	495.73	05:06	413.50
22	SINALOA	Culiacán	10:00	876.41	04:54	438.33	13:04	1,204.45
23	SONORA	Hermosillo	16:25	1,473.05	11:18	1,041.71	19:29	1,801.09
24	TABASCO	Villa Hermosa	10:56	1,195.04	13:58	1,540.00	07:06	677.17

25	TAMAULIPAS	Matamoros	12:27	1,088.56	13:35	1,203.84	12:53	1,020.48
26	TLAXCALA	Apizaco	05:01	470.60	08:03	773.52	01:43	149.00
27	VERACRUZ	Veracruz	07:51	721.60	10:53	1,017.28	04:01	304.99
28	YUCATAN	Mérida	17:43	1,753.55	20:44	2,098.51	13:53	1,293.57
29	ZACATECAS	Zacatecas	05:45	478.40	05:48	482.73	07:24	587.54
Puntos frontera								
30	MICHOACÁN	Puerto Lázaro Cárdenas	02:50	230.38	08:14	684.48	07:42	785.50
31	TAMAULIPAS	Nuevo Laredo	11:30	1,185.73	12:37	1,146.90	11:55	1,250.93
32	CHIHUAHUA	Cd. Juárez	17:32	1,807.47	16:30	1,616.54	19:15	1,682.11

Fuente: Elaboración propia con base en SCT y FLETES, 2011.

Anexo 3. Salida de LINDO. Modelo de economía cerrada

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 33

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.5028913E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	8939.490234	0.000000
X12	24255.320312	0.000000
X13	4275.419922	0.000000
X14	5828.250000	0.000000
X15	29650.929688	0.000000
X16	26248.220703	0.000000
X17	21177.490234	0.000000
X18	4399.330078	0.000000
X19	68201.242188	0.000000
X110	10343.190430	0.000000
X111	41453.769531	0.000000
X112	12702.919922	0.000000
X113	18099.769531	0.000000
X114	18898.509766	0.000000
X115	90981.296875	0.000000
X116	35824.718750	0.000000
X117	25861.869141	0.000000
X118	37570.789062	0.000000
X119	13795.610352	0.000000
X120	10142.730469	0.000000
X121	19862.970703	0.000000

X122	3955.739990	0.000000
X123	20152.009766	0.000000
X124	2662.760010	0.000000
X125	24893.560547	0.000000
X126	9361.690430	0.000000
X127	57687.738281	0.000000
X128	4395.600098	0.000000
X129	11090.000000	0.000000
X21	0.000000	440.680023
X22	0.000000	6.879995
X23	0.000000	6.740029
X24	0.000000	783.039978
X25	0.000000	783.040039
X26	0.000000	298.160034
X27	0.000000	475.919983
X28	0.000000	458.549988
X29	0.000000	728.080017
X210	0.000000	298.230011
X211	0.000000	530.419983
X212	0.000000	766.549988
X213	0.000000	674.549988
X214	0.000000	367.880005
X215	0.000000	730.150024
X216	0.000000	553.359985
X217	0.000000	733.759949
X218	0.000000	741.010010
X219	0.000000	673.809998
X220	0.000000	784.070068
X221	0.000000	551.609985
X222	17347.009766	0.000000
X223	0.000000	6.739961

X224	0.000000	783.039978
X225	0.000000	553.359985
X226	0.000000	741.000000
X227	0.000000	733.760010
X228	0.000000	783.040039
X229	0.000000	442.410004
X31	0.000000	659.140015
X32	0.000000	845.309998
X33	0.000000	842.389893
X34	0.000000	67.160034
X35	0.000000	67.409981
X36	0.000000	637.549988
X37	0.000000	584.609985
X38	0.000000	953.559998
X39	0.000000	257.869995
X310	0.000000	654.739990
X311	0.000000	674.789978
X312	0.000000	161.139999
X313	0.000000	285.720001
X314	0.000000	1034.939941
X315	0.000000	403.369995
X316	0.000000	568.910034
X317	0.000000	125.300003
X318	0.000000	379.729980
X319	0.000000	539.000000
X320	0.000000	68.190025
X321	0.000000	549.169983
X322	0.000000	845.909973
X323	0.000000	845.909973
X324	14021.259766	0.000000
X325	0.000000	449.789978

X326	0.000000	196.270004
X327	0.000000	101.259987
X328	0.000000	57.889946
X329	0.000000	627.009949

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
-----	------------------	-------------

