



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS

MODELO DE TRANSPORTE DE MAÍZ BLANCO (*Zea Mays L.*)

EN MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

PRESENTA:

OCTAVIO TOXQUI TLACHINO



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

Chapingo, Estado de México

Noviembre 2013



MODELO DE TRANSPORTE DE MAÍZ BLANCO (*Zea mays L.*) EN MÉXICO

Tesis realizada por **Octavio Toxqui Tlachino** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

DIRECTOR:



Dr. Marcos Portillo Vázquez

ASESOR:



Dr. Ramón Valdivia Alcalá

ASESOR:



Dr. José Miguel Omaña Silvestre

LECTOR EXTERNO:



Dr. Teodoro Gómez Hernández

Universidad Autónoma Chapingo
Chapingo, México, Noviembre de 2013

AGRADECIMIENTOS

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

A la Universidad Autónoma Chapingo, la Coordinación General de Estudios de Posgrado y a la División de Ciencias Económico-Administrativas, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de Posgrado, al igual que a todos los profesores y personal administrativo que contribuyeron a mi formación.

A la Dirección de Bachilleratos Estatales y Preparatoria Abierta de la Secretaría de Educación Pública del Estado de Puebla, por otorgarme el apoyo e incentivarme a realizar estudios de posgrado.

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

Al Dr. Ramón Valdivia Alcalá, por su apoyo y observaciones a la presente tesis.

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

Al Dr. Teodoro Gómez Hernández, por sus aportaciones, asesoría, tiempo y empeño dedicado a la revisión de este trabajo.

Al Dr. Emilio Cerdá Tena por su asesoría y apoyo en la Universidad Complutense Madrid, España.

A la Directora y docentes del Bachillerato General Oficial “Benito Juárez García” de Santa Cruz Tejalpa, Tehuizingo, Pue., por su apoyo.

DEDICATORIA

A mis padres Sara Tlachino Torres y David Toxqui Mácuil, por su amor y comprensión.

A mis hermanas Elvia, Evangelina y Sara.

A mis amigos Oralia, Erasmo, Alfredo Razo y Carmen, Patricia González, Dr. Silvestre Toxtle.

A mis abuelos y tía donde se encuentren.

DATOS BIOGRÁFICOS

Octavio Toxqui Tlachino cursó la carrera de Ingeniero Industrial Mecánico en el Instituto Tecnológico de Puebla (ITP) de 1988 a 1992.

Realizó la Maestría en Ciencias en Economía del Desarrollo Rural en la Universidad Autónoma Chapingo de 1997 a 1999, y el Doctorado en Ciencias en Economía Agrícola en la misma Institución de 2009 a 2013.

Se ha desempeñado profesionalmente en la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, Delegación Federal del Trabajo en Puebla de 1993 a 1997.

A partir del 2006 se ha desempeñado como docente en la Dirección de Bachilleratos Estatales y Preparatoria Abierta de la Secretaría de Educación Pública del Estado de Puebla.

TABLA DE CONTENIDO

TABLA DE CONTENIDO	VI
INDICE DE CUADROS	VIII
INDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
I.- INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2.- JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	4
1.3.- OBJETIVOS	11
1.4.- HIPÓTESIS.....	12
1.5.- METODOLOGÍA	12
II. REVISIÓN DE LITERATURA	12
2.1.- MERCADO INTERNACIONAL DEL MAÍZ.....	12
2.2.- IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN MÉXICO	15
2.3.- ASPECTOS IMPORTANTES DE LA PRODUCCIÓN NACIONAL	16
2.3.1.- <i>Importaciones</i>	22
2.3.2.- <i>Comercialización</i>	22
2.3.3.- <i>Las políticas agropecuarias del maíz en México</i>	24
2.4.- OPTIMIZACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN	25
2.4.1.- <i>Economías Planificadas Centralmente</i>	25
2.4.2.- <i>Economía de mercado</i>	26
2.4.3.- <i>Estimación de la demanda</i>	28
2.4.4.- <i>Oferta</i>	32
2.4.5.- <i>Programación lineal</i>	33
2.4.6.- <i>El modelo de transporte</i>	37
2.4.7.- <i>Análisis de sensibilidad</i>	40
2.4.8.- <i>Estudios relacionados al modelo de transporte</i>	41
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1.- FORMULACIÓN DEL MODELO DE TRANSPORTE	44
3.2.- PROCESAMIENTO DEL MODELO DE MERCADO CERRADO	51
3.3.- MODELO DE MERCADO CERRADO 2010	54
3.4.- PROCESAMIENTO DEL MODELO DE MERCADO ABIERTO	61
3.5.- PROCESAMIENTO DEL MODELO CON LA PRODUCCIÓN POTENCIAL	63
3.6.- PROCESAMIENTO DEL MODELO POTENCIAL ABIERTO.....	66
3.7.- PROCESAMIENTO DEL MODELO DE MERCADO CERRADO 2010 MIXTO.....	68
3.8.- PROCESAMIENTO DEL MODELO ABIERTO MIXTO 2010.....	71
IV. CONCLUSIONES	73
V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	75

PÁGINAS ELECTRÓNICAS CONSULTADAS.....	78
ANEXO 1.....	79
ANEXO 2.....	87
ANEXO 3.....	93
MODELO DE TRANSPORTE DE MERCADO CERRADO 2009.....	93
MODELO DE TRANSPORTE DE MERCADO ABIERTO 2010	95
MODELO DE TRANSPORTE DE PRODUCCIÓN POTENCIAL 2000-2010 DE MERCADO CERRADO.....	97
MODELO DE TRANSPORTE DE PRODUCCIÓN POTENCIAL 2000-2010 DE MERCADO ABIERTO.....	99
APÉNDICE 1	102
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-012-SCT-2-2008	102

INDICE DE CUADROS

CUADRO 1. ESTADOS OFERENTES Y DEMANDANTES DE MAÍZ BLANCO EN 2010.....	46
CUADRO 2. MUNICIPIOS MÁS POBLADOS DEL PAÍS Y CENTRALES DE ABASTO.....	47
CUADRO 3. ESTADOS CON CANTIDAD DISPONIBLE DE MAÍZ EN 2009.	52
CUADRO 4. ESTADOS DEMANDANTES DE MAÍZ BLANCO EN 2009.....	52
CUADRO 5. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DEL MODELO CERRADO 2009.....	53
CUADRO 6. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DEL MODELO CERRADO 2010.....	59
CUADRO 7. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DEL MODELO DE MERCADO ABIERTO 2010.....	62
CUADRO 8. ESTADOS OFERENTES Y DEMANDANTES CON PRODUCCIÓN POTENCIAL.....	64
CUADRO 9. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DEL MODELO DE PRODUCCIÓN POTENCIAL CERRADO.	65
CUADRO 10. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DEL MODELO DE PRODUCCIÓN POTENCIAL ABIERTO.....	67
CUADRO 11. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DEL MODELO CERRADO 2010 MIXTO.	69
CUADRO 12. DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DEL MODELO DE MERCADO ABIERTO 2010 MIXTO.	71
ANEXO 1. CUADRO 1. PRODUCCIÓN DE MAÍZ CICLO O-I (TON)	80
ANEXO 1. CUADRO 2. PRODUCCIÓN DE MAÍZ CICLO P-V (TON)	81
ANEXO 1. CUADRO 3 PRODUCCIÓN TOTAL (TON)	82
ANEXO 1. CUADRO 4. SUPERFICIE SEMBRADA DE MAÍZ CICLO O-I (HA)	83
ANEXO 1. CUADRO 5. SUPERFICIE SEMBRADA DE MAÍZ CICLO P-V (HA).....	84
ANEXO 6. CUADRO 6. RENDIMIENTO POR HECTÁREA DE MAÍZ CICLO O-I (TON/HA).....	85
ANEXO 7. CUADRO 7. RENDIMIENTO POR HECTÁREA DE MAÍZ CICLO P-V (TON/HA)	86
ANEXO 2. CUADRO 1. COSTO DE TRANSPORTE POR VIAJE.	88
ANEXO 2. CUADRO 2. COSTO DE TRANSPORTE POR TONELADA.	89
ANEXO 2. CUADRO 3. NOMENCLATURA DE LAS VARIABLES DE DECISIÓN <i>XII</i>	90
ANEXO 2. CUADRO 4. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DISPONIBLE DE MAÍZ BLANCO POR ESTADO.....	91
ANEXO 2. CUADRO 5. CÁLCULO DE LA CANTIDAD DISPONIBLE DE MAÍZ CON LA PRODUCCIÓN POTENCIAL	92

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PRODUCCIÓN NACIONAL DE MAÍZ BLANCO POR CICLO AGRÍCOLA.....	17
FIGURA 2. SUPERFICIE SEMBRADA DE MAÍZ BLANCO POR CICLO AGRÍCOLA.....	18
FIGURA 3. IMPORTACIONES DE MAÍZ BLANCO, ORIGEN ESTADOS UNIDOS.	61
FIGURA 4. PRODUCCIÓN DE LOS PRINCIPALES ESTADOS PRODUCTORES DE MAÍZ BLANCO.	63
FIGURA 5. EXPORTACIONES DE MAÍZ BLANCO DE MÉXICO.	66

MODELO DE TRANSPORTE DE MAÍZ BLANCO (*Zea mays L.*) EN MÉXICO

TRANSPORT MODEL OF WHITE MAIZE (*Zea mays L.*) IN MEXICO

RESUMEN

El presente trabajo de investigación pretende mejorar la planeación en la distribución del maíz blanco en las diferentes entidades federativas de México. Se generó un procedimiento metodológico para la obtención de información y con ella formular un modelo de optimización de la distribución de maíz blanco que permita minimizar el costo de transporte.

La metodología utilizada fue la del modelo de transporte de programación lineal, con información de producción, consumo y costos de transporte de 2010.

Los resultados muestran rutas óptimas de distribución, identificando las entidades mejor ubicadas que abastecerán el grano, así como las demandantes. También en el último se mostró cuánto reduce el costo al distribuir con dos medios de transporte y cuantificar los viajes de tracto camión que se dejarían de mandar al utilizar el ferrocarril, lo que se podría traducir también en un ahorro de combustible y contaminación.

Palabras clave: planeación, optimización, modelo, costo de transporte.

ABSTRACT

This research aims to improve planning in the distribution of white maize in the different States of Mexico. For this it is necessary to generate a methodology to get information and use it to develop an optimization model of the distribution of white maize in Mexico, which minimizes the cost of transportation.

It was used the transport model of linear programming as a method, with production, consumption and transport cost of 2010.

The results show optimal distribution routes, identifying the best placed states to get the grain, as well the applicants. The last model showed how much the cost is reduced using two ways of transport and how many trips of truck would not be sent when a rail is used, which could be translated also in fuel and pollution savings.

Key words: planning, optimization, model, cost of transport.

I.- INTRODUCCIÓN

Cuando se estudia la programación lineal utilizando las técnicas para la resolución de problemas de optimización, los problemas planteados en los libros están diseñados de tal manera que los datos necesarios para formular los modelos están disponibles para resolverlos. En problemas cotidianos es complicado obtener la información para formular un modelo, dificultándose aún más por el poco tiempo que se tiene para obtener resultados y tomar decisiones.

En el presente documento se menciona la manera para calcular datos numéricos de oferta, demanda, costos unitarios de transporte, puntos de origen y de destino de un producto y el planteamiento de modelos de solución con diferencia entre cantidades demandadas y ofrecidas.

Los resultados de estos procedimientos permiten obtener información adicional al de transporte de costo mínimo, la identificación de los orígenes de producto mejor ubicados con respecto a los lugares de destino y otros datos que permiten diseñar medidas de intervención gubernamental para programar la producción y distribución del producto en años posteriores con la finalidad de desarrollar los modelos y obtener los resultados de forma oportuna no obstante la mucha información requerida.

En este trabajo se ilustra el procedimiento propuesto con el producto de maíz blanco, en la formulación de modelos de transporte aplicados a la planeación agrícola.

Una característica que tienen los productos agrícolas es que una vez que llega el momento de cosecha, éstos deben trasladarse a los centros de consumo en un periodo corto, porque de no ser así, pierden sus propiedades nutritivas, su calidad, o se incurre en costos de almacenamiento. También se decide a cuales mercados mandar esta producción para obtener el mejor precio. El efecto es el aumento en el precio pagado por los consumidores, ya que si se hace más largo el canal de comercialización entre el productor y el consumidor o si se almacena la producción se elevan los costos.

El transporte de productos agrícolas no es tan simple, ya que hay que cubrir ciertos requisitos para embarcarlos, de esta forma encontramos productos que pueden trasladarse a granel, aquellos que deben ir en empaque especial ó en cámara frigorífica para que lleguen a su destino en óptimas condiciones.

El documento está organizado como sigue, el capítulo uno trata de los aspectos relevantes de maíz como su cultivo, el mercado internacional, el mercado nacional, importaciones, comercialización así como las políticas de apoyo brindados a los productores. La distribución de recursos escasos, la programación lineal y el modelo de transporte están descritos en el capítulo dos del marco teórico. La metodología para la obtención de los datos para formular el modelo de transporte es descrita en el capítulo tres y en capítulo cuatro se presentan las conclusiones.

