

## Modelo de transporte para la distribución de cacao en México

Samuel Rivera López<sup>1</sup>

Maricruz Gutiérrez Hernández<sup>2</sup>

Francisco Pérez Soto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Avenida Úrsulo Galván, 7B, colonia Salitrería, Texcoco de Mora, Estado de México, México. CP. 56150. Tel. 01(275) 1095016. (sriveral.comercio@hotmail.com).

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Calle Florida, 67, colonia El Arenal, Zacualtipán de Ángeles, Hidalgo, México. CP. 43200. Tel. 01(556) 1724351. (maricruzgutt@hotmail.com). <sup>3</sup>División de Ciencias Económico-Administrativas-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, México. CP. 56230.

§Autor para correspondencia: perezsotofco@gmail.com.

### Resumen

El cacao es un producto originario de México cuya producción no satisface la demanda interna, por lo que existe la necesidad de importar gran parte de lo que consume el mercado mexicano, por lo anterior, resulta de gran importancia poder distribuir óptimamente las cantidades producidas internamente con la finalidad de minimizar los costos de transporte del grano. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo de investigación fue formular un modelo de transporte que optimice la distribución del cacao en México minimizando el costo del transporte, tanto para una economía cerrada, como para una economía abierta. Se utilizó programación lineal para resolver el problema del transporte, ya que permite determinar la manera óptima de trasladar bienes, minimizando los costos totales de distribución. Los principales resultados muestran que el consumo aparente nacional, en 2015, fue de 51 394.13 t, el consumo aparente per cápita de cacao en el país fue de 0.43 kg. Los estados que pueden ver satisfecha totalmente su demanda de cacao, únicamente con el excedente de la producción estatal de Tabasco y Chiapas, son: Guerrero, Oaxaca, Querétaro, Quintana Roo, Tamaulipas, Veracruz, Campeche, Ciudad de México, Hidalgo, Estado de México, Morelos, Puebla, Tlaxcala y Yucatán; mientras que Michoacán puede obtener 14 de los 65 tráileres que demanda. Lo anterior conlleva a una minimización del costo de transporte, siendo este de \$9 500 068.00. Para poder cubrir la demanda nacional de cacao se consideraron dos puertos de entrada para este cultivo y el costo mínimo de transporte fue de \$18 123 640.00.

**Palabras clave:** economía abierta, economía cerrada, logística de importación, programación lineal.

Recibido: febrero de 2019

Aceptado: abril de 2019

## Introducción

El cacao (*Theobroma cacao*) es un cultivo originario de México, de importancia cultural para el país, por lo que se cuenta con una declaración general de protección de la denominación de origen del “Cacao Grijalva” que ampara al cacao verde o tostado/molido de la especie en mención que se produce en la Región Grijalva de Tabasco, ésta se encuentra integrada por tres subregiones productivas: Chontalpa, Sierra y Centro, y agrupan 11 municipios de Tabasco (DOF, 2016). La región tropical de América presenta las condiciones óptimas para el cultivo de cacao, por lo que en estas zonas se ha cultivado desde hace unos tres mil años por parte de la cultura Olmeca, sin embargo, se atribuye a los mayas la difusión del grano al utilizarlo; incluso, como moneda en su sistema de trueque (Nisao, 2007).

Los pueblos de Mesoamérica daban gran valor sentimental al cacao puesto que lo consideraban un regalo de los dioses, de hecho, *Theobroma* en griego significa “alimento de los dioses”, el fruto simbolizaba al corazón humano y el chocolate figuraba la sangre; en la actualidad, el cacao y sus productos derivados tienen un papel destacado en los mercados internacionales, sobre todo en la agroindustria (Salas y Hernández, 2015). En 2017, de acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), en México se produjeron 27 287.25 t de cacao, los estados productores de este grano fueron: Tabasco con 17 430.21 t cosechadas, Chiapas con 9 611.63 t y Guerrero con 245.41 t (SIAP, 2018).

Cabe destacar que la producción de cacao en México está en manos de 37 mil productores, aproximadamente, Tabasco agrupa al 68 % de estos, Chiapas cuenta con el 31% de ellos y Guerrero posee cerca del 1% restante (Orozco, 2018).