2)	398541.875000	0.000000
3)	0.000000	438.079987
4)	0.000000	517.869995
5)	0.000000	-379.600006
6)	0.000000	-2080.320068
7)	0.000000	-3536.620117
8)	0.000000	-1583.119995
9)	0.000000	-1287.439941
10)	0.000000	-1221.439941
11)	0.000000	-774.400024
12)	0.000000	-319.799988
13)	0.000000	-560.000000
14)	0.000000	-825.799988
15)	0.000000	-272.630005
16)	0.000000	-529.530029
17)	0.000000	-399.529999
18)	0.000000	-249.600006
19)	0.000000	-293.799988
20)	0.000000	-821.039978
21)	0.000000	-777.039978
22)	0.000000	-471.470001
23)	0.000000	-258.269989
24)	0.000000	-1774.079956
25)	0.000000	-382.200012

26)	0.000000	-876.409973
27)	0.000000	-1473.050049
28)	0.000000	-1195.040039
29)	0.000000	-1088.560059
30)	0.000000	-470.600006
31)	0.000000	-721.599976
32)	0.000000	-1753.550049
33)	0.000000	-478.399994

NO. ITERATIONS= 33

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES			
VARIABLE	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	COEF	INCREASE	DECREASE
X11	379.600006	440.679993	INFINITY
X12	2080.320068	6.879883	INFINITY
X13	3536.620117	6.739990	INFINITY
X14	1583.119995	67.160034	INFINITY
X15	1287.439941	67.410034	INFINITY
X16	1221.439941	298.160034	INFINITY
X17	774.400024	475.919952	INFINITY
X18	319.799988	458.549988	INFINITY
X19	560.000000	257.869995	INFINITY
X110	825.799988	298.230011	INFINITY
X111	272.630005	530.419983	INFINITY
X112	529.530029	161.139954	INFINITY
X113	399.529999	285.720001	INFINITY
X114	249.600006	367.879974	INFINITY

X115	293.799988	403.369995	INFINITY
X116	821.039978	553.359985	INFINITY
X117	777.039978	125.300018	INFINITY
X118	471.470001	379.729980	INFINITY
X119	258.269989	539.000000	INFINITY
X120	1774.079956	68.190063	INFINITY
X121	382.200012	549.169983	INFINITY
X122	876.409973	845.909973	6.739868
X123	1473.050049	6.739868	INFINITY
X124	1195.040039	783.039917	57.889893
X125	1088.560059	449.789917	INFINITY
X126	470.600006	196.269989	INFINITY
X127	721.599976	101.260010	INFINITY
X128	1753.550049	57.889893	INFINITY
X129	478.399994	442.410004	INFINITY
X21	382.200012	INFINITY	440.679993
X22	1649.119995	INFINITY	6.879913
X23	3105.280029	INFINITY	6.739899
X24	1928.079956	INFINITY	783.039917
X25	1632.400024	INFINITY	783.040039
X26	1081.520020	INFINITY	298.160065
X27	812.239990	INFINITY	475.919952
X28	340.269989	INFINITY	458.549988
X29	850.000000	INFINITY	728.079956
X210	685.950012	INFINITY	298.230011
X211	364.970001	INFINITY	530.419983
X212	858.000000	INFINITY	766.549927
X213	636.000000	INFINITY	674.549988
X214	179.399994	INFINITY	367.879974
X215	585.869995	INFINITY	730.150024
X216	936.320007	INFINITY	553.359985

X217	1072.719971	INFINITY	733.760010
X218	774.400024	INFINITY	741.010010
X219	494.000000	INFINITY	673.809998
X220	2120.070068	INFINITY	784.070068
X221	495.730011	INFINITY	551.609985
X222	438.329987	6.739868	INFINITY
X223	1041.709961	INFINITY	6.739899
X224	1540.000000	INFINITY	783.039917
X225	1203.839966	INFINITY	553.359863
X226	773.520020	INFINITY	741.000000
X227	1017.280029	INFINITY	733.760010
X228	2098.510010	INFINITY	783.039917
X229	482.730011	INFINITY	442.410004
X31	520.869995	INFINITY	659.140015
X32	2407.760010	INFINITY	845.309937
X33	3861.139893	INFINITY	842.389771
X34	1132.410034	INFINITY	67.160034
X35	836.979980	INFINITY	67.410034
X36	1341.119995	INFINITY	637.550049
X37	841.140015	INFINITY	584.609985
X38	755.489990	INFINITY	953.559998
X39	300.000000	INFINITY	257.869995
X310	962.669983	INFINITY	654.739990
X311	429.549988	INFINITY	674.789978
X312	172.800003	INFINITY	161.139969
X313	167.380005	INFINITY	285.720001
X314	766.669983	INFINITY	1034.939941
X315	179.300003	INFINITY	403.369995
X316	872.080017	INFINITY	568.910034
X317	384.470001	INFINITY	125.300018
X318	333.329987	INFINITY	379.729980