1.1.- Planteamiento del Problema

La producción agrícola es el resultado de decisiones individuales de los productores y varía tanto en superficie como en ubicación. En algunos casos se lleva a cabo sin tener una planeación tanto de la cantidad, como de la ubicación para producir debido a la falta de información y el desconocimiento del mercado. Como resultado de esta actividad no planeada se obtienen cantidades de producto que difieren de la cantidad demandada por los consumidores, generándose por lo tanto excedentes ó déficit que constituyen un problema que debe atenderse para ajustar las cantidades a un equilibrio de mercado.

Cuando el proceso de producción concluye, hay que mover los productos de los centros productores a los consumidores, para esto se necesita contar con un sistema de transporte. Así los productos terminados, materias primas e insumos son abastecidos entre las empresas y clientes que se encuentran dispersos geográficamente. Esta actividad agrega valor a los productos transportados cuando son entregados a tiempo, sin daños y en las cantidades requeridas.

El transporte es uno de los puntos clave en la satisfacción del cliente, sin embargo es uno de los costos más elevados y constituye una proporción importante de los precios de los productos. La demanda y los costos de

transporte juegan un papel determinante en el precio final de los bienes, se ha observado que el movimiento de carga equivale a de una a dos terceras partes de los costos totales de logística (Bermeo y Calderón, 2009: p. 54).

Es importante mencionar que entre los diferentes modos de transporte de carga, la movilización por carretera se ha incrementado. Debido a lo anterior, debe optimizarse este proceso minimizando costos de transporte.

Se han desarrollado herramientas para la optimización de asignación de recursos escasos, como la programación lineal, que a través de estructuras especiales como la de transporte, trata de dar solución a problemas reales de distribución de productos al mínimo costo.

En la planeación del transporte, con frecuencia, se opta por un programa que reduzca estos costos. Estos embarques no pueden exceder las capacidades disponibles o suministros de las unidades de producción y además deben satisfacer la demanda de los clientes. Para ello es necesario identificar datos del problema, para determinar mejor el programa (Mathur y Solow, 1996: p. 19), como:

1. Demandas de los consumidores
2. Capacidades de las unidades de producción
3. Costos de transporte desde cada planta hasta los consumidores.

El presente trabajo describe una opción para determinar la oferta y demanda de maíz blanco, para utilizarlos en la formulación de modelos de transporte y aplicarlos en la planeación agrícola.

1.2.- Justificación e importancia

El maíz blanco es un grano básico en México debido a que la mayor parte de la producción nacional es para consumo humano, su importancia va más allá de su contribución a la dieta y a la economía familiar, este representa nuestras tradiciones y costumbres que conforman la cultura que nos identifica como nación. Aunque se cultiva en la mayoría de las entidades federativas de la república mexicana no todas son capaces de cubrir la cantidad que consumen, son pocas las que además de satisfacer la demanda interna tienen producción

excedente, en este caso, la producción se concentra en los estados de Jalisco, México, Michoacán, Chiapas y Puebla en el ciclo primavera-verano y Sinaloa, Sonora y Chihuahua en el ciclo otoño-invierno; en consecuencia para abastecer la demanda de las entidades federativas que no producen suficiente, hay que transportar el grano, lo que incrementa su precio final.

El precio que paga el consumidor es alto con respecto al precio que se da a los productores de un bien, a pesar de que no lleve ninguna transformación. La diferencia en precio se atribuye en gran medida a los altos costos de transporte para llevar el grano de las zonas productoras a las zonas consumidoras. Las ineficiencias espaciales se presentan por falta de planeación en la distribución de la producción interna. En el 2007 de acuerdo a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación a través del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SAGARPA-SIAP), los productores de maíz participaron en promedio con el 37% en la formación del precio, los intermediarios con 47% y los minoristas con el 16%.

En México se da incluso el fenómeno de que cultivos producidos en provincia son enviados a la Central de Abasto de la Ciudad de México, Distrito Federal (D.F) y de ahí regresan a los mercados locales de las zonas donde se produjeron. Aproximadamente el 35% de todas las frutas y hortalizas comercializadas en México pasan como turistas por la Central de Abasto del D.F. Este fenómeno hace dudar de la eficiencia de la comercialización en México. Sin embargo, las zonas productoras no son importantes como consumidoras y por eso, regresan a ellas sólo pequeñas cantidades (Schwentenius y Gómez, 2004: p. 17).

En 1994 entró en operación el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN). Este acuerdo comercial implicaba la liberalización externa del mercado de maíz y por lo tanto, un cambio en las políticas aplicadas hasta entonces. Así, además de eliminar los precios de garantía, se retiraron otros subsidios indirectos que durante décadas se habían brindado a los productores nacionales. Asimismo estaba previsto el fin de la intervención del Estado en el mercado de granos, misma que se había ejercido por medio de Conasupo.

Entre las nuevas políticas dirigidas al maíz destaca Procampo, programa de subsidios pagados directamente a los productores. El programa de diesel agropecuario no se dirige específicamente para el maíz, pero varios productores lo solicitan para las labores de producción. El Proyecto Estratégico de Apoyo a la Cadena Productiva de los Productores de Maíz y Frijol (Promaf), que maneja el Fideicomiso de Riesgo Compartido (Firco) que consiste en créditos para apoyar a los productores de maíz y mejorar la cadena de comercialización (Maximiliano-Martínez *et al.*, 2011: pp. 13-15).

Por lo anterior las dependencias de gobierno a menudo deben tomar decisiones para apoyar la producción de productos agrícolas, y deben seleccionar si la ayuda debe ser a los productores o a los consumidores para que impacte de la mejor manera. Aunado a esto, el tiempo para tomar decisiones en muchas ocasiones es muy corto, por lo que este trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar un procedimiento para la obtención de información que proporcione una estimación válida y oportuna.

De los muchos problemas que enfrenta un país en su producción está el determinar el mejor plan para distribuir los bienes, desde las unidades de producción hasta los mercados de distribución y consumo. Lo que implica que se debe desarrollar un plan de transporte (o un programa de distribución) en el que se establezca la cantidad de producto a enviar de las zonas productoras hasta los centros de consumo.

El transporte de personas y mercancías ha estado presente en la historia de las civilizaciones, primero como herramienta importante de supervivencia de los individuos y como factor de interacción social del afán aventurero del hombre y del intercambio comercial. Las rutas de viajes y comercio han modificado la dinámica social a su alrededor y más recientemente han hecho posible que las localidades poco a poco se conecten de manera mundial, formando una red global de comunicaciones y transportes. Comercialmente el transporte de bienes se enfrenta al reto geográfico (montañas, desiertos, selvas, cruce de ríos, navegación de océanos, etc.) para satisfacer necesidades que se presentan en lugares distintos y normalmente lejanos (Ruiz, 2007: p. 1).

El transporte es una variable derivada de otras necesidades principales, económicas o sociales. La movilidad de bienes y personas permite en gran medida el funcionamiento de las sociedades. Para el caso del movimiento de mercancías, los objetivos del transporte son: desarrollar el mercado interno y externo, cohesionar económica y socialmente al país, propiciar un desarrollo sostenible e incrementar la competitividad de las personas. (Ruiz, 2007: p. 2).

Modos, medios y servicios de transporte. El transporte marítimo de mercancías ha mantenido un papel preponderante en el comercio a lo largo de la historia de la humanidad y previsiblemente se mantendrá así por muchos años. Es el medio de transporte más económico y con las tecnologías actuales se ha hecho muy versátil.

El caso de México es singular pues a pesar de sus 10 mil kilómetros de litoral, es un país que sigue desplegando la mayor parte de su actividad económica en el altiplano. Hasta nos parece natural que el transporte de mercancías en grandes distancias dentro del país se haga en su mayoría por carretera (Ruiz, 2007: p. 47).

Hasta 1986 existía en México una política de promoción de la flota mexicana que iba acompañada de estímulos fiscales y subsidios a la marina mercante mexicana como los certificados de promoción fiscal, subsidios al precio del combustible, reducción en el pago de muellaje y derechos en otros servicios en la navegación de cabotaje con embarcaciones de bandera mexicana. Sin embargo gobiernos sucesivos desmantelaron este esquema, lo que llevó a la virtual desaparición de la flota nacional. La situación de la flota en el año 2007 es cercana a la inexistencia. La participación de buques con bandera mexicana en nuestro comercio marítimo de altura se ha ido reduciendo lo que genera una salida de divisas a través del pago de fletes a grandes compañías marítimas globales. En el caso de que surgiera un inversionista privado dispuesto a incursionar en el transporte marítimo y de que el gobierno mexicano tuviera como propósito fomentar una flota nacional sería necesario tomar acciones en las áreas fiscal, revisando los esquemas de depreciación de los activos, la aplicación del IVA al tráfico de cabotaje para las embarcaciones mexicanas que

no se aplica a los extranjeros, impuesto al activo que no es un asunto menor para el nivel de inversión que exige la adquisición de un buque; en el área operativa destaca el alto costo de los seguros que debe cubrir el armador mexicano comparado con los internacionales al no ser deducible un contrato en compañía extranjera, falta de créditos competitivos por parte de bancos mexicanos, además del elevado precio del diesel en México comparado con los Estados Unidos; en el área laboral se requiere de modificaciones a la Ley Federal del Trabajo que haga más flexible la contratación de tripulantes mexicanos eliminando prácticas sindicales, acompañada de una actualización de los planes de estudio en las escuelas náuticas mexicanas (Ruiz, 2007: pp. 61, 63).

El sistema ferroviario en México comenzó en el siglo XIX, en 1850 se construyó el tramo Veracruz-El Molino, en 1869 la vía que conecta México con Puebla y finalmente en 1872 se concreta la conexión México-Veracruz. Para 1880 la inversión privada, principalmente la extranjera, ya había desarrollado una red federal de más de mil kilómetros y para 1890 se habían iniciado y en su caso terminado los troncales más importantes del país. Con la creación de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas en 1898, y con los lineamientos establecidos por el Ministerio de Hacienda, da inicio una etapa de desarrollo más ordenada y bajo una óptica general, que previera la relación coordinadora entre las empresas inversionistas del sector y el principio de libre competencia entre ferrocarriles. Diversas crisis afectaron la rentabilidad de la empresa, lo que llevó al gobierno mexicano a construir en 1908 la empresa Ferrocarriles Nacionales de México (FNM), obteniendo el control de la operación ferroviaria con el propósito de operar un sistema de 10 mil kilómetros que la autoridad consideraba estratégico de los más de 15 mil construidos (Ruiz, 2007: p. 141).

El ferrocarril tuvo un papel importante en la revolución mexicana, fueron utilizados durante los largos combates que se dieron por ambos bandos. Debido a problemas financieros, en 1925 el gobierno recurrió a la iniciativa privada, limitándola hasta en un 49%. En 1940 se crea el organismo descentralizado

FNM y en sucesivas acciones de construcción y control de diversos sistemas autónomos, llevó al gobierno federal en 1970 a completar la nacionalización del sistema y operado en forma unificada bajo FNM. A pesar de los intentos del gobierno por modernizar FNM, este organismo se encontró limitado por fuerzas fuera de su control. Su posibilidad de cambio, como empresa estatal, fue rebasada por los rápidos cambios de la economía y del mercado y problemas como altos costos del personal, por el excesivo número de empleados y reglas de trabajo que no contribuían a la eficiencia de la empresa; vías en rutas innecesarias, equipo anticuado y falta de inversión en mantenimiento; servicio de pasajeros subsidiado, como servicio social, en rutas financieras no justificadas; falta de cultura de servicio y cambios constantes en la gerencia con muy frecuente asignación de puestos con criterios políticos. La mejor opción para inyectar capital fresco y vencer los vicios acumulados, fue el concesionamiento del servicio. Después de un cuidadoso estudio, la decisión fue crear tres regiones integradas verticalmente, cada una responsable de comercializar, mantener la infraestructura y operar el servicio ferroviario de su área. Las tres regiones estarían interconectadas para servir a los principales centros del país, con derechos de paso obligatorios, permitiendo a un ferrocarril acceso a las vías de su competidor. Como resultado de este proceso el servicio ferroviario en México sufrió un cambio radical que ahora se caracteriza por un sistema compuesto por tres empresas troncales (Ferrocarril del Noreste, Ferrocarril Pacífico-Norte y del Sureste) y otras denominadas líneas cortas (Ruiz, 2007: pp. 142-144).

El punto de partida para todos los modos de transporte fue el México Prehispánico en donde todo lo que no se transportaba en canoas, se llevaba a cuestas en la espalda de los tamemes. Con la introducción de los animales de tiro por los españoles y con la aparición de las carretas se lograron avances muy importantes en materia de transportes.

En 1784 se concedieron los dos primeros permisos para establecer dos carreteras saliendo de México, una con destino a Veracruz y la otra a Guadalajara. En el siglo XIX el principal medio de transporte para pasajeros era

el carruaje cubriendo rutas con destino a Veracruz, vía Jalapa; Tepic, vía Zinapécuaro y otra con destino a Cuernavaca (Ruiz, 2007: p. 181).