“El 80 por ciento de la producción mundial se concentra en los cacaos: forasteros u ordinarios; trinitario; y criollo, y México cuenta con los tres tipos e impulsa el incremento de los cacaos criollos, ya que es el país de origen” (Jaramillo, 2017). Sin embargo, en materia de producción de cacao, se tiene que “en México no se han identificado los factores socioeconómicos y parasitológicos que limitan la producción de una manera puntual y precisa y todo apunta a que las enfermedades contribuyen de manera significativa a la desaparición de este importante cultivo” (Hernández *et al.*, 2015), dado a que la importación de este grano es indispensable para satisfacer la demanda interna. En 2017 se importaron 41 321.97 t de cacao de todo el mundo, los principales proveedores fueron: Ecuador con 27 012.64 t, Costa de Marfil con 9 076.7 t, Colombia con 3 022.33 t, Perú con 1 350.98 t y República Dominicana con 840.63 t (SIAVI, 2018).

Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo fue enunciar un modelo de transporte que optimice la distribución del cacao en México minimizando el costo del transporte. La hipótesis de partida fue que la producción nacional de cacao únicamente pudo abastecer la demanda de los estados del sur del país, dada la cercanía geográfica que guardan con respecto a los estados productores, mientras que los estados del centro-norte del país dependerían de las importaciones de cacao para ver satisfecha su demanda. Las importaciones han ido cobrando mayor peso en el consumo de cacao nacional debido, principalmente, a la creciente demanda de las grandes empresas chocolateras que no logran satisfacer sus requerimientos en el mercado interno ante la escasa producción nacional de grano (Andrade, 2017). Por lo anterior, de forma complementaria, se elaboró un modelo de transporte de costo mínimo para una economía abierta.

## Materiales y métodos

Dentro de las aplicaciones de la programación lineal destaca el problema del transporte cuya finalidad es determinar la manera óptima de trasladar bienes, puesto que “la transportación generalmente representa el elemento individual más importante en los costos de logística para la mayoría de las empresas. Se ha observado que el movimiento de carga absorbe entre uno y dos tercios de los costos totales de logística” (Quintero *et al.*, 2016). Cabe señalar que “el problema general de transporte se refiere -en sentido literal o figurado- a la distribución de cualquier mercancía desde cualquier grupo de centros de suministro, llamados orígenes, a cualquier grupo de centros de recepción, llamados destinos, de tal manera que se minimicen los costos totales de distribución” (Hillier y Lieberman, 2010).

En general, el origen  $O_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$  dispone de  $X_i$  unidades para ofrecer y el destino  $D_j (j=1, 2, 3, \dots, n)$  tiene una demanda de  $X_j$  unidades. En el caso del cacao mexicano se tienen dos orígenes en una economía cerrada y 30 destinos. En muchas aplicaciones, las cantidades de abastecimiento o recursos y de demanda tienen valores enteros, y al trabajar con el modelo se requerirá que las cantidades distribuidas tomen valores enteros; cabe señalar que la programación entera es un problema de programación lineal en el que se requiere que algunas o todas las variables adopten valores enteros no negativos (Winston, 2005).

La propiedad de soluciones enteras establece que para los problemas de transporte en los que  $X_i$  y  $X_j$  tienen un valor entero, todas las variables básicas (asignaciones), en toda la solución básica factible (incluyendo la óptima), tienen también valores enteros. Por su parte, la propiedad de soluciones factibles establece que una condición necesaria y suficiente para que un problema de transporte tenga soluciones factibles es que (Hillier y Lieberman, 2010).

$$\sum_{i=1}^n X_i = \sum_{j=1}^n X_j$$

Esta propiedad se puede verificar observando que las restricciones requieren que:

$$\sum_{i=1}^n X_i \text{ y } \sum_{j=1}^n X_j = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij}$$

La condición de que los recursos totales deben igualar la demanda total exige que el sistema esté balanceado, si el problema tiene algún significado físico y esta condición no se cumple, implicaría que  $X_i$ , o bien  $X_j$ , representan una cota y no un requerimiento exacto. En este caso se puede introducir un origen o un destino imaginario o ficticio para captar la holgura, con el fin de convertir las desigualdades en igualdades y satisfacer la condición de factibilidad (Hillier y Lieberman, 2010). En este sentido, dado a que la producción de cacao en México no satisface la demanda interna es necesario importar este producto, por lo que, para el modelo de economía abierta se agregaron dos orígenes ficticios, Jalisco y Yucatán.