X319	279.399994	INFINITY	539.000000
X320	1324.400024	INFINITY	68.190063
X321	413.500000	INFINITY	549.169983
X322	1204.449951	INFINITY	845.909973
X323	1801.089966	INFINITY	845.909912
X324	677.169983	57.889893	INFINITY
X325	1020.479980	INFINITY	449.789917
X326	149.000000	INFINITY	196.269989
X327	304.989990	INFINITY	101.260010
X328	1293.569946	INFINITY	57.889893
X329	587.539978	INFINITY	627.010010

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	RHS	INCREASE	DECREASE
2	1058817.625000	INFINITY	398541.875000
3	17347.009766	3955.739990	17347.009766
4	14021.259766	2662.760010	14021.259766
5	8939.490234	398541.875000	8939.490234
6	24255.320312	398541.875000	24255.320312
7	4275.419922	398541.875000	4275.419922
8	5828.250000	398541.875000	5828.250000
9	29650.929688	398541.875000	29650.929688
10	26248.220703	398541.875000	26248.220703
11	21177.490234	398541.875000	21177.490234
12	4399.330078	398541.875000	4399.330078
13	68201.242188	398541.875000	68201.242188
14	10343.190430	398541.875000	10343.190430
15	41453.769531	398541.875000	41453.769531
16	12702.919922	398541.875000	12702.919922

17	18099.769531	398541.875000	18099.769531
18	18898.509766	398541.875000	18898.509766
19	90981.296875	398541.875000	90981.296875
20	35824.718750	398541.875000	35824.718750
21	25861.869141	398541.875000	25861.869141
22	37570.789062	398541.875000	37570.789062
23	13795.610352	398541.875000	13795.610352
24	10142.730469	398541.875000	10142.730469
25	19862.970703	398541.875000	19862.970703
26	21302.750000	398541.875000	3955.739990
27	20152.009766	398541.875000	20152.009766
28	16684.019531	398541.875000	2662.760010
29	24893.560547	398541.875000	24893.560547
30	9014.839844	398541.875000	9014.839844
31	56668.781250	398541.875000	56668.781250
32	3354.330078	398541.875000	3354.330078
33	11059.910156	398541.875000	11059.910156

Anexo 4. Salida de LINDO. Modelo de economía abierta

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 40

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.5947072E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	8939.490234	0.000000
X12	24255.320312	0.000000
X13	4275.370117	0.000000
X14	5828.250000	0.000000
X15	29650.929688	0.000000
X16	26248.220703	0.000000
X17	21177.490234	0.000000
X18	4399.330078	0.000000
X19	68201.242188	0.000000
X110	10343.190430	0.000000
X111	41453.769531	0.000000
X112	12702.919922	0.000000
X113	18099.769531	0.000000
X114	18898.509766	0.000000
X115	90981.296875	0.000000
X116	35824.718750	0.000000
X117	25861.869141	0.000000
X118	37570.789062	0.000000
X119	13795.610352	0.000000
X120	10142.730469	0.000000
X121	19862.970703	0.000000
X122	3955.739990	0.000000
X123	20152.009766	0.000000
X124	2662.760010	0.000000

X125	24893.560547	0.000000
X126	9014.839844	0.000000
X127	56668.781250	0.000000
X128	3354.330078	0.000000
X129	11059.910156	0.000000
X130	398541.906250	0.000000
X131	0.000000	955.349976
X132	0.000000	1577.089966
X21	0.000000	440.680023
X22	0.000000	6.879995
X23	0.000000	6.740029
X24	0.000000	783.039978
X25	0.000000	783.040039
X26	0.000000	298.160034
X27	0.000000	475.919983
X28	0.000000	458.549988
X29	0.000000	728.080017
X210	0.000000	298.230011
X211	0.000000	530.419983
X212	0.000000	766.549988
X213	0.000000	674.549988
X214	0.000000	367.880005
X215	0.000000	730.150024
X216	0.000000	553.359985
X217	0.000000	733.759949
X218	0.000000	741.010010
X219	0.000000	673.809998
X220	0.000000	784.070068
X221	0.000000	551.609985
X222	17347.009766	0.000000
X223	0.000000	6.739961