Al inicio del siglo XIX se contaban con casi 500 kilómetros de carreteras transitables, si bien para 1925 ya circulaban en nuestro país más de 43 mil vehículos de motor, el ferrocarril era por mucho el medio más importante de transporte de mercancías y de personas. Con la construcción de las primeras armadoras como Ford Motor Company en 1925, General Motors México en 1935, se impulsa el transporte público. En 1937 se funda Fábrica Automex, S.A. con capital nacional, cuyo objetivo fue el de apoyar la formación de distribuidores locales, así como ensamblar automóviles y camiones Chrysler, Plymouth, Dodge y De Soto. La empresa Diesel Nacional, S.A. surge a mediados de 1951 como una sociedad mixta de participación mayoritaria estatal e inversión de capital privado mexicano e italiano aportado por la compañía Fiat. Otra empresa que contribuyó en el desarrollo de la industria fue el Grupo Industrial Ramírez, a finales de 1978, dedicada a la fabricación de remolques y más tarde incorpora los tracto camiones marca Ramírez y el Ómnibus Sultana. Finalmente, la etapa más fructífera de la industria automotriz, en el transporte de carga, surge cuando las empresas armadoras extranjeras introdujeron en el mercado nacional las marcas Freightliner, International, Kenworth, Mercedes-Benz, Scania y Volvo (Ruíz, 2007: pp.181, 182).

En 1950 se construyó el primer tramo carretero de altas especificaciones entre Amacuzac e Iguala; el de México a Cuernavaca en 1952; México a Palmillas en 1958 y México a Puebla en 1962.

En las últimas décadas el autotransporte mantiene su posición dominante en el mercado de fletes de nuestro país, a pesar de los esfuerzos de modernización del transporte ferroviario. En 1980 se movieron 351 millones de toneladas de mercancías dentro del territorio nacional, de ellas el 72% lo hicieron por vía carretera, mientras que casi el 20% lo hizo por ferrocarril. Para el 2004, el deterioro del servicio ferroviario, llevó al autotransporte a mover el 83.7% de los 509 millones de toneladas movidos vía terrestre ese año, dejándole al ferrocarril el 16% de dicho volumen. En el mismo periodo se transportaron 255 millones

de toneladas vía marítima y 0.1 millones de toneladas vía aérea, lo que hace un total de 764.2 millones de toneladas de mercancías. El tráfico marítimo ha participado durante los últimos veinte años con un promedio del 31% y el aéreo con un promedio del 0.01% (Ruíz, 2007: p. 183).

Existen condiciones y características del autotransporte que lo mantendrán como una primera opción. Por ejemplo, el impulso a la infraestructura carretera en los últimos años que coincide con la expansión acelerada de los servicios del autotransporte; las condiciones de las carreteras, aún cuando carecen de un adecuado mantenimiento en general, representan una red de más de 10000 km de caminos de altas especificaciones; la distancia entre centros productivos y de consumo dentro de nuestro territorio en general se mueve a mil kilómetros; la formulación de hábitos comerciales, donde el autotransporte resulta la opción más cómoda, aunque no necesariamente la mejor (Ruiz, 2007: p.184)

1.3.- Objetivos

- 1.- Desarrollar un procedimiento metodológico para la obtención de información oportuna y confiable para formular un modelo de optimización de la distribución de maíz blanco en México, que permita minimizar el costo de transporte.
- 2.- Identificar las principales áreas productoras de maíz blanco en México, su volumen de producción, así como los sitios de consumo y el volumen demandado.
- 3.- Determinar la magnitud de la carencia o exceso de maíz blanco que se presenta en las entidades federativas.
- 4.- Investigar los costos de transporte de maíz blanco de cada uno de los orígenes a cada uno de los destinos.
- 5.- Formular un modelo de distribución del producto de mínimo costo de transporte, identificando qué cantidades de producto enviar de cada centro productor a cada centro de consumo.

1.4.- Hipótesis

1. La producción de maíz blanco en México se lleva a cabo en áreas distintas de donde se ubica su demanda, lo que implica costos de transportación, razón por lo que se incrementa el precio de venta al consumidor.
2. La distribución de la producción se realiza de manera deficiente, generando aumento en el precio final.
3. Se puede tener una mejor planeación en la producción y distribución nacional de maíz, identificando los lugares mejor ubicados para la producción de éste.

1.5.- Metodología

Se utilizó el modelo de transporte para determinar las rutas óptimas, en modelo de mercado cerrado, mercado abierto, producción potencial de mercado cerrado y producción potencial de mercado abierto. Se incluyen también los modelos con dos medios de transporte (tracto camión y ferrocarril) para mercado cerrado y abierto.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- Mercado internacional del maíz

La oferta mundial de maíz blanco es relativamente baja y no se registran excedentes significativos. Entre 1997 y el ciclo 2003/2004, la producción mundial ha promediado aproximadamente 73 millones de toneladas (MT), que significa un volumen relativamente bajo comparado con los más de 600 millones de toneladas que se producen anualmente de maíz amarillo. El maíz blanco se cultiva casi exclusivamente para el consumo humano y tiene un valor significativo de nutrición y seguridad alimentaria en diversos países. El volumen comercializado en el mercado mundial supera los 2 millones de toneladas métricas al año, ya que la mayor parte se consume internamente en los países productores (CEFP, 2004: p.1).

La producción mundial de maíz en el ciclo 2007/2008 se estima en 779.8 MT, el mayor productor de maíz en el mundo es Estados Unidos con 332.1 MT; le

siguen China con 145 MT; Brasil con 56 MT; la Unión Europea con 48.4 MT; México con 22.5 MT. En los Estados Unidos el rendimiento por hectárea ha aumentado debido a la investigación de nuevas variedades (CEFP, 2008: p. 16).

En el mercado mundial se comercializaron 97.7 millones de toneladas en el 2007, esto es, 12.5% del maíz producido. Estados Unidos representa el 56% del mercado, Argentina y Brasil 30%. Esto implica que el mercado mundial del maíz está concentrado en pocos países exportadores y un solo productor puede desequilibrarlo. En contraparte, los principales importadores de maíz en ese mismo año fueron: Japón, México, Corea del Sur, la Unión Europea, Taiwán, Egipto, Colombia e Irán. Estados Unidos consume el 80.4% de su producción y solo exporta el 8.1%.

El área cosechada de maíz se ha incrementado notablemente en los últimos tres años, básicamente en los estados Unidos, a costa de otros cultivos como el algodón y la soya.

Los efectos de la política de producción de etanol en Estados Unidos, generaron mayores precios del maíz, dados los bajos inventarios y la necesidad de incrementar la superficie cosechada, hay efectos sobre otros cultivos como el algodón y la soya, cuyas superficies cosechadas disminuirán en el largo plazo. Dados los bajos inventarios, un evento climatológico puede generar mayor volatilidad en los precios (CEFP, 2008: pp. 17-18).

Es importante señalar que México es el principal productor mundial de maíz blanco, y que los grandes volúmenes que se importan corresponden a maíz amarillo.

Tendencia de los precios. La tendencia de largo plazo en los precios de los alimentos, desde los años cincuenta era la disminución paulatina de los precios de los productos básicos, ésta se revirtió a partir del año 2006 y la primera alarma ocurrió con el precio del trigo, a principios de 2007, le siguió el maíz, la carne, los lácteos, la soya, los aceites vegetales. La volatilidad en los precios internacionales de los alimentos comúnmente se asocia con choques temporales, como sequías, inundaciones, plagas o bajas reservas; pero en este

caso se han identificado cambios estructurales derivados de las políticas aplicadas en el pasado para reducir los excedentes; la producción de biocombustibles en Estados Unidos y en la Unión Europea como respuesta al alza sostenida del precio del petróleo y sus derivados; otros factores coadyuvantes identificados son el cambio per cápita por el aumento del ingreso en China e India, el incremento en el costo de producción de los fertilizantes; la presión sobre los recursos naturales, el agua y la tierra en particular, y la especulación financiera en los mercados de futuros de alimentos, derivada de la debilidad del dólar (CEFP, 2008: p. 6).

Además, la disminución de precios en el largo plazo se asoció al aumento de la productividad y el ritmo de crecimiento de la oferta superior al incremento en la demanda (revolución verde); provocando con ello que los países productores acumularan grandes inventarios, mismos que requirieron para su manejo de controles de producción y promoción de las exportaciones, a través de subsidios selectivos. Por otro lado, la volatilidad es un reflejo del impacto sobre la oferta de algunos factores exógenos, principalmente de índole climatológica. A estas tendencias se suman las distorsiones en los mercados: tarifas y subsidios, así como el poder de mercado de las empresas multinacionales, que afectan a los productores y países importadores (CEFP, 2008: p. 7).

El mercado de los alimentos se caracteriza porque la oferta es inelástica a corto plazo; debido a la naturaleza de los bienes y los procesos de producción, los productores no pueden ajustar su oferta rápidamente ante variaciones en el precio. Por el lado de la demanda, también se observa una rigidez, dado que los consumidores consideran que los alimentos son necesidades que deben satisfacerse, independientemente de su precio. Estas rigideces hacen que los precios se muevan en ciclos de largo plazo originados por las divergencias entre la oferta y la demanda (CEFP, 2008: p. 7).

A finales de los años 90 los precios de los productos básicos se colapsaron, en relación con los niveles de las últimas dos décadas, lo que llevó al establecimiento de mecanismos para tratar de asegurar los precios y manejar el riesgo derivado de la volatilidad: futuros y coberturas, entre otros.

La bursatilización de los productos básicos ha añadido un elemento de volatilidad a los precios, por la especulación inherente a los mercados financieros.

Al final, estos incrementos en precios necesariamente se transmitirán a los consumidores, quienes enfrentarán una inflación superior a la inflación general estimada. Esto ha llevado al establecimiento del término “agflation” para referirse a la inflación derivada del incremento en los precios de los productos agrícolas (CEFP, 2008: pp. 8-10).

El maíz de acuerdo a su variedad se emplea para consumo humano y como alimento para ganado; a través del proceso de molienda se obtienen varios productos: almidón o fécula de maíz, endulzantes, gluten feed y harina de gluten, aceite, y a partir de procesos industriales más complejos se produce un plástico de fibra de PLA y etanol. Precisamente, la política sobre producción y empleo de etanol en los Estados Unidos ha cambiado radicalmente el panorama del maíz en los últimos tres años.

Con relación a la ganadería, dentro del consumo interno, el maíz se emplea fundamentalmente para alimentar al ganado, por lo que la competencia en el empleo del maíz para producir etanol reducirá la oferta disponible para el ganado, proyectando una disminución en la producción de carne roja, efecto que podría amortiguarse con el empleo de granos destilados, en cambio los pollos y cerdos, no pueden alimentarse de estos productos de etanol y su producción decrecerá. El efecto neto esperado es un aumento de precios de las carnes rojas, pollo, leche y huevos.

2.2.- Importancia del maíz en México

El maíz es una planta gramínea originaria de América, que se extendió por todo el mundo (SIAP, 2007: p.15). Es un cultivo muy remoto de unos 7000 años de antigüedad, de origen indio que se cultivaba por las zonas de México y América central. Hoy día su cultivo está muy difundido, en especial en toda Europa donde ocupa una posición muy elevada. Estados Unidos es otro de los países que destaca por su alta concentración en el cultivo de maíz. Su origen no está

muy claro pero se considera que pertenece a un cultivo de la zona de México, pues sus hallazgos más antiguos se encontraron allí (Infoagro).

Usos. El Maíz Grano Blanco se utiliza principalmente para la elaboración de las tradicionales tortillas y tamales, pero también se puede obtener aceite o en la fabricación de barnices, pinturas, cauchos artificiales y jabones. El Maíz Grano Amarillo también se puede utilizar para consumo humano en una amplia variedad de platillos, sin embargo, en la actualidad se tiene como destino el consumo pecuario en la alimentación del ganado y en la producción de almidones (SIAP).

Composición. El maíz contiene casi todos los nutrimentos necesarios para la alimentación del ser humano, su concentración cambia según la variedad, las condiciones ambientales y de manejo presentadas durante su desarrollo; en México se producen una gran variedad de tipos de maíz los cuales tienen una composición promedio del 70% de hidratos de carbono, 8% de proteínas, 4% de minerales, 4% de lípidos, 3% de celulosa. Con el consumo de maíz la población mexicana satisface entre un 60 y 75 % de sus necesidades energéticas, un 60% de las proteínas y 87% de calcio total cuando se consume en forma de tortilla. Las tortillas suministran el 70% de las calorías y el 50% de las proteínas que se consumen en la dieta diaria y suministra el 37% del calcio requerido por los adultos. El maíz como todos los cereales presenta deficiencia en los aminoácidos esenciales lisina y triptofano, vitaminas del complejo B y niacina que previene la pelagra y que es sintetizada a partir del triptofano. La nixtamalización implica un tratamiento selectivo de las proteínas del maíz que incrementa el balance de aminoácidos esenciales y libera niacina que de otra manera permanece no disponible (Yañez, 2005: p.19).

2.3.- Aspectos importantes de la producción nacional

El maíz es el cultivo agrícola más importante en México, desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. Este grano se produce en dos ciclos productivos: primavera-verano y otoño-invierno, bajo las más diversas

condiciones agroclimáticas. Durante el periodo 1999-2006 ocupó el 51% de la superficie sembrada y cosechada total en promedio anual.

En México se producen diversas variedades, pero la más importante es la del maíz blanco, cuya participación en la producción total de maíz fue del 94% promedio en el bienio 2004-2005. En tanto que la participación del maíz amarillo significó el 6% en promedio durante el período de referencia (SIAP, 2007: p. 11).