Para determinar que estados de México son deficitarios o superavitarios en el consumo de cacao se calculó el consumo aparente nacional, el resultado se dividió entre la población nacional para obtener el consumo aparente per cápita. El dato obtenido fue multiplicado por la población de cada estado y con ello se estimó su consumo. La producción menos la demanda de este grano determinó si el estado es oferente o demandante de cacao. Las fórmulas utilizadas fueron las siguientes (Miranda, 2005).

$$\text{Consumo aparente nacional} = \text{producción} + \text{importación} - \text{exportación}$$

Donde: consumo aparente nacional= es la cantidad demandada de cacao en toneladas por parte del mercado mexicano; producción= se refiere a la cantidad de cacao cosechado en México en toneladas, los datos fueron consultados en Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), el año de estudio fue el 2015; importación= es la cantidad importada de cacao expresada en toneladas; se utilizó la fracción arancelaria 18010001 “cacao en grano, entero o partido, crudo o tostado”. Los datos se consultaron en el Sistema de Información Arancelaria Vía Internet (SIAVI) para el año 2015; exportación= es la cantidad exportada de cacao expresada en toneladas, se utilizó la fracción arancelaria 18010001 “cacao en grano, entero o partido, crudo o tostado”. Los datos se consultaron en el SIAVI para el año 2015.

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

Donde: consumo aparente per cápita= es la cantidad demandada de cacao por cada persona en México; población nacional= expresa la cantidad de habitantes en México en 2015, los datos se consultaron en el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

$$\text{Consumo estatal} = \text{consumo aparente per cápita} * \text{población estatal}$$

Población estatal= es la cantidad de habitantes en cada uno de los estados de México en 2015, los datos se consultaron en el INEGI.

Los costos de transporte se estimaron a partir de la versión de prueba del Software GlobalMap “Rutas de Autotransporte Carreteras de México 2018”. Se calcularon para un transporte tipo T3-C2 que, de acuerdo con la NOM-012-SCT-2-2017, tiene una capacidad de 30 t (DOF, 2017). Por lo que las cantidades deficitarias o superavitarias empleadas en el modelo se presentan en unidades tráiler.

Los estados origen ( $O_i$ ) fueron aquellos cuya producción fue mayor con respecto a su consumo, es decir, los que tuvieron un superávit, mientras que los estados destino ( $D_j$ ) fueron los que presentaron un déficit. Se tomaron como orígenes las ciudades más grandes cerca de la zona de producción de cada estado, mientras que para los destinos se emplearon las capitales estatales, considerando que el grueso de la actividad económica, en su mayoría, se concentra en éstas.

La variable X11 corresponde al origen “Chiapas” y destino “Aguascalientes”, la variable X12 pertenece al origen “Chiapas” y destino “Baja California”, ..., la variable X130 incumbe al origen “Chiapas” y destino “Zacatecas”. Por su parte, la variable que representa al origen “Tabasco” y destino “Aguascalientes” es X21, ..., y la del origen “Tabasco” y destino “Zacatecas” es X230.

Para la economía abierta se utilizaron dos orígenes ficticios: Jalisco y Yucatán, iniciando sus variables con X3 y X4, respectivamente.

### Modelo para una economía cerrada

#### Función objetivo

MIN

$$22282X_{11}+49509X_{12}+51168X_{13}+11251X_{14}+34585X_{15}+15348X_{16}+24842X_{17}+25499X_{18}+26931X_{19}+20120X_{110}+18263X_{111}+15362X_{112}+22842X_{113}+16381X_{114}+19493X_{115}+15934X_{116}+26495X_{117}+25739X_{118}+6757X_{119}+13456X_{120}+18042X_{121}+10104X_{122}+20197X_{123}+33333X_{124}+41904X_{125}+18344X_{126}+13872X_{127}+11987X_{128}+12903X_{129}+23480X_{130}+17745X_{21}+44647X_{22}+46554X_{23}+4691X_{24}+30061X_{25}+10486X_{26}+19980X_{27}+20965X_{28}+22068X_{29}+15586X_{210}+13726X_{211}+10502X_{212}+18303X_{213}+11518X_{214}+14923X_{215}+11071X_{216}+21633X_{217}+20880X_{218}+6648X_{219}+8591X_{220}+13500X_{221}+5783X_{222}+15660X_{223}+28796X_{224}+37046X_{225}+13809X_{226}+9010X_{227}+7129X_{228}+6346X_{229}+18946X_{230}$$