X224	0.000000	783.039978
X225	0.000000	553.359985
X226	0.000000	741.000000
X227	0.000000	733.760010
X228	0.000000	783.040039
X229	0.000000	442.410004
X230	0.000000	892.179993
X231	0.000000	1354.599976
X232	0.000000	1824.239990
X31	0.000000	659.140015
X32	0.000000	845.309998
X33	0.000000	842.389893
X34	0.000000	67.160034
X35	0.000000	67.409981
X36	0.000000	637.549988
X37	0.000000	584.609985
X38	0.000000	953.559998
X39	0.000000	257.869995
X310	0.000000	654.739990
X311	0.000000	674.789978
X312	0.000000	161.139999
X313	0.000000	285.720001
X314	0.000000	1034.939941
X315	0.000000	403.369995
X316	0.000000	568.910034
X317	0.000000	125.300003
X318	0.000000	379.729980
X319	0.000000	539.000000
X320	0.000000	68.190025
X321	0.000000	549.169983
X322	0.000000	845.909973

X323	0.000000	845.909973
X324	14021.259766	0.000000
X325	0.000000	449.789978
X326	0.000000	196.270004
X327	0.000000	101.259987
X328	0.000000	57.889946
X329	0.000000	627.009949
X330	0.000000	1072.989990
X331	0.000000	1538.420044
X332	0.000000	1969.599976

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
-----	------------------	-------------

2)	0.000000	-3536.620117
3)	0.000000	-3098.540039
4)	0.000000	-3018.750000
5)	0.000000	3157.020020
6)	0.000000	1456.300049
7)	0.050000	0.000000
8)	0.000000	1953.500000
9)	0.000000	2249.179932
10)	0.000000	2315.179932
11)	0.000000	2762.219971
12)	0.000000	3216.820068
13)	0.000000	2976.620117
14)	0.000000	2710.820068
15)	0.000000	3263.989990
16)	0.000000	3007.090088
17)	0.000000	3137.090088
18)	0.000000	3287.020020
19)	0.000000	3242.820068

20)	0.000000	2715.580078
21)	0.000000	2759.580078
22)	0.000000	3065.149902
23)	0.000000	3278.350098
24)	0.000000	1762.540039
25)	0.000000	3154.419922
26)	0.000000	2660.209961
27)	0.000000	2063.570068
28)	0.000000	2341.580078
29)	0.000000	2448.060059
30)	0.000000	3066.020020
31)	0.000000	2815.020020
32)	0.000000	1783.069946
33)	0.000000	3058.219971
34)	0.000000	3306.239990

NO. ITERATIONS= 40

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

OBJ COEFFICIENT RANGES

VARIABLE	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	COEF	INCREASE	DECREASE
X11	379.600006	440.679932	INFINITY
X12	2080.320068	6.880005	INFINITY
X13	3536.620117	6.739990	1456.300049
X14	1583.119995	67.160156	INFINITY
X15	1287.439941	67.409912	INFINITY
X16	1221.439941	298.159912	INFINITY
X17	774.400024	475.919922	INFINITY
X18	319.799988	458.550049	INFINITY
X19	560.000000	257.870117	INFINITY
X110	825.799988	298.229980	INFINITY

X111	272.630005	530.419922	INFINITY
X112	529.530029	161.140091	INFINITY
X113	399.529999	285.720093	INFINITY
X114	249.600006	367.879883	INFINITY
X115	293.799988	403.370117	INFINITY
X116	821.039978	553.360107	INFINITY
X117	777.039978	125.300079	INFINITY
X118	471.470001	379.729980	INFINITY
X119	258.269989	539.000000	INFINITY
X120	1774.079956	68.189941	INFINITY
X121	382.200012	549.169922	INFINITY
X122	876.409973	845.909912	6.739990
X123	1473.050049	6.739990	INFINITY
X124	1195.040039	783.040039	57.889893
X125	1088.560059	449.790039	INFINITY
X126	470.600006	196.270020	INFINITY
X127	721.599976	101.260010	INFINITY
X128	1753.550049	57.889893	INFINITY
X129	478.399994	442.409912	INFINITY
X130	230.380005	892.179932	INFINITY
X131	1185.729980	INFINITY	955.349854
X132	1807.469971	INFINITY	1577.089844
X21	382.200012	INFINITY	440.679993
X22	1649.119995	INFINITY	6.880005
X23	3105.280029	INFINITY	6.739990
X24	1928.079956	INFINITY	783.039917
X25	1632.400024	INFINITY	783.039917
X26	1081.520020	INFINITY	298.159912
X27	812.239990	INFINITY	475.919922
X28	340.269989	INFINITY	458.550018
X29	850.000000	INFINITY	728.080078