El cultivo de maíz en México se caracteriza por la producción de una amplia gama de variedades, aunque las más importantes son el maíz blanco y el amarillo o forrajero. Por su alto contenido nutricional, el maíz blanco se produce para el consumo humano, en tanto que el maíz amarillo se destina al procesamiento industrial y a la alimentación animal.

Los principales estados productores de maíz blanco son: Sinaloa, que aporta el 23% del total; Jalisco, 13%; Michoacán, Chiapas y Guerrero contribuyen con el 7% cada uno. También el estado de México, y Guanajuato con el 6% cada uno; Veracruz y Puebla.

En cuanto a la producción de maíz amarillo, cuatro entidades contribuyeron con el 94% de la producción total: Chihuahua, 35%; Jalisco, 25%; Tamaulipas, 21% y Chiapas, 13%.

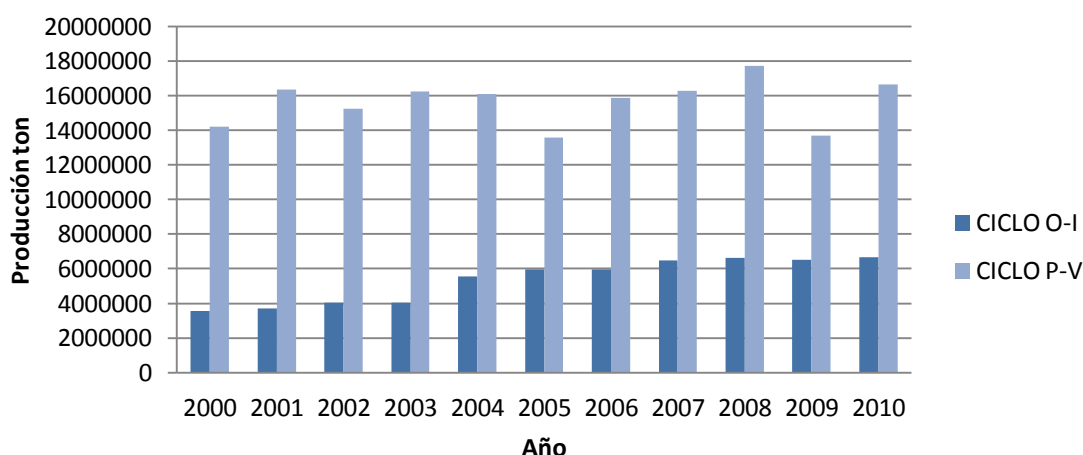


Figura 1. Producción nacional de maíz blanco por ciclo agrícola

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA-SIAP.

La superficie sembrada promedio anual de 1999-2006 fue equivalente a 8.4 millones de hectáreas, de las cuales el 88% corresponden al ciclo Primavera-Verano, es decir 7.4 millones de hectáreas promedio anual y el 12% al ciclo Otoño-Invierno, 1 millón de hectáreas promedio anual.

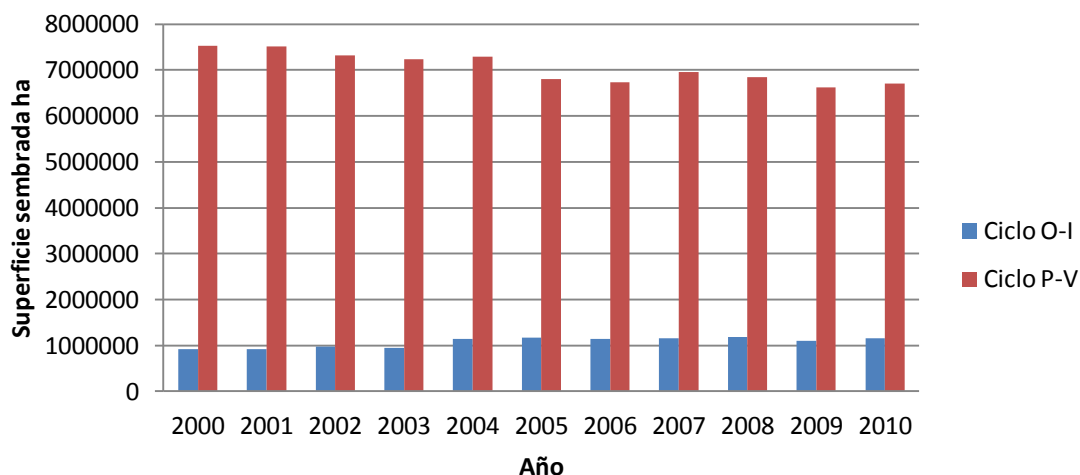


Figura 2. Superficie sembrada de maíz blanco por ciclo agrícola

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA-SIAP.

En la producción del ciclo Primavera-Verano, la participación a nivel estatal es amplia. Sin embargo los estados de mayor importancia son Jalisco, Estado de México, Chiapas y Michoacán, ya que en conjunto aportan el 49% de este ciclo. En el ciclo Otoño-Invierno los estados con mayor concentración son Sinaloa, con 31%, seguido de Veracruz con 20% de la superficie total sembrada.

Ante la eliminación de los precios de garantía, en 1994 se estableció la fijación de precios mediante la política de precios de concertación y posteriormente, en 1996 ésta dio un giro hacia el establecimiento de la política de precios de indiferencia, mediante la cual los productores venden a los industriales con base en los precios internacionales y el gobierno federal, a través de ASERCA, paga la diferencia respecto del precio objetivo, que se equipara a un precio internacional de maíz de la variedad amarillo No. 2, que en Estados Unidos tiene un precio menor en 20% con respecto a las variedades blancas (SIAP, 2007: p.10). El precio de indiferencia del maíz blanco es el del maíz amarillo más un sobrepeso de 13% de dicho valor por tonelada.

México es el cuarto productor de maíz en el mundo, y también es un importante consumidor. Aunque se cubre prácticamente la totalidad de la demanda del maíz blanco con la producción nacional, el país es deficitario en maíz amarillo, específicamente en el grano amarillo No. 2. Durante el periodo 1996-2006, las importaciones de maíz representaron en promedio, el 39% de la producción nacional. En 2006 las importaciones fueron equivalentes a 7.53 millones de toneladas de maíz amarillo y blanco, 97 y 3% respectivamente, siendo el principal proveedor Estados Unidos.

La producción generada en el ciclo Primavera-Verano representa el 78.5% del total, mientras que en ciclo Otoño-Invierno se produce el 21.5% restante. Por lo que toca al rubro de modalidad hídrica, el 64% se produce bajo condiciones de temporal y el 36% en superficie irrigada.

El rendimiento ponderado promedio a nivel nacional en el periodo de referencia fue equivalente a 2.56 ton/ha. En Sinaloa se obtienen los rendimientos más altos a nivel nacional, lo cual se explica por la calidad de su suelo, así como por el uso intensivo del capital, es decir, utilización de maquinaria y equipo, además de asistencia técnica y semillas altamente productivas (SIAP, 2007: p. 33).

Desde hace varios años el mercado de maíz en México ha sido deficitario, por lo que se ha tenido que incrementar su importación, particularmente de Estados Unidos. Hasta hace dos ciclos agrícolas, la producción de maíz blanco se destinaba al consumo humano, pero por el crecimiento del consumo pecuario, en el 2006 se destinó al consumo animal más de un millón de toneladas de esta variedad (CEFP, 2007: p. 7).

La mayor importación de maíz es resultado de los bajos niveles de producción, ya que este cultivo se ha visto afectado no sólo por la apertura comercial derivada del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), sino también por factores estructurales internos como la falta de acceso al crédito por parte de los productores de este cultivo, la limitada infraestructura de riego para elevar los rendimientos, la concentración del mercado en muy pocas empresas privadas y los limitados subsidios que otorga el gobierno a este

sector comparado con los que se otorgan a los productores de otros países (CEFP, 2007: p. 7).

Desde finales de la década de los ochenta, México es ya un importador neto de maíz, desde entonces las importaciones han observado una tendencia creciente, particularmente la originaria de Estados Unidos. Las importaciones de maíz de México provenientes de Estados Unidos se rigen desde 1994, por el sistema de cupos y el arancel-cuota de importación por sobre-cupo de acuerdo a lo previsto en el TLCAN (CEFP, 2007: p. 9).

Con el propósito de proteger a los bienes agropecuarios más sensibles a las importaciones, México negoció con sus socios comerciales de América del Norte el establecimiento de aranceles-cuota para los principales productos agrícolas para cada país, para los cuales se estableció un régimen de importación libre de arancel hasta cubrir determinada cuota, que una vez que se hubiera rebasado se aplicaría el cobro de elevados aranceles para frenar su importación; para el caso de México dichos aranceles se irían desgravando gradualmente en un plazo de 15 años hasta su eliminación definitiva. Desde la entrada en vigor del TLCAN el 1 de Enero de 1994, el arancel cuota de importación del maíz (Fracción arancelaria 1005.90.99) se ha reducido de 206.4 % ad-valorem en 1994 a su desgravación a partir del 1 de Enero de 2008, permitiendo importar libremente maíz de Estados Unidos sin límite de cuota (CEFP, 2007: p. 9).

La cuota de importación se ha venido incrementando de un máximo autorizado de 2.5 millones de toneladas en 1994 a 3.6 millones de toneladas en 2006, sin embargo, como no se han cumplido las metas de producción interna que se habían establecido desde la entrada en vigor del TLCAN, las importaciones de maíz originarias de Estados Unidos han rebasado la cuota establecida. A partir de 1994 y hasta el 2006 el total de las importaciones de maíz (blanco y amarillo) originario de Estados Unidos ascendió a 58 millones 635 mil toneladas, mientras que el total de la cuota de importación permitida para ese periodo fue de 39 millones 44 mil toneladas, lo que significa que hubo en éste un sobrecupo de importación por 20 millones 119 mil toneladas con un valor de 2 mil 876

millones de dólares; por ese sobrecupo Estados Unidos debió haber pagado aranceles cuota por 3 mil 354 millones de dólares (CEFP, 2007: p. 9).

A principio de 2007 se agudiza el problema del mercado de maíz en México, provocada en parte por una caída en la producción interna y por otra, disminuyen las importaciones, lo que, además del acaparamiento del producto en muy pocas empresas (Maseca, Cargill y Minsa), generó presiones en los precios del producto que se reflejó en el precio final de la cadena, la tortilla (CEFP, 2007: p. 9)

Durante los primeros días del mes de Enero de 2007 se registró una escalada en el precio de la tortilla, resultado del incremento en el precio del maíz, originado a su vez, por un exceso de demanda en el mercado internacional. El incremento de la demanda de maíz ha impactado en el precio de la tortilla en México, aunque este efecto ha sido inelástico. De acuerdo con estimaciones de la Dirección de Análisis Económico del FIRA, la Elasticidad de Transmisión de Precios (ETP) entre el maíz y la tortilla es de 0.48. Lo que significa que ante un incremento de un punto porcentual en el precio del maíz, el de la tortilla aumenta 0.48%. Sin embargo, ante una reducción en el precio del maíz, el impacto es aún más inelástico. Es decir, si el precio del grano baja 1%, el de la tortilla se reduce en sólo 0.21% (CEFP, 2007: p. 11).

El precio de la tortilla llegó a alcanzar hasta 15 pesos por kilogramo en la primera quincena del mes de Enero de 2007. Para revertir esta tendencia alcista en el precio de la tortilla y ante la escasez de maíz, el gobierno federal abrió los cupos de importación de maíz blanco para garantizar el abasto a las industrias harineras y molinera de nixtamal.

Ante el desabasto de maíz blanco detectado a finales de 2006, la Secretaría de Economía decidió adelantar la apertura de la ventanilla para el otorgamiento de cupos de importación de maíz blanco negociados en el marco del TLCAN, de conformidad con lo dispuesto en el Artículo décimo transitorio de la Ley de Ingresos de la Federación para el ejercicio Fiscal 2007, que establece disposiciones en materia de importación, producción y comercialización de maíz blanco, mismas que condicionan la asignación de cupos mínimos de maíz

blanco a las áreas periféricas de las cosechas, como los estados de Baja California, Coahuila, Chihuahua, Nuevo León, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán y Chiapas. Se autorizó aumentar el cupo de importación de maíz blanco de 650 a 750 mil toneladas libres de arancel ya que la mayor oferta de maíz blanco contribuirá a un menor precio de este insumo.

2.3.1.- Importaciones

En las últimas décadas en México se han comprado grandes cantidades de maíz con el propósito de satisfacer la demanda interna. Varios factores explican la variación de las compras al exterior a lo largo del tiempo. En primer lugar, el comportamiento de las importaciones de maíz está en función directa de la producción y de los niveles de inventarios existentes. El comportamiento del consumo es otro factor que explica la variación de las importaciones. La eliminación de la prohibición de utilizar el maíz como alimento para animales aumentó el consumo durante los últimos años. La política comercial practicada por el gobierno de México, de permitir la entrada de importaciones de maíz libres de arancel superiores a la cuota establecida en el TLCAN también ha sido decisiva en el crecimiento de las importaciones durante los últimos años. Por último, la política cambiaria es otro de los factores que afectó la variación de las importaciones en el tiempo (García y Santiago, 2004: p. 132).

2.3.2.- Comercialización

La intervención del gobierno mexicano en el mercado de granos data del año 1937, cuando se fundó el Comité Regulador del Mercado del Trigo, sustituido en 1938 por el Comité Regulador del Mercado de las Subsistencias Populares, y en 1941 por la Nacional Reguladora y Distribuidora.

En 1943 se creó un consorcio formado por el Banco Nacional de Crédito Agrícola, el Banco de Crédito Ejidal, el Comité de Aforos y la mencionada Nacional Distribuidora y Reguladora. En 1950 se funda la Compañía Exportadora e Importadora Mexicana, Ceimsa, (Haag y Soto, 1981: pp. 390-391).

El 1 de abril de 1965 se constituye la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (Conasupo) como una entidad pública u organismo público descentralizado (Gurza, 1994: p. 93). Ésta operó integralmente en el sector alimentario, es decir, en el acopio, comercialización, transformación y distribución de los productos básicos. Este organismo se construye en un sistema conformado por una empresa matriz, dos filiales almacenadoras, tres de transformación industrial, dos de distribución, así como de un fideicomiso y un fondo de financiamiento para la pequeña y mediana industria productora de alimentos básicos de consumo final (Conasupo, 1987: p. 127). González (1979) citada por Maximiliano-Martínez *et al.* (2011), explica que los objetivos fundamentales fueron la regulación y la protección. El primero se enfocó a los mercados de subsistencias básicas producidos y consumidos por la mayoría de la población en México: maíz, trigo, frijol y arroz. La protección estaba orientada a los campesinos pertenecientes al área de la agricultura de subsistencia y a los consumidores de bajos recursos.

Sin embargo, el beneficio real que Conasupo brindó a los productores de maíz fue cuestionado por varias razones, los precios de garantía solo beneficiaban a los productores con excedentes que vendían maíz, no así a los campesinos más pobres que compraban grano; los excesivos trámites y regulaciones para la compra de maíz por parte de Conasupo ocasionaban que muchos productores quedaran al margen del programa; las fechas de compra se limitaban a ciertos meses del año, de forma que el resto estaba abierto a la operación de comerciantes, muchas veces especuladores sin escrúpulos y la corrupción e ineficiencia de la paraestatal (Maximiliano-Martínez *et al.*, 2011: p. 198).

A pesar de sus deficiencias, Conasupo había adquirido influencia considerable en los mercados rurales de maíz. La desaparición de la empresa estatal en 1999, provocó un desorden en el mercado de granos que el gobierno mexicano no ha logrado resolver. Actualmente la distribución y comercialización de los alimentos básicos para la población, en el caso del maíz, está en manos de

grandes empresas, que condicionan el abasto y la comercialización (De Itarubio, 2003: p. 43).

El desmantelamiento de la Conasupo significó el retiro del Estado de un mercado que aún no contaba con un sistema eficiente que lo reemplazara. Las condiciones reales del comercio maicero están dadas por una oferta fraccionada en exceso y una demanda concentrada en unas cuantas empresas harineras y en transnacionales (oligopsonio). El resultado más obvio de la intervención estatal consistió en la aparición de oligopolios. Como resultado de las nuevas formas de intervención en el mercado maicero, se van conformando con claridad estructuras productivas y comerciales por la diferenciación: la mayoría de los productores con grandes dificultades para hacer que sus procesos productivos sean rentables y pocas, pero grandes empresas, que controlan los pasos comerciales y de insumos agrícolas. El proceso de concentración abarca prácticamente todas las actividades del mercado maicero: insumos agrícolas, producción, comercialización y producción de harina de maíz (Guerrero, 2002: p. 80).

2.3.3.- Las políticas agropecuarias del maíz en México

En la cadena de valor del maíz en México inciden el incremento mundial de la producción y el comercio del maíz; la utilización del maíz para obtener agrocombustibles; las políticas agrícolas y los subsidios en los países desarrollados. No obstante, las políticas agropecuarias del maíz en México indican que la producción promedio en todo el país es de 19.1 millones de toneladas en una superficie cosechada promedio de 7.5 millones de hectáreas, de las cuales 83% es de temporal. El reto es producir 32 millones de toneladas anuales para reducir la vulnerabilidad alimentaria del país, y mantener las importaciones en alrededor de cinco millones de toneladas (Maximiliano-Martínez *et al.*, 2011: p. 210). Comparados con los productores de maíz de Estados Unidos, los de México no son competitivos debido a los altos costos de producción. Para la mayoría de éstos, no es una actividad rentable, la utilidad fluctúa entre 80 y 342 pesos por tonelada.

A partir de 1994 los subsidios incluidos en los precios de garantía se eliminaron y transformaron en subsidios directos a los productores (De Ita-Rubio, 2003: p. 28), como el Procampo que se implementó para atenuar los efectos de la desaparición de Conasupo y de la entrada en vigor del TLCAN.

A pesar de que el diesel agropecuario no se dirige específicamente para el maíz, varios productores del grano lo solicitan para las labores de la producción. El acceso a otros apoyos distintos al Procampo es muy limitado.

Recientemente apareció el Proyecto Estratégico de Apoyo a la Cadena Productiva de los Productores de Maíz y Frijol (Promaf), que maneja el Fideicomiso de Riesgo Compartido (Firco). Éste consiste en créditos para apoyar a los productores de maíz y mejorar la cadena de comercialización. Sin embargo la posibilidad de acceder a esos apoyos implica que los productores se organicen (Maximiliano-Martínez *et al.*, 2011: p. 215).

2.4.- Optimización de la distribución

2.4.1.- Economías Planificadas Centralmente

Son economías cuyos precios no se determinan por fuerzas de mercado sino mediante directrices gubernamentales. En 1949 la Unión Soviética formó el Consejo de Asistencia Mutua Económica (Come o Comecon) con los países del bloque comunista en Europa Oriental además de Mongolia, Cuba, Corea del Norte y Vietnam. El propósito de éste fue desviar el comercio de los países occidentales y lograr un mayor grado de autosuficiencia entre los países comunistas. Con este acuerdo, la mayor parte de los miembros del Come importaron petróleo y gas natural de la Unión Soviética a cambio de productos industriales y agrícolas. En cuanto a los miembros del Come, el Estado decidía y controlaba todas las transacciones internacionales mediante algunas compañías comerciales estatales, que en particular administraban alguna línea de producto. Con tal sistema, los tipos y las cantidades de bienes importados se determinaban según las exigencias del plan nacional además de los productos disponibles domésticamente. El Estado entonces decidía cuales bienes exportar

para pagar las importaciones demandadas. Aunque no tuvieron un papel directo la ventaja comparativa y los precios relativos de los bienes, entraron en juego aspectos políticos por lo menos tan importantes en cuanto a las consideraciones económicas como la actividad comercial. De hecho estas economías planificadas centralmente por lo general hacían énfasis en la autosuficiencia o tendían a juzgar el comercio internacional como un mal necesario para cerrar el balance de material y obtener bienes y servicios, como productos de alta tecnología que el país no podía suplir por sí mismo (Salvatore, 1995: p. 339).

El comercio entre las economías del Come generalmente se administraba con base en acuerdos bilaterales y compras en volumen. Los acuerdos bilaterales a menudo involucraban el comercio de trueque y el comercio compensatorio, en los cuales un bien se canjeaba por otro, o al menos se intentaba en forma particular desarrollar un comercio balanceado con cada país. La razón consistía en que cualquier excedente de rubros “convertibles” (la unidad contable en el comercio del Come) no podía utilizarse para importar bienes y servicios de cualquier otro país que acumulara superávit. Por ejemplo, si Polonia exportara más de lo que importara de la Unión Soviética, aquella podría solamente utilizar los rubros de superávit acumulados para adquirir bienes soviéticos. Las compras en volumen se refieren al acuerdo de una compañía comercial estatal para adquirir una cantidad específica de un bien durante uno o varios años provenientes de una compañía comercial estatal de otro país (Salvatore, 1995: p. 340).

2.4.2.- Economía de mercado

Las decisiones que toman los individuos, las familias, las empresas y el Estado determinan conjuntamente cómo se utilizan los recursos limitados de la economía, entre los que se encuentran la tierra, el trabajo, las máquinas, el petróleo y otros recursos naturales. La clave para entender cómo sucede esto se encuentra en el papel del intercambio voluntario en los mercados. Todas esas transacciones se incluyen en los conceptos de mercados y de economía

de mercado. En una economía de mercado, la mayoría de los intercambios tienen lugar a través de mercados, y vienen guiados por los precios de los bienes y servicios implicados (Stiglitz y Walsh, 2009: pp. 31-32).

La economía de mercado no sólo determina qué bienes se producen y cómo se producen, también determina para quien se produce (Stiglitz y Walsh, 2009, p.36).

Cuando las decisiones las toma tanto el sector público como el sector privado, se denomina economía mixta, los países occidentales son ejemplos de ella. La economía se basa principalmente en la interrelación privada de los individuos y las empresas para determinar cómo se asignan los recursos, pero también el Estado desempeña un importante papel. Una cuestión fundamental en cualquier economía mixta es el equilibrio entre los sectores público y privado (Stiglitz y Walsh, 2009: p.42).

Un mercado existe cuando se ponen en contacto compradores que desean intercambiar dinero por bienes y servicios, con vendedores que desean intercambiar bienes y servicios por dinero. Entonces un mercado se define en términos de las fuerzas fundamentales de la oferta y la demanda, y no necesariamente está confinado en un lugar geográfico particular.

Los tres principales mercados que existen son el mercado de productos, en los que las empresas venden los bienes que producen; el mercado de trabajo en el que las familias venden servicios laborales y las empresas compran dichos servicios y el mercado de capitales, en el que se piden y se dan prestados fondos (Stiglitz y Walsh, 2009: p. 38).

El establecimiento de una economía de mercado exige: 1) liberar precios y salarios del control gubernamental, de modo que las fuerzas de demanda y de oferta en el mercado puedan asignar recursos libremente; 2) transferir factores de producción del Estado a la propiedad privada, es decir privatizar la economía; 3) abrir la economía a la competencia y liberalizar el comercio internacional, reemplazando el comercio estatal por un comercio con base en principios de mercado; y 4) establecer la estructura institucional y legal necesaria para el funcionamiento de una economía de mercado, como

derechos de propiedad, un sistema bancario de tipo occidental, un mercado de capital, contabilidad de costos, ley de negocios entre otros (Salvatore, 1995: p. 340).

2.4.3.- Estimación de la demanda

La cantidad de un artículo que un individuo desea comprar en un periodo determinado, depende del precio de dicho artículo, del ingreso monetario de la persona, de los precios de otros artículos y de sus gustos. Al variar el precio del artículo y manteniendo constantes tanto el ingreso y los gustos del individuo, como los precios de los demás artículos (*ceteris paribus*), se obtiene la tabla de la demanda individual del artículo (Salvatore, 1997: p. 18).

La demanda de mercado o demanda agregada de un bien dado es la cantidad total de un bien demandada por todos los individuos que integran una economía a cada uno de los diferentes precios. La demanda del mercado depende de todos los factores que determinan la demanda individual del artículo y además, del número de compradores del artículo en el mercado. Geométricamente, la curva de la demanda del mercado para un artículo se obtiene sumando horizontalmente todas las curvas individuales de demanda de dicho artículo (Salvatore, 1997: p. 20).

Cuando sube el precio, la demanda disminuye, tanto porque cada persona demanda una cantidad menor del bien como porque algunas abandonan el mercado (Stiglitz y Walsh, 2009: p. 98). De esto se define la ley de la demanda, el precio y la cantidad demandada de un bien varía inversamente; es decir, que si el precio de un bien se incrementa su demanda disminuye.

La demanda es el factor clave de los mercados, ya que a través de su análisis se pueden conocer con alguna precisión los volúmenes que podrá absorber el mercado de cada producto, en qué lugares y a qué precios. Esto permite programar la producción evitando la realización de inversiones antieconómicas, los fenómenos de superproducción, déficit y pérdidas en los mercados.

Los principales factores que provocan cambios o modifican la demanda de productos agrícolas, son los siguientes (Chavez, 2000: pp. 7-11):

a) *Precio del producto*, por la ley de la demanda, al subir el precio de los productos la cantidad demandada disminuye; un efecto contrario se observará si baja el precio.

b) *Población*, el número de habitantes, su ritmo de crecimiento, la estructura de las edades, la distribución geográfica o regional así como la proporción urbana y rural, son aspectos que generalmente modifican la demanda agrícola.

c) *Ingreso*, en este caso se pueden diferenciar los efectos de corto plazo y los de largo plazo sobre la demanda agrícola, que provocan las variaciones en el ingreso real de los consumidores y su distribución.

Al variar el ingreso en el corto plazo, la curva de demanda agrícola se desplaza paralelamente. Si se eleva el ingreso real, generalmente aumenta la demanda de alimentos con un alto contenido de proteínas de mayor calidad, o con más servicios incluidos.

Si baja el ingreso real de los consumidores disminuye también la demanda de alimentos altos en proteínas y se compensa el consumo con otros más baratos pero menos nutritivos.

d) *Precios de los productos sustitutos*, son aquellos para los que cambios en el precio, hacen que el consumidor transfiera su demanda de un bien a otro. Se considera que la mayoría de los productos de origen agrícola guardan relaciones de sustitución entre sí, aunque unos más que otros. La sustitución se entiende en términos técnicos y económicos.

El cambio de precio de un producto sustituto (por ejemplo carne de res), y el cambio de la demanda de un bien de interés (carne de cerdo) están directamente relacionados. Es decir si sube el precio de la carne de res, la respuesta lógica de los consumidores es que demanden menos cantidad de este alimento y opten por adquirir más carne de cerdo, ahora más barata relativamente, ya que su precio no varió, y viceversa si baja el precio de la carne de res.

e) *Precios de los productos complementarios*, son aquellos en los que cambios en los precios, hacen que el consumidor impulse su demanda en forma

paralela. La relación de complementariedad también se observa en los productos de origen agrícola, sobre todo los alimentos.

El cambio en el precio del bien complementario (tortilla), y el cambio del bien en cuestión (frijol) están relacionados inversamente. Esto es, si sube el precio de la tortilla, los consumidores responderán a consumir menos de este alimento o a gastar más para obtener la misma cantidad de tortilla. Ello obliga a hacer ajustes en su presupuesto en términos de adquirir, por ejemplo, menos frijol (producto complementado).

f) Gustos y preferencias de los consumidores, estos factores en la práctica están muy vinculados a las variaciones en el ingreso, y se originan por las siguientes causas: motivos psicológicos en los que además se incluye la educación, la tradición y la propaganda; y motivos fisiológicos, explicados a su vez por la edad, sexo, peso y estatura, la actividad y el lugar donde se habita.

g) Expectativas de los consumidores, o esperanzas de eventos futuros, sobre la cual existe mucha incertidumbre, por ejemplo alza de precios, disminución de ingreso, huelgas, inestabilidad política, entre otros.

Expresados como una relación funcional queda:

$$D = f(P, P_{ob}, Y, P_S, P_C, GP, E)$$

Donde:

D= Cantidad demandada del producto.

P= Precio del producto.

P_{ob}= Población.

Y= Ingreso.

P_S= Precio de los productos sustitutos.

P_C = Precio de los productos complementarios.

GP= Gustos y preferencia de los consumidores.

E= Expectativas de los consumidores.

En el análisis de la demanda, el interés se centra en medir las variaciones de la cantidad demandada ante variaciones en sus factores determinantes, para ello se utilizan los conceptos de elasticidad- precio, elasticidad cruzada y elasticidad ingreso de la demanda.

El conocimiento de las elasticidades es importante si se intenta ejercer influencia sobre los patrones de consumo, o si se desea conocer el efecto que tienen sobre el precio, determinados aspectos de la oferta y de la demanda.

Elasticidad precio de la demanda: el coeficiente de la elasticidad precio de la demanda (e) mide el cambio porcentual de la cantidad demandada dividida por la variación porcentual del precio. Puesto que el precio y la cantidad tienen una relación inversa, el coeficiente de la elasticidad precio de la demanda es un valor negativo, a fin de evitar el uso de número negativos, con frecuencia se introduce un signo menos (Salvatore, 1997, p.47).

$$e = -\frac{\Delta Q/Q}{\Delta P/P} = -\frac{\Delta Q}{\Delta P} * \frac{P}{Q}$$

Se dice que la demanda es elástica si $e > 1$, inelástica si $e < 1$ y unitaria si $e = 1$.

Elasticidad ingreso de la demanda: El coeficiente de la elasticidad ingreso de la demanda (e_M) mide el cambio porcentual en la cantidad comprada de un artículo, debido a un cambio porcentual dado en el ingreso de un consumidor.

$$e_M = \frac{\Delta Q/Q}{\Delta M/M} = \frac{\Delta Q}{\Delta M} * \frac{M}{Q}$$

Cuando e_M es negativa, el bien es inferior, si es positiva, el bien es normal. Un bien normal generalmente es un bien de lujo si su $e_M > 1$; de no ser así, es un bien básico (Salvatore, 1997, p. 51).

Elasticidad cruzada de la demanda: el coeficiente de la elasticidad cruzada de la demanda del artículo X con respecto al artículo Y (e_{xy}) mide el cambio porcentual en la cantidad comprada de X debido a un cambio porcentual dado en el precio de Y.

$$e_{xy} = \frac{\Delta Q_x/Q_x}{\Delta P_y/P_y} = \frac{\Delta Q_x}{\Delta P_y} * \frac{P_y}{Q_x}$$

Si X y Y son sustitutos, e_{xy} es positiva. Por otra parte, si X y Y son complementarios, e_{xy} es negativa. Cuando los artículos no están relacionados, es decir, cuando son independientes el uno del otro, $e_{xy} = 0$ (Salvatore, 1997: p. 52).

2.4.4.- Oferta

Los economistas utilizan el concepto de oferta para describir la cantidad de un bien o de un servicio que a una familia o empresa le gustaría vender a un precio determinado (Stiglitz y Walsh, 2009: p. 89). Por el lado de la oferta, la curva de oferta de una empresa indica la cantidad de un bien que la empresa está dispuesta a ofrecer a cada uno de los diferentes precios. Normalmente tiene pendiente positiva, lo que significa que las empresas ofrecen una cantidad mayor del bien cuando los precios son más altos, y una cantidad menor cuando son más bajos.

A fin de obtener la tabla y la curva de la oferta del productor de un artículo, deben permanecer constantes (*ceteris paribus*) ciertos factores que influyen en los costos de producción. Éstos son la tecnología, los precios de los insumos necesarios para producir el artículo y, para productos agrícolas, el clima y las condiciones climatológicas (Salvatore, 1997: p. 21).

Cuanto más bajo es el precio de un bien, más pequeña es la cantidad que ofrece el productor. Esta relación directa entre precio y cantidad se refleja en la pendiente positiva de la curva de oferta. Sin embargo, mientras que en el caso de la curva de demanda se puede hablar de la “ley de la demanda de pendiente negativa”, en el caso de la curva de oferta no se puede hablar de la “ley de la oferta de pendiente positiva”. Aun cuando la curva de la oferta generalmente tiene pendiente positiva, también su pendiente puede ser cero, infinita o negativa; por lo tanto no es posible generalizar (Salvatore, 1997: p. 22).

La curva de oferta del mercado indica la cantidad total de un bien que todas las empresas de la economía están dispuestas a producir a cada uno de los diferentes precios. Cuando sube el precio, la oferta aumenta, tanto porque cada empresa ofrece una cantidad mayor del bien como porque entran algunas nuevas empresas en el mercado (Stiglitz y Walsh, 2009: p. 98).

Los desplazamientos de las curvas de oferta del mercado se deben a varias causas, entre las que se encuentran: cambio en los precios de los factores de producción, cambio en la tecnología, cambio en el entorno natural, cambio en la

cantidad de crédito disponible y cambio en las expectativas (Stiglitz y Walsh, 2009: p. 91).

Equilibrio. El equilibrio se refiere a una condición del mercado, que una vez alcanzada, tiende a persistir. Ocurre cuando la cantidad de un artículo que se demanda en el mercado es igual a la cantidad que se ofrece. Geométricamente, el equilibrio ocurre en la intersección de la curva de la demanda del artículo con la curva de oferta del mercado. El precio y la cantidad a los cuales existe el equilibrio se conocen como precio de equilibrio y cantidad de equilibrio. Si la curva de la demanda del mercado o la curva de oferta del mercado, o ambas se desplazan, el punto de equilibrio se modifica. Una condición de equilibrio se dice que es estable si cualquier desviación del mismo hace operar las fuerzas del mercado, las cuales regresan hacia el equilibrio. Si por el contrario, uno se aleja más del equilibrio, se tiene una situación de equilibrio inestable. *Ceteris paribus*, un incremento en la demanda (desplazamiento ascendente) causa un aumento tanto en el precio de equilibrio, como en la cantidad de equilibrio. Por otra parte, dada la demanda del mercado para un artículo, un incremento en la oferta del mercado (un cambio descendente en la oferta) causa una reducción en el precio de equilibrio pero un incremento en la cantidad de equilibrio. Si la demanda del mercado y la oferta del mercado aumentan, la cantidad de equilibrio aumenta, pero el precio de equilibrio puede subir, bajar o bien permanecer sin cambio (Salvatore, 1997: pp. 23-24).

La ley de la oferta y la demanda establece que en los mercados competitivos el precio de equilibrio es aquel al que la cantidad demandada es igual a la ofrecida. Se presenta gráficamente por la intersección de las curvas de demanda y de oferta (Stiglitz y Walsh, 2009: p. 99).

2.4.5.- Programación lineal

Desarrollo de la investigación de operaciones. Durante la segunda guerra mundial, la administración militar en Gran Bretaña llamó a un equipo de científicos para que estudiaran los problemas tácticos y estratégicos asociados

a la defensa aérea y terrestre del país. Su objetivo era determinar la utilización más efectiva de los recursos militares.

El nombre de investigación de operaciones (IO) fue dado aparentemente porque el equipo estaba llevando a cabo la actividad de investigar operaciones (militares). Desde su nacimiento la IO se ha caracterizado por el uso del conocimiento científico a través de equipos interdisciplinarios para determinar la mejor utilización de los recursos limitados (Taha, 1988: p. 1).

Los resultados obtenidos por los equipos de IO británicos, motivaron a la administración militar de los Estados Unidos a realizar actividades similares. Algunas de sus aplicaciones exitosas incluyeron el estudio de problemas logísticos complejos, la invención de nuevos modelos de vuelo, la planeación de minas en el mar y la utilización efectiva del equipo electrónico. Posteriormente atrajo la atención de los administradores industriales. La primera técnica matemática ampliamente aceptada en el campo, conocida como el método simplex de programación lineal, fue desarrollada en 1947 por el matemático norteamericano George B. Dantzing. El progreso en el campo de la IO se debe en gran parte al desarrollo paralelo de la computadora digital moderna que ha facilitado el cálculo de los problemas (Taha, 1988: p. 2).

Al plantear un problema de IO, se tiene la opción de utilizar un modelo matemático o un modelo de simulación. Al utilizar un modelo matemático, éste puede ajustarse a un modelo común, por ejemplo de programación lineal, y resolverse en una forma conveniente mediante técnicas matemáticas (Taha, 1995: p. 11)

Modelos Matemáticos. Un modelo matemático es una ecuación, desigualdad, sistema de ecuaciones o desigualdades que representa determinados aspectos del sistema físico representado en el modelo. Los modelos de este tipo se utilizan en gran medida en las ciencias físicas, en el campo de la ingeniería, los negocios y la economía.

Los modelos matemáticos ayudan a los administradores a tomar dos tipos de decisiones: estratégicas y operacionales. Las decisiones estratégicas, generalmente son decisiones de una sola vez, tienen un efecto sobre intervalos

de tiempo relativamente largos y se usan únicamente para hacer una determinación a largo plazo. Las decisiones operacionales, por el contrario afectan procesos en curso sobre periodos más cortos, como costo mínimo en la distribución de productos. Los modelos de decisiones operacionales se usan repetidamente (Mathur y Solow, 1996: p. 8).

Sin importar si se requiere de una decisión estratégica u operacional, los modelos matemáticos proporcionan los siguientes beneficios.

- 1.- Un método de determinación de la mejor manera de lograr un objetivo, como asignar recursos escasos.
- 2.- La forma de evaluar el impacto de un cambio propuesto o un nuevo sistema sin el costo y tiempo de llevarlo a cabo primero.
- 3.- Una forma de evaluar la *fortaleza* de la solución óptima al hacer preguntas de sensibilidad.
- 4.- Un procedimiento para lograr un objetivo que beneficie a la organización global al incluir en el modelo consideraciones correspondientes a muchas otras partes de la organización, (Mathur y Solow, 1996: p. 9).

Programación Lineal. La programación lineal es una clase de modelos de programación matemática destinados a la asignación eficiente de los recursos limitados en actividades conocidas, con el objetivo de satisfacer las metas deseadas, tal como maximizar beneficios o minimizar costos. La característica distintiva de los modelos de programación lineal es que las funciones que representan el objetivo y las restricciones lineales.

La linealidad de algunos modelos puede ser justificada con base en las propiedades físicas del problema; otros modelos, los cuales en el sentido directo son no lineales, pueden linealizarse por el uso apropiado de transformaciones matemáticas (Taha, 1988: p.15).

Algunas aplicaciones de programación lineal son las siguientes:

1. Planeación de la producción.
2. Mezcla de alimentos.
3. Corte y ajuste de material.
4. Control de la calidad del agua.

5. Perforación de pozos y producción de petróleo.
6. Balanceo en el ensamble.
7. Inventarios.

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

$$\text{Maximizar o minimizar } x_0 = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$$

sujeto a

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

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

:

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

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

donde c_j , b_i y a_{ij} ($i=1, 2, \dots, m$; $j=1, 2, \dots, n$) son constantes determinadas por la tecnología del problema y x_j son las variables de decisión. Únicamente un signo ($\leq$, $=$, $\geq$) ocurre para cada restricción. La restricción de no negatividad es esencial para el desarrollo del método de solución para programación lineal.

Los modelos de programación lineal a menudo representan problemas de “asignación” en los cuales los recursos limitados se asignan a un número de actividades. En función de la formulación anterior los coeficientes c_j , b_i y a_{ij} se interpretan físicamente como sigue:

Si b_i es la cantidad disponible del recurso i , entonces a_{ij} es la cantidad de recurso i que debe asignarse a cada unidad de la actividad j . El valor por unidad de la actividad j es igual a c_j .

Después de formular un modelo de programación lineal, el siguiente paso del análisis es resolver el modelo. Debido a que los modelos de programación lineal

se presentan en una variedad de formas (maximización o minimización para la función objetivo y $(\leq, =, \text{ y/o } \geq)$ para las restricciones) es necesario modificar estas formas para que se ajusten al procedimiento de solución. Existen dos formas para este propósito: la forma canónica y la forma estándar. La forma estándar se utiliza directamente para resolver el modelo; la forma canónica es útil al presentar la teoría de dualidad (Taha, 1988: p. 30).

2.4.6.- El modelo de transporte

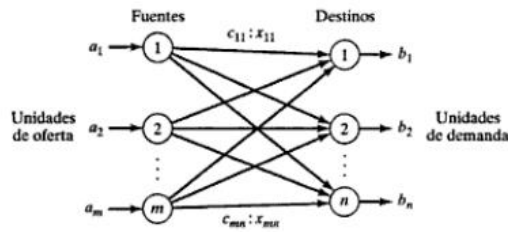
El problema de transporte es un tipo especial de problema de programación lineal; se conoce como de transporte porque muchas de sus aplicaciones se refieren a determinar la forma óptima de transportar bienes aunque tiene muchas otras aplicaciones que no tienen nada que ver con el transporte como es el caso de la programación de la producción. En su forma general, el problema de transporte, consiste en determinar las rutas a utilizar y las cantidades a enviar de manera que resulte en un costo de transporte mínimo, teniendo nodos de origen con suministros y nodos destino con demandas y conociendo los costos de transporte entre cada uno de los puntos de origen y destino (Medina *et al.*, 2007: p. 48).

Aunque el problema de transporte puede resolverse por el método simplex regular, sus propiedades especiales ofrecen un procedimiento de solución más conveniente, que se explica en términos del método simplex (Taha, 1988: p. 118).

Como sólo hay una mercancía, un destino puede recibir su demanda de una o más fuentes. La suposición básica del modelo es que el costo de transporte en una ruta es directamente proporcional al número de unidades transportadas (Taha, 1995: p. 227).

Definición del Modelo. Suponga que existen m orígenes y n destinos. Sea a_i el número de unidades disponibles para ofrecerse en cada origen i ($i= 1, 2, \dots, m$) y sea b_j el número de unidades requeridas en el destino j ($j= 1, 2, \dots, n$). Sea c_{ij} el costo del transporte por unidad en la ruta (i, j) que une el origen i y el destino j .

El objetivo es determinar el número de unidades transportadas del origen i al destino j de tal manera que se minimicen los costos totales de transporte.



Modelo de Transporte. Fuente: Taha 1995: p. 227.

Sea x_{ij} el número de unidades transportadas del origen i al destino j ; entonces el modelo de programación lineal equivalente está dado como

Minimizar

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

Sujeto a

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

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

$$x_{ij} \geq 0$$

A excepción de la cantidad disponible, la asignación de las cantidades de mercancías a cada uno de los destinos no es una restricción. Esto quiere decir, que teóricamente cada uno de los orígenes puede proveer todo, parte o nada de su oferta, para satisfacer la demanda de los destinos o centros de consumo (Taha, 1988: p. 119).

El modelo descrito implica que la oferta total $\sum_{i=1}^m a_i$ debe ser cuando menos igual a la demanda total $\sum_{j=1}^n b_j$. Cuando la oferta total es igual a la demanda total, la formulación resultante recibe el nombre de modelo de transporte equilibrado. En la práctica el modelo puede no estar en equilibrio, sin embargo

se puede equilibrar agregando una fuente ficticia, cuando la demanda es mayor que la oferta, o agregando un destino ficticio, si la oferta es mayor que la demanda (Taha, 1995: p. 228).

El Objetivo del modelo de transporte es:

Asignar la oferta disponible de cada uno de los centros de producción y origen, de tal manera que se optimice algún criterio de efectividad, para satisfacer la demanda de cada uno de los destinos de centros de consumo.

Los criterios de efectividad más utilizados son:

- 1.- Minimizar el costo total de transporte de los orígenes a los destinos.
- 2.- Minimizar la distancia total recorrida de los orígenes a los destinos.
- 3.- Maximizar la contribución total a la utilidad para transportar productos de los orígenes a los destinos (Moya, 1998: p. 18).

La suposición básica del modelo es que el costo de transporte en una ruta es directamente proporcional al número de unidades transportadas. La definición de “unidad de transporte” variará dependiendo de la “mercancía” que se transporte (peso y piezas). En cualquier caso, las unidades de oferta y demanda deben ser consistentes con la unidad de transporte (Taha, 1995: p. 227).

El algoritmo de transporte se inicia por medio de métodos auxiliares como son el método de la esquina noroeste, el método del costo mínimo o el método de aproximación de Vogel, siendo este último el más adecuado debido a que suele producir una solución inicial óptima o próxima al punto óptimo (Garcés et al., 2005: p.49).

El modelo de transporte tiene sus variantes, en ellas se encuentra el modelo de asignación, que tiene por objetivo el de asignar los trabajos a las máquinas (un trabajo por máquina) al menor costo total. Otra variante es el modelo de transbordo, que tiene la característica adicional de permitir que las unidades transportadas desde todas las fuentes pasen a través de nodos intermedios o transitorios, antes de que llegue por último a su destino designado (Taha, 1995, pp. 252-257).

Actualmente, muchos de los modelos matemáticos, como los modelos de transporte, se pueden resolver de manera eficaz mediante el uso de programas computacionales que para este fin se han desarrollado, reduciendo el tiempo de respuesta al mínimo y que permite tomar decisiones de manera inmediata.

Con ayuda de la computadora, los modelos matemáticos pueden resolverse utilizando una hoja de cálculo o un software matemático especial. LINDO es una aplicación para computadoras que se utiliza para resolver problemas de programación lineal, cuadrática y entera. Esta herramienta se usa para resolver modelos de transporte. Antes que apareciera Lotus 1-2-3 o Excel, LINDO había sido incorporado a la planilla de cálculo VisiCal, el paquete se llamó VINO y es el equivalente del SOLVER que viene con Excel. Existe una hoja de cálculo llamada WHAT'S Best!, la cual se integra a EXCEL ó LOTUS 1-2-3, ésta resuelve problemas de optimización con algoritmos de LINDO Systems (<http://www.shd.it/public/Image/SistemaLindo-ES.pdf>). WinQSB. Este programa consta de una serie de módulos independientes que recogen los tópicos más importantes de Investigación Operativa. los módulos son: Módulo de Cadenas de Markov de parámetro discreto (Mkp.exe) ,Módulo de Sistemas de Colas con solución analítica (Qa.exe) y Módulo de Simulación de Sistemas de Colas (Qss.exe) http://www.msmiami.com/custom/downloads/Intro_WinQSB_Spa.pdf

2.4.7.- Análisis de sensibilidad

Se relaciona con la manera en que los cambios en los parámetros del problema lineal afectan la solución óptima.

Los intervalos para los coeficientes de la función objetivo se especifican en la parte que se denomina *OBJECTIVE COEFFICIENT RANGES* (intervalo de los coeficientes objetivo). La sección *ALLOWABLE INCREASE* (incremento permisible) señala la cantidad que puede aumentar el coeficiente de la función objetivo sin que la base actual deje de ser óptima. La sección *ALLOWABLE DECREASE* (decremento permisible) señala la cantidad que puede disminuir un coeficiente de la función objetivo sin que la base actual deje de ser óptima.

Si c_i permanece en su intervalo permisible, entonces los valores de las variables de decisión se conservan sin cambio, aunque el valor de z óptimo pudiera cambiar (Winston, 2010: p. 234).

La parte de *REDUCED COST* (Costos reducidos) de los resultados que proporciona LINDO brinda información de cómo cambia la solución óptima del problema lineal cuando se modifica el coeficiente de la función objetivo en el caso de una variable no básica. Por lo tanto, el costo reducido para la variable x_i es la cantidad que le sobra o que le falta para entrar en la base óptima (Winston, 2010: pp. 236).

El intervalo de valores para los lados derechos se encuentra en la sección *RIGHTHAND SIDE RANGES* de los resultados que proporciona LINDO. Si el segundo miembro de una restricción permanece dentro del intervalo, entonces la base actual es óptima, y se podría usar el precio dual para determinar qué tanto se modifica el valor z óptimo cuando se altera el segundo miembro (Winston, 2010: pp. 236, 253).

El precio sombra de la i -ésima restricción de un problema lineal es la cantidad en que mejora el valor z óptimo si el segundo miembro aumenta una unidad (suponiendo que este cambio deja óptima la base actual). El precio sombra para cada restricción se encuentra en la sección *DUAL PRICES* (precios dual) de los resultados que proporciona LINDO. Una restricción $\geq$ tendrá un precio sombra no positivo; una restricción $\leq$ tendrá un precio sombra no negativo, y una restricción de igualdad puede tener un precio sombra positivo, negativo o cero (Winston, 2010: pp. 237, 253).

2.4.8.- Estudios relacionados al modelo de transporte

De los estudios relacionados, en 2004, presentaron un modelo de transporte de distribución mediante programación lineal entera, considerando en la formulación flota limitada de vehículos y flota ilimitada. Se distinguen unidades de origen-destino, entre un origen y varios destinos, con transporte directo y con ventanas en las fechas de entrega de los pedidos a transportar. Para validar el modelo utilizaron los datos proporcionados por una empresa del sector textil

que cumple las características requeridas. Concluyendo que el modelo resultó ser adecuado para las empresas caracterizadas y permitió diseñar e implementar un procedimiento exacto para la programación de la distribución del producto de la empresa (Ferrer *et al.*, 2004: p.65).

En 2004 utilizaron la programación lineal para distribuir las importaciones de maíz en México a través de la formulación y solución de un modelo de distribución espacial e inter temporal, en la que concluye que existen ineficiencias en el patrón de importaciones mensuales de maíz por puerto y frontera, ya que un porcentaje considerable de las compras al exterior se realizan en meses de máxima producción nacional y no aprovechan la estacionalidad de los precios internacionales; es decir, no se aprovecha la abundancia de cosechas en Estados Unidos, país del que proviene casi 100% de las importaciones de maíz de México.

La existencia de ineficiencias espaciales y temporales en las importaciones está inmersa en un marco institucional y de infraestructura de almacenamiento disponible insuficiente, situaciones que requerirían ser modificadas para corregir las ineficiencias que de ello se desprenden. La búsqueda de una situación eficiente tendrá que ser expresa y podría conseguirse en el mediano y largo plazos, dadas las acciones que implica. La construcción de infraestructura y el establecimiento de un programa de cupos de importación que contemplará la distribución de la producción y el consumo espacial e intertemporal seguramente induciría hacia una situación de mejor planeación de las importaciones de maíz (García y Santiago, 2004: p.158).

Posteriormente en 2005, se mostró la aplicación del método de puntos interiores al problema de transportes bajo una nueva formulación matemática que adapta el problema al método aprovechando las características de uno y otro. Adicionalmente se muestra una aplicación con base en datos estadísticos del transporte de carga en Colombia en el que compara las dos técnicas (Garcés *et al.*, 2005: p. 49).

En 2007, utilizaron un modelo de transporte para la asignación de trabajos a máquinas considerando prioridades especificadas por planeadores de una

empresa manufacturera que consistió en órdenes de trabajo de una sola operación, además se catalogó dentro del tipo de máquinas multipropósito. Las prioridades no estuvieron basadas en la velocidad de las máquinas; ya que ésta característica no fue significativa en este caso, sino más bien en las características técnicas de la máquina que la hacen idónea para llevar a cabo un trabajo dado con calidad y con los mejores ajustes. El modelo propuesto incrementó significativamente la eficiencia de la operación actual de asignación de trabajos a máquinas y también impactó en el análisis de requerimientos de capacidad mensual ya que estas operaciones anteriormente se llevaban a cabo de forma manual. El modelo proporciona una tabla óptima de asignación de trabajos a las máquinas considerando las prioridades de la administración de forma fácil y rápida sin hacer una inversión de un software especializado, ya que funciona en base a los requerimientos especificados al utilizarse Premium Solver de Excel (Medina *et al.*, 2007: p. 2).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.- Formulación del modelo de transporte

Para plantear un problema de programación lineal es necesario identificar los siguientes elementos: las variables de decisión del problema, la función objetivo, las restricciones lineales y las restricciones de no negatividad (Soler, 2007).

De acuerdo a la definición del modelo de transporte, para formularlo es necesario conocer los orígenes y la cantidad disponible de cada producto (a_i); los destinos y la cantidad requerida (b_j), así como el costo de transporte (c_{ij}). Para esto se consultaron diversas fuentes.

Fuentes de información. La información se obtuvo de bases de datos y fuentes estadísticas vía internet como el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGARPA-SIAP) de donde se obtuvo la producción de maíz blanco por estado y por ciclo otoño-invierno y primavera-verano, así como la superficie sembrada; el Consejo nacional de población (CONAPO) y el censo de población y vivienda 2010 de INEGI, la página de internet <http://fletes.com> para calcular el costo de transporte de los centros oferentes a los demandantes.

Las importaciones nacionales mensuales y anuales por puerto y frontera se obtuvieron del Sistema de información arancelaria SIAVI de la Secretaría de Economía, Capítulo 10, Partida 1005, Subpartida 100590, Fracción 10059004. Estos datos fueron utilizados en el desarrollo del procedimiento metodológico que permitió obtener información rápida, confiable y oportuna en relación a la oferta y demanda de maíz blanco.

Determinación de los orígenes y destinos. Para determinar la función objetivo, las restricciones de demanda y de oferta en el modelo, se inicia conociendo la disponibilidad de los productos. Para ello fue necesario consultar la producción anual nacional desglosada por estados obtenida de la SAGARPA-SIAP.

Los datos anteriores se utilizaron para calcular el consumo nacional aparente y consumo per cápita de maíz blanco.

El consumo nacional aparente se obtuvo sumando a la producción nacional las importaciones y restando las exportaciones.

$$CAP = \text{Producción nacional} - \text{exportaciones} + \text{importaciones}$$

Este se dividió por la población nacional total, obteniendo el consumo per cápita:

$$\text{Consumo per cápita} = CAP / \text{Población Total}$$

Para calcular el consumo por estado se multiplicó el consumo per cápita por el número de habitantes de cada entidad.

$$\text{Consumo estatal} = \text{Consumo per cápita} \times \text{Población estatal}$$

A la producción total de cada estado se le restó su consumo del mismo año y el resultado indica si es oferente o demandante. Las entidades que no tienen producción se considera el total de su consumo. Aquellas que tuvieron excedente fueron para el modelo los orígenes y conformaron las restricciones de oferta, y las que tuvieron déficit fueron los destinos y formaron las restricciones de demanda. El consumo per cápita de maíz blanco calculado para el 2010 fue de 0.21 ton.

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

Hasta aquí solo se cuenta con las cantidades a_i y b_j por lo que se requiere determinar las ciudades origen y destino.

En la selección de las ciudades origen se utilizaron los siguientes criterios, la cercanía de la ciudad seleccionada a la zona productora más importante del estado, o bien, que fuera una ciudad intermedia entre sus zonas productoras y además que se contara con información para calcular los costos de transporte.

En 2010 fueron diez los puntos de origen para el maíz. La producción en Campeche se concentra en la región centro-norte en los municipios Hecelchakán, Tenabo, Campeche, Hopelchen y Champotón (Tacuch, 2007: pp. 263-270), por lo que se seleccionó a Campeche como ciudad origen; en Chiapas los distritos de desarrollo rural que presentan las mayores superficies con muy buen potencial son Tuxtla Gutierrez, Villa Flores, Comitán, Tapachula y

Pichucalco (INIFAP), seleccionando a Tuxtla Gutierrez; en Chihuahua los distritos de desarrollo rural de Cuauhtémoc, Casas Grandes, Guerrero y Chihuahua son importantes en la producción (SAGARPA-SIAP), seleccionando a Chihuahua; en Guanajuato los municipios productores de maíz son Pénjamo, Valle de Santiago, Abasolo, Acámbaro, Salvatierra (Unger, 2010: pp. 10-11), teniendo como punto intermedio a Irapuato; Hidalgo tiene como principales productores los distritos de desarrollo rural Mixquiahuala, Huichapan, Huejutla y Pachuca (SAGARPA-SIAP), seleccionado a Pachuca; en Sinaloa los municipios de mayor importancia en cuanto al área sembrada son Sinaloa de Leyva, Culiacán, Badiraguato, San Ignacio, Cosalá que en conjunto cultivan el 69% del total en el estado, eligiendo a Culiacán.

Cuadro 1. Estados oferentes y demandantes de maíz blanco en 2010.

Estados	Prod. 2010 (Ton)	Habitantes	Consumo (Ton)	Oferta (Ton)	Estados	Prod. 2010 (Ton)	Habitantes	Consumo (Ton)	Demanda (Ton)
Campeche	384,582.11	822441	172712.61	211,870	Aguascalientes	51,629.61	1184996	248849.16	-197,220
Chiapas	1,394,496.30	4796580	1007281.8	387,215	Baja California	0	3155070	662564.7	-662,565
Chihuahua	1,068,688.96	3406465	715357.65	353,331	B. Cal. Sur	17,094.55	637026	133775.46	-116,681
Guanajuato	1,185,172.29	5486372	1152138.12	33,034	Coahuila	39,277.52	2748391	577162.11	-537,885
Guerrero	1,413,973.17	3388768	711641.28	702,332	Colima	38,141.05	650555	136616.55	-98,476
Hidalgo	613,320.09	2665018	559653.78	53,666	Distrito Federal	8,828.95	8851080	1858726.8	-1,849,898
Jalisco	3,395,071.76	7350682	1543643.22	1,851,429	Durango	249,437.30	1632934	342916.14	-93,479
Michoacán	1,526,483.72	4351037	913717.77	612,766	México	1,549,545.32	15175862	3186931.02	-1,637,386
Sinaloa	5,227,872.02	2767761	581229.81	4,646,642	Morelos	94,008.03	1777227	373217.67	-279,210
Tlaxcala	305,543.96	1169936	245686.56	59,857	Nayarit	176,223.69	1084979	227845.59	-51,622
					Nuevo León	60,735.40	4653458	977226.18	-916,491
					Oaxaca	645,531.27	3801962	798412.02	-152,881
					Puebla	1,080,462.01	5779829	1213764.09	-133,302
					Querétaro	282,426.61	1827937	383866.77	-101,440
					Quintana Roo	55,779.45	1325578	278371.38	-222,592
					San Luis Potosí	165,768.47	2585518	542958.78	-377,190
					Sonora	240,953.50	2662480	559120.8	-318,167
					Tabasco	104,467.40	2238603	470106.63	-365,639
					Tamaulipas	540,170.45	3268554	686396.34	-146,226
					Veracruz	973,457.57	7643194	1605070.74	-631,613
					Yucatán	120,541.53	1955577	410671.17	-290,130
					Zacatecas	292,194.92	1490668	313040.28	-20,845

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de SAGARPA-SIAP e INEGI.

Los destinos se determinaron con un criterio diferente, en cada entidad demandante se identificaron los municipios con mayor población, que en muchos de los casos es donde están los centros de abasto (ver cuadro 2) y además de que contara con información para el cálculo de los costos de transporte.

Cuadro 2. Municipios más poblados del país y centrales de abasto.

Estado	Municipio más poblado	Habitantes	C. de abasto	Estado	Municipio más poblado	Habitantes	C. de abasto
Aguascalientes	Aguascalientes	797010	De Aguascalientes	Morelos	Cuernavaca	365168	De Cuautla
Baja California	Tijuana	1559683	India, Tijuana	Nayarit	Tepic	380249	Adolfo López M., Tepic
B. California Sur	La Paz	251871	U. de Com. La Paz Mdo. Pedro Sáinz	Nuevo León	Monterrey	1135512	De Guadalupe, N. L.
Campeche	Campeche	259005	de Baranda, Camp.	Oaxaca	Oaxaca de J.	263357	Mdo. de A. de Oaxaca
Chiapas	Tuxtla Gtz.	553374	de Tuxtla Gtz.	Puebla	H. Puebla de Z.	1539819	De Puebla
Chihuahua	Chihuahua*	819543	De Chihuahua	Querétaro	S. Juan del Río*	241699	Mdo. de A. de Qro.
Coahuila	Torreón*	639629	De la Laguna, T.	Quintana Roo	B. J. Cancún	661176	Mdo. de Chetumal
Colima	Manzanillo	161420	C. de Dist. de Col.	San Luis Potosí	San Luis Potosí	772604	De San Luis Potosí
Distrito Federal	Del. Iztapalapa	1815786	De Iztapalapa	Sinaloa	Culiacán	858638	De Culiacán
Durango	Durango	582267	Francisco Villa	Sonora	Nogales*	220292	De Cd. Obregón
Guanajuato	Irapuato*	529440	Mdo. de Irapuato	Tabasco	Villahermosa	640359	De Villahermosa
Guerrero	Acapulco de J.	789971	De Acapulco	Tamaulipas	Tampico	297284	Mdo. de A. de Tampico
Hidalgo	Pachuca	267862	De Pachuca	Tlaxcala	Apizaco	76492	Mdo. de Apizaco
Jalisco	Guadalajara	1495189	De Guadalajara	Veracruz	Veracruz	552156	Mdo. Malibrán
México	Toluca*	819561	De Toluca	Yucatán	Mérida	830732	De Mérida
Michoacán	Morelia	729279	De Morelia	Zacatecas	Zacatecas	138176	Mdo. de A. de Zacatecas

Fuente: Elaboración propia con datos de Sniim e Inegi. * Están en 2º lugar en número.

Las ciudades seleccionadas fueron Aguascalientes, La Paz, Torreón, Manzanillo, Distrito Federal, Durango, Toluca, Cuernavaca, Tepic, Monterrey, Oaxaca, Puebla, San Juan del Río, Cancún, San Luis Potosí, Nogales, Villahermosa. Tampico, Veracruz, Mérida, Tijuana y Zacatecas.

Solo se consideró una ciudad por origen y una ciudad por destino.

Costos de transporte. En la vida real el transporte utilizado para desplazar estos productos es muy variado en forma y tamaño por lo que sería muy difícil calcular los costos de cada una de estas formas, en este trabajo se consideró solo un medio de transporte para el cálculo de los costos. Tomando en consideración la densidad de cada producto, para el caso de los granos como cebada, maíz y sorgo, la carga permitida por la Secretaría de Comunicaciones y

Transportes para un tracto camión (SCT, 2008: pp. 67, 68), no debe rebasar 33.5 ton, por lo que se tomaron 30 ton por viaje. Es importante señalar que el costo obtenido fue para un flete en tracto camión con caja cerrada de 53 pies de longitud (16.15 x 2.82 x 2.52 m). Por entrevista a un empleado de una distribuidora de granos, Ing. Zacarias Barrientos se obtuvo que en promedio los tracto camiones arrastran 30 ton para no tener problemas con las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, por lo que se tomaron 30 toneladas por viaje.

Formulación del modelo. Para alcanzar los objetivos planteados se usó la técnica de modelo de transporte. La función objetivo del modelo de transporte minimiza el costo de distribución de las zonas productoras a las zonas consumidoras, está constituida por una gran cantidad de términos. Cada término indica la cantidad a transportar del lugar de producción a los distintos lugares de consumo, en el modelo general están representadas por x_{ij} ; éstas son multiplicadas por el costo de transporte de cada uno de los orígenes a los diferentes destinos, los que se representan por c_{ij} .

La función objetivo está sujeta a una serie de restricciones de oferta y demanda del producto en estudio. Se considera la producción de maíz blanco de cada entidad federativa así como su consumo. El periodo analizado es el ciclo agrícola 2009 y el 2010.

El maíz que se adquiere en el país y en el mercado externo, será enviado a los centros de consumo donde será usado como alimento de humanos y ganado, como semilla para la producción del siguiente ciclo agrícola o se perderá como merma en el proceso de comercialización.

Las restricciones de oferta están formadas por los estados que cumpliendo con su demanda interna tienen un excedente que les permite ofrecerlo a los estados deficitarios. Estas restricciones están representadas por las x_{ij} , son desigualdades menores o igual cuando se tiene una mayor producción con respecto al consumo. Si fuera el caso contrario donde la demanda es mayor que la oferta, la desigualdad a utilizar sería mayor igual que ($\geq$) y cuando la

demanda es igual a la oferta, es decir, que está en equilibrio se utiliza la igualdad.

Las restricciones de demanda están conformadas por los estados que no son autosuficientes en maíz blanco y que demandan de los estados oferentes para satisfacer su demanda. Estas restricciones expresan las cantidades que deberán ser enviadas de los diferentes estados oferentes a cada uno de los estados demandantes y se representan como x_{ij} . Cuando la oferta es mayor que la demanda cada restricción de demanda está igualada a la cantidad total que requieren los estados para completar su consumo interno; cuando el modelo es deficitario se utiliza la desigualdad menor o igual ($\leq$).

Modelo de transporte. Una vez identificados los orígenes, la cantidad que ofrecen, los destinos, la cantidad de maíz demandada y el costo de transporte por tonelada se formuló el modelo.

Desde el enfoque de investigación de operaciones el problema se define por objetivo, variables y restricciones. Para el problema de estudio quedó:

Objetivo: Asignar la cantidad de maíz blanco (Ton), a los estados demandantes de manera que se minimice el costo de transporte.

Variables: Cantidad de maíz asignada a cada estado.

Restricciones: Capacidad limitada de los estados oferentes y tratar de abastecer las cantidades demandadas de los deficitarios.

De manera general el modelo queda:

min

$$Z_0 = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn}$$

Donde: Z_0 = valor de la función objetivo,

i = índice de Estado origen (oferente), donde $i = 1, 2, \dots, m$

j = índice de Estado destino (demandante), donde $j = 1, 2, \dots, n$

X_{ij} = variables de decisión que se determinan con la solución del modelo, es la cantidad de maíz asignada del origen i al destino j

C_{ij} = coeficiente de la variable X_{ij} , representa la cantidad con la cual contribuye cada unidad de la variable X_{ij} , al valor total deseado en el objetivo. En el modelo representa el costo de transporte por tonelada del origen i hasta el destino j .

Cabe señalar que el programa utilizado puede confundir los subíndices de la variable, por ejemplo en la variable X_{111} , hay dos opciones