#### Restricciones de oferta

$$X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}+X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{110}+X_{111}+X_{112}+X_{113}+X_{114}+X_{115}+X_{116}+X_{117}+X_{118}+X_{119}+X_{120}+X_{121}+X_{122}+X_{123}+X_{124}+X_{125}+X_{126}+X_{127}+X_{128}+X_{129}+X_{130}=270$$

$$X_{21}+X_{22}+X_{23}+X_{24}+X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28}+X_{29}+X_{210}+X_{211}+X_{212}+X_{213}+X_{214}+X_{215}+X_{216}+X_{217}+X_{218}+X_{219}+X_{220}+X_{221}+X_{222}+X_{223}+X_{224}+X_{225}+X_{226}+X_{227}+X_{228}+X_{229}+X_{230}=578$$

#### Restricciones de demanda

$$X_{11}+X_{21} \leq 18$$

$$X_{12}+X_{22} \leq 47$$

$$X_{13}+X_{23} \leq 10$$

$$X_{14}+X_{24} \leq 12$$

$$X_{15}+X_{25} \leq 10$$

$$X_{16}+X_{26} \leq 74$$

$$X_{17}+X_{27} \leq 50$$

$$X_{18}+X_{28} \leq 128$$

$$X_{19}+X_{29} \leq 25$$

$$X_{110}+X_{210} \leq 83$$

$$X_{111}+X_{211} \leq 43$$

$$X_{112}+X_{212} \leq 40$$

$$X_{113}+X_{213} \leq 112$$

$$X_{114}+X_{214} \leq 231$$

$$X_{115}+X_{215} \leq 65$$

$$X_{116}+X_{216} \leq 27$$

$$X_{117}+X_{217} \leq 16$$

$$X_{118}+X_{218} \leq 73$$

$$X_{119}+X_{219} \leq 56$$

$$X_{120}+X_{220} \leq 88$$

$$X_{121}+X_{221} \leq 29$$

$$X_{122}+X_{222} \leq 21$$

$$X_{123}+X_{223} \leq 38$$

X124+X224<=42  
 X125+X225<=41  
 X126+X226<=49  
 X127+X227<=18  
 X128+X228<=116  
 X129+X229<=30  
 X130+X230<=22

Modelo para una economía abierta

Función objetivo

MIN

22282X11+49509X12+51168X13+11251X14+34585X15+15348X16+24842X17+25499X18+26931X19+20120X110+18263X111+15362X112+22842X113+16381X114+19493X115+15934X116+26495X117+25739X118+6757X119+13456X120+18042X121+10104X122+20197X123+33333X124+41904X125+18344X126+13872X127+11987X128+12903X129+23480X130+17745X21+44647X22+46554X23+4691X24+30061X25+10486X26+19980X27+20965X28+22068X29+15586X210+13726X211+10502X212+18303X213+11518X214+14923X215+11071X216+21633X217+20880X218+6648X219+8591X220+13500X221+5783X222+15660X223+28796X224+37046X225+13809X226+9010X227+7129X228+6346X229+18946X230+9530X31+31437X32+33336X33+24273X34+21846X35+9478X36+14564X37+3244X38+14153X39+7366X310+5352X311+9190X312+6766X313+8086X314+4436X315+9472X316+8424X317+15466X318+15561X319+11196X320+7824X321+25551X322+10491X323+15590X324+24161X325+13522X326+10828X327+12483X328+26412X329+10731X330+24749X41+51651X42+53553X43+2149X44+37065X45+17491X46+26984X47+27966X48+29073X49+22260X410+20405X411+17504X412+25307X413+18520X414+21602X415+18076X416+28637X417+27886X418+13652X419+15596X420+20179X421+4123X422+22664X423+35475X424+44046X425+20813X426+16017X427+14130X428+534X429+25947X430

Restricciones de oferta

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+X130=270

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+X230=578

X31+X41+X32+X42+X33+X43+X34+X44+X35+X45+X36+X46+X37+X47+X38+X48+X39+X49+X310+X410+X311+X411+X312+X412+X313+X413+X314+X414+X315+X415+X316+X416+X317+X417+X318+X418+X319+X419+X320+X420+X321+X421+X322+X422+X323+X423+X324+X424+X325+X425+X326+X426+X327+X427+X328+X428+X329+X429+X330+X430=766

Restricciones de demanda

X11+X21+X31+X41=18  
 X12+X22+X32+X42=47  
 X13+X23+X33+X43=10  
 X14+X24+X34+X44=12  
 X15+X25+X35+X45=10

$X_{16}+X_{26}+X_{36}+X_{46}=74$   
 $X_{17}+X_{27}+X_{37}+X_{47}=50$   
 $X_{18}+X_{28}+X_{38}+X_{48}=128$   
 $X_{19}+X_{29}+X_{39}+X_{49}=25$   
 $X_{110}+X_{210}+X_{310}+X_{410}=83$   
 $X_{111}+X_{211}+X_{311}+X_{411}=43$   
 $X_{112}+X_{212}+X_{312}+X_{412}=40$   
 $X_{113}+X_{213}+X_{313}+X_{413}=112$   
 $X_{114}+X_{214}+X_{314}+X_{414}=231$   
 $X_{115}+X_{215}+X_{315}+X_{415}=65$   
 $X_{116}+X_{216}+X_{316}+X_{416}=27$   
 $X_{117}+X_{217}+X_{317}+X_{417}=16$   
 $X_{118}+X_{218}+X_{318}+X_{418}=73$   
 $X_{119}+X_{219}+X_{319}+X_{419}=56$   
 $X_{120}+X_{220}+X_{320}+X_{420}=88$   
 $X_{121}+X_{221}+X_{321}+X_{421}=29$   
 $X_{122}+X_{222}+X_{322}+X_{422}=21$   
 $X_{123}+X_{223}+X_{323}+X_{423}=38$   
 $X_{124}+X_{224}+X_{324}+X_{424}=42$   
 $X_{125}+X_{225}+X_{325}+X_{425}=41$   
 $X_{126}+X_{226}+X_{326}+X_{426}=49$   
 $X_{127}+X_{227}+X_{327}+X_{427}=18$   
 $X_{128}+X_{228}+X_{328}+X_{428}=116$   
 $X_{129}+X_{229}+X_{329}+X_{429}=30$   
 $X_{130}+X_{230}+X_{330}+X_{430}=22$

Una vez planteada la función objetivo y las respectivas restricciones de oferta y de demanda para cada uno de los modelos, se procedió a resolverlos empleando el paquete Linear, Interactive and Discrete Optimizer (LINDO).

## Resultados y discusión

En 2015, la producción nacional de cacao en México fue de 28 006.59 t (SIAP, 2018), las exportaciones fueron de 133.83 t y las importaciones sumaron 23 521.37 t (SIAVI, 2018); por lo que el consumo aparente nacional fue de 51 394.13 t. La población total de México, en dicho año, fue de 119 938 472 habitantes (INEGI, 2018); por tanto, el consumo aparente per cápita de cacao en el país fue de 0.43 kg, este dato coincide con el presentado en el Atlas Agroalimentario 2016 del SIAP (SAGARPA, 2016).

Dado a que el cacao, en 2015, sólo se produjo en los estados de Tabasco, Chiapas y Guerrero, y en este último la producción no fue suficiente como para abastecer el consumo estatal de este cultivo, se plantean como estados oferentes nacionales únicamente a Tabasco y Chiapas, con un volumen de 17 363.57 y 7 143.91 t respectivamente, una vez cubierta su demanda interna. En el Cuadro 1 se observa el cálculo del déficit o superávit de cacao de cada estado en toneladas de producto, además se tiene una columna que se denominó equivalencia que hace referencia al número de

tráileres que oferta o demanda cada estado. La suma total de tráileres en excedente fue de 848, mientras que en déficit fueron 1 614 tráileres, por lo que fue necesario importar 766 tráileres para cumplir la propiedad de solución factible en programación.

**Cuadro 1. Clasificación de los estados (demandantes y oferentes).**

Clave	Estado	Producción (t)	Consumo (t)	Déficit (t)	Superávit (t)	Equivalencia (tráiler)
D1	Aguascalientes	0	563.93	563.93	-	18
D2	Baja California	0	1 435.02	1 435.02	-	47
D3	Baja California Sur	0	307.83	307.83	-	10
D4	Campeche	0	386.62	386.62	-	12
O1	Chiapas	9 387.43	1 269.1	-	8 118.33	270
D5	Chihuahua	0	306.42	306.42	-	10
D6	Ciudad de México	0	2 240.52	2 240.52	-	74
D7	Coahuila de Zaragoza	0	1 529.54	1 529.54	-	50
D8	Colima	0	3 850.25	3 850.25	-	128
D9	Durango	0	754.1	754.1	-	25
D10	Guanajuato	0	2 513.08	2 513.08	-	83
D11	Guerrero	225.71	1 517.85	1 292.14	-	43
D12	Hidalgo	0	1 226.79	1 226.79	-	40
D13	Jalisco	0	3 376.84	3 376.84	-	112
D14	México	0	6 952.65	6 952.65	-	231
D15	Michoacán	0	1 970.73	1 970.73	-	65
D16	Morelos	0	819.39	819.39	-	27
D17	Nayarit	0	509.35	509.35	-	16
D18	Nuevo León	0	2 199.06	2 199.06	-	73
D19	Oaxaca	0	1 703.86	1 703.86	-	56
D20	Puebla	0	2 649.58	2 649.58	-	88
D21	Querétaro	0	875.8	875.8	-	29
D22	Quintana Roo	0	645.24	645.24	-	21
D23	San Luis Potosí	0	1 167.15	1 167.15	-	38
D24	Sinaloa	0	1 275.7	1 275.7	-	42
D25	Sonora	0	1 231.69	1 231.69	-	41
O2	Tabasco	18 393.45	1 028.82	-	17 364.63	578
D26	Tamaulipas	0	1 479.85	1 479.85	-	49
D27	Tlaxcala	0	546.01	546.01	-	18
D28	Veracruz	0	3 482.81	3 482.81	-	116
D29	Yucatán	0	900.83	900.83	-	30
D30	Zacatecas	0	677.71	677.71	-	22

Elaboración con datos del SIAP e INEGI.

En condiciones de una economía cerrada, la producción y distribución deben ser eficientes para el país, pero ello no garantiza que sea consumido todo el producto, en ese caso existe un excedente de producción que puede ser sometido a un proceso agroindustrial para la obtención de subproductos; o bien, exportarlo mediante el comercio internacional (Ayllon *et al.*, 2015). En el

caso del cacao se tiene que la producción no abastece la demanda interna, por lo que, también se recurre al comercio internacional, pero en el sentido de adquirir en el extranjero la cantidad de producto necesaria para cubrir la demanda interna.

En el Cuadro 2 se presentan los costos de transporte de los dos orígenes nacionales, considerando el lugar de producción, y dos orígenes internacionales, considerando dos posibles puertos de entrada del cacao internacional.

**Cuadro 2. Costos de transporte de orígenes nacionales e internacionales.**

Clave	Tapachula, Chiapas O1 (\$)	Villahermosa, Tabasco O2 (\$)	Lázaro Cárdenas, Jalisco O3 (\$)	Puerto Progreso, Yucatán O4 (\$)
D1	22 282	17 745	9 530	24 749
D2	49 509	44 647	31 437	51 651
D3	51 168	46 554	33 336	53 553
D4	11 251	4 691	24 273	2 149
D5	34 585	30 061	21 846	37 065
D6	15 348	10 486	9 478	17 491
D7	24 842	19 980	14 564	26 984
D8	25 499	20 965	3 244	27 966
D9	26 931	22 068	14 153	29 073
D10	20 120	15 586	7 366	22 260
D11	18 263	13 726	5 352	20 405
D12	15 362	10 502	9 190	17 504
D13	22 842	18 303	6 766	25 307
D14	16 381	11 518	8 086	18 520
D15	19 493	14 923	4 436	21 602
D16	15 934	11 071	9 472	18 076
D17	26 495	21 633	8 424	28 637
D18	25 739	20 880	15 466	27 886
D19	6 757	6 648	15 561	13 652
D20	13 456	8 591	11 196	15 596
D21	18 042	13 500	7 824	20 179
D22	10 104	5 783	25 551	4 123
D23	20 197	15 660	10 491	22 664
D24	33 333	28 796	15 590	35 475
D25	41 904	37 046	24 161	44 046
D26	18 344	13 809	13 522	20 813
D27	13 872	9 010	10 828	16 017
D28	11 987	7 129	12 483	14 130
D29	12 903	6 346	26 412	534
D30	23 480	18 946	10 731	25 947

Elaboración con datos de GlobalMap.

La cantidad total de tráileres que se deben distribuir a nivel nacional para cubrir la demanda aparente de todos los estados es de 1 614; sin embargo, en el caso del análisis de una economía cerrada, la cantidad disponible de tráileres en México en 2015 fue de 848, por lo que existe un déficit de 766 tráileres (Cuadro 3). De acuerdo con los resultados de la programación realizada para disminuir los costos de transporte de cacao, considerando únicamente la producción nacional, el valor de la función objetivo es de \$9 500 068.00.

**Cuadro 3. Distribución de cacao bajo economía cerrada.**

Variable	Origen	Destino	Cantidad (tráiler)
X111	Chiapas	Guerrero	43
X115	Chiapas	Michoacán	14
X119	Chiapas	Oaxaca	56
X121	Chiapas	Querétaro	29
X122	Chiapas	Quintana Roo	21
X126	Chiapas	Tamaulipas	49
X128	Chiapas	Veracruz	58
X24	Tabasco	Campeche	12
X26	Tabasco	Ciudad de México	74
X212	Tabasco	Hidalgo	40
X214	Tabasco	Estado de México	231
X216	Tabasco	Morelos	27
X220	Tabasco	Puebla	88
X227	Tabasco	Tlaxcala	18
X228	Tabasco	Veracruz	58
X229	Tabasco	Yucatán	30
Total			848

Elaboración con base en los resultados del programa LINDO.

De acuerdo con los resultados de la programación realizada para disminuir los costos de transporte de cacao, considerando una economía abierta, el valor de la función objetivo es de \$18 123 640.00. En el Cuadro 4 se muestra cual sería la distribución óptima reduciendo los costos de transporte.

**Cuadro 4. Distribución de cacao bajo economía abierta.**

Variable	Origen	Destino	Cantidad (tráiler)	Variable	Origen	Destino	Cantidad (tráiler)
X119	Chiapas	Oaxaca	56	X32	Jalisco	Baja California	47
X121	Chiapas	Querétaro	29	X33	Jalisco	Baja California Sur	10
X122	Chiapas	Quintana Roo	21	X35	Jalisco	Chihuahua	10
X123	Chiapas	San Luis Potosí	38	X37	Jalisco	Coahuila de Zaragoza	50
X126	Chiapas	Tamaulipas	49	X38	Jalisco	Colima	128
X128	Chiapas	Veracruz	77	X39	Jalisco	Durango	25
X24	Tabasco	Campeche	12	X310	Jalisco	Guanajuato	83
X26	Tabasco	Ciudad de México	74	X311	Jalisco	Guerrero	43

Variable	Origen	Destino	Cantidad (tráiler)	Variable	Origen	Destino	Cantidad (tráiler)
X212	Tabasco	Hidalgo	40	X313	Jalisco	Jalisco	112
X214	Tabasco	Estado de México	231	X315	Jalisco	Michoacán	65
X216	Tabasco	Morelos	27	X317	Jalisco	Nayarit	16
X218	Tabasco	Nuevo León	49	X318	Jalisco	Nuevo León	24
X220	Tabasco	Puebla	88	X324	Jalisco	Sinaloa	42
X227	Tabasco	Tlaxcala	18	X325	Jalisco	Sonora	41
X228	Tabasco	Veracruz	39	X330	Jalisco	Zacatecas	22
X31	Jalisco	Aguascalientes	18	X429	Yucatán	Yucatán	30

Elaboración con base en los resultados del programa LINDO.

Los costos reducidos muestran todas las rutas que no fueron seleccionadas por el modelo en la solución óptima, cuyo valor es diferente de cero. La interpretación de estos valores indicó que al introducir estas rutas el valor de la función objetivo se incrementaría. Por ejemplo, transportar un tráiler con cacao de Chiapas a Aguascalientes (X11) elevaría el valor de la función objetivo en \$2 789.00 pesos, de igual forma, obligar al modelo a transportar un tráiler de cacao de Chiapas a Baja California (X12) elevaría el valor de la función objetivo en \$30 016.00 pesos.

## Conclusiones

La producción nacional de cacao en México en 2015 fue insuficiente para satisfacer el consumo interno por lo que se realizaron importaciones de este producto, el consumo aparente nacional fue de 51.3 miles de toneladas. Bajo el sistema de economía cerrada sólo se pudieron distribuir 848 tráileres, por lo que, minimizando los costos de transporte únicamente los estados del centro-sur del país podrían satisfacer completamente su demanda de este grano, mientras que Michoacán puede obtener 14 de los 65 tráileres que demanda. El costo óptimo del transporte con una economía cerrada fue de \$9.5 millones de pesos.

Para poder cubrir la demanda nacional de cacao se debe recurrir a los mercados extranjeros, por lo que el puerto de Lázaro Cárdenas, Jalisco, resultó ser una opción viable, mientras que el Puerto Progreso, Yucatán únicamente fue factible para abastecer la demanda de su estado y por tanto, no es opción viable para la importación de cacao. El costo óptimo del mercado con una economía abierta fue de \$18.1 millones de pesos.

Por último, se recomienda realizar el modelo de transporte considerando la demanda agroindustrial de este cultivo en cada estado puesto que, al ser un cultivo que forma parte de la cadena de producción del chocolate, la industria tiene gran peso en la demanda del mismo. Además, se puede correr un nuevo modelo considerando otros puertos en el Golfo de México.

## Literatura citada

- Adams, J. C. and Thielges, B. A. 2007. Research underway on guava timber improvement. *Louisiana Agriculture*. 20(32):14-15.
- Andrade, F. 2017. Saborea México cacao de importación. Periódico Reforma, México. Publicado el 06 de abril de 2017.

- Ayllón, B. J. C.; Omaña, S. J. M.; Sangerman, J. D. M.; Garza, B. L. E.; Quintero, R. J. M. y González, R. F. J. 2015. Modelo de transporte en México para la minimización de costos de distribución de tuna (*Opuntia* spp.) en fresco. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6(7):1615-1628.
- De Grammont, H. 2006. La nueva estructura ocupacional en los hogares rurales mexicanos: de la unidad económica campesina a la unidad familiar pluriactiva. Asociación Latinoamericana de Sociología Rural (ALASRU). Quito, Ecuador. 42 p.
- DOF. 2016. Diario Oficial de la Federación. Declaración general de protección de la denominación de origen “Cacao Grijalva”. <http://diariooficial.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=5449991&fecha=29/08/2016>.
- DOF. 2017. Diario Oficial de la Federación. NOM-012-SCT-2 2017. Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal. <http://www.dof.gob.mx/nota-detalle.php?codigo=5508944&fecha=26/12/2017>.
- Duch, G. J. 1998. Tipologías empíricas de productores agrícolas y tipos ideales en el estudio de la agricultura regional. *Revista de Geografía Agrícola.* 57(4):27-38.
- GlobalMap. 2018. Versión de prueba del software rutas de autotransporte. <http://globalmap.mx/>.
- Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. 2010. Introducción a la investigación de operaciones. Novena edición. McGraw Hill. México. 428-495 pp.
- INEGI. 2018. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Base de datos de la población de México por estado para el año 2015.
- Jaramillo, A. 2017. ¿Cómo se reparte la producción de cacao en México? Merca20. <https://www.merca20.com/como-se-reparte-la-produccion-de-cacao-en-mexico/>.
- Miranda, M. J. J. 2005. Gestión de proyectos: evaluación financiera económica social ambiental. Quinta edición. MM editores. Bogotá, Colombia. 92-94 pp.
- Nisao, O. 2007. Cacao. Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO). *Biodiversitas.* 72:1-5.
- Orozco, C. 2018. Producción de cacao en México. Salón chocolate y cacao. *Boletín-SC18-3.*
- Quintero, R. J. M.; Omaña, S. J. M. y Sangerman, J. D. M. 2016. Modelo de transporte para la distribución de guayaba (*Psidium guajava* L.) en México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7(6):1335-1346.
- SAGARPA. 2016. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Atlas Agroalimentario. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). México. Consultado en línea en <http://nube.siap.gob.mx/gobmx-publicaciones-siap/pag/2016/Atlas-Agroalimentario-2016>.
- Salas, T. J. y Hernández, S. L. Y. 2015. Cacao, una aportación de México al mundo. *Academia Mexicana de Ciencias. Ciencia.* 66(3):32-39.
- SIAP. 2018. Sistema de Información Agrícola y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.
- SIAVI. 2018. Sistema de Información Arancelaria Vía Internet. Estadísticas anuales. <http://www.economia-snci.gob.mx/>.
- Winston, W. L. 2005. Investigación de operaciones. Aplicaciones y algoritmos. Cuarta edición. Editorial Cengage Learning. Editores, SA. México. 360-560 pp.