X210	685.950012	INFINITY	298.230042
X211	364.970001	INFINITY	530.419922
X212	858.000000	INFINITY	766.550049
X213	636.000000	INFINITY	674.550049
X214	179.399994	INFINITY	367.879974
X215	585.869995	INFINITY	730.150024
X216	936.320007	INFINITY	553.360046
X217	1072.719971	INFINITY	733.760010
X218	774.400024	INFINITY	741.009888
X219	494.000000	INFINITY	673.810059
X220	2120.070068	INFINITY	784.070068
X221	495.730011	INFINITY	551.609863
X222	438.329987	6.739990	INFINITY
X223	1041.709961	INFINITY	6.739990
X224	1540.000000	INFINITY	783.040039
X225	1203.839966	INFINITY	553.359985
X226	773.520020	INFINITY	741.000000
X227	1017.280029	INFINITY	733.760010
X228	2098.510010	INFINITY	783.039917
X229	482.730011	INFINITY	442.409943
X230	684.479980	INFINITY	892.179932
X231	1146.900024	INFINITY	1354.599976
X232	1616.540039	INFINITY	1824.239990
X31	520.869995	INFINITY	659.140015
X32	2407.760010	INFINITY	845.310059
X33	3861.139893	INFINITY	842.389893
X34	1132.410034	INFINITY	67.160034
X35	836.979980	INFINITY	67.409912
X36	1341.119995	INFINITY	637.549927
X37	841.140015	INFINITY	584.609985
X38	755.489990	INFINITY	953.560059

X39	300.000000	INFINITY	257.870117
X310	962.669983	INFINITY	654.740051
X311	429.549988	INFINITY	674.789978
X312	172.800003	INFINITY	161.140091
X313	167.380005	INFINITY	285.720093
X314	766.669983	INFINITY	1034.939941
X315	179.300003	INFINITY	403.370056
X316	872.080017	INFINITY	568.910095
X317	384.470001	INFINITY	125.300079
X318	333.329987	INFINITY	379.729889
X319	279.399994	INFINITY	539.000122
X320	1324.400024	INFINITY	68.190063
X321	413.500000	INFINITY	549.169922
X322	1204.449951	INFINITY	845.909912
X323	1801.089966	INFINITY	845.910034
X324	677.169983	57.889893	INFINITY
X325	1020.479980	INFINITY	449.790039
X326	149.000000	INFINITY	196.270020
X327	304.989990	INFINITY	101.260010
X328	1293.569946	INFINITY	57.889893
X329	587.539978	INFINITY	627.009949
X330	785.500000	INFINITY	1072.989990
X331	1250.930054	INFINITY	1538.420044
X332	1682.109985	INFINITY	1969.599976

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT	ALLOWABLE	ALLOWABLE
	RHS	INCREASE	DECREASE
2	1058817.625000	0.050000	4275.370117
3	17347.009766	0.050000	4275.370117
4	14021.259766	0.050000	4275.370117

5	8939.490234	4275.370117	0.050000
6	24255.320312	4275.370117	0.050000
7	4275.419922	INFINITY	0.050000
8	5828.250000	4275.370117	0.050000
9	29650.929688	4275.370117	0.050000
10	26248.220703	4275.370117	0.050000
11	21177.490234	4275.370117	0.050000
12	4399.330078	4275.370117	0.050000
13	68201.242188	4275.370117	0.050000
14	10343.190430	4275.370117	0.050000
15	41453.769531	4275.370117	0.050000
16	12702.919922	4275.370117	0.050000
17	18099.769531	4275.370117	0.050000
18	18898.509766	4275.370117	0.050000
19	90981.296875	4275.370117	0.050000
20	35824.718750	4275.370117	0.050000
21	25861.869141	4275.370117	0.050000
22	37570.789062	4275.370117	0.050000
23	13795.610352	4275.370117	0.050000
24	10142.730469	4275.370117	0.050000
25	19862.970703	4275.370117	0.050000
26	21302.750000	4275.370117	0.050000
27	20152.009766	4275.370117	0.050000
28	16684.019531	4275.370117	0.050000
29	24893.560547	4275.370117	0.050000
30	9014.839844	4275.370117	0.050000
31	56668.781250	4275.370117	0.050000
32	3354.330078	4275.370117	0.050000
33	11059.910156	4275.370117	0.050000
34	398541.906250	4275.370117	0.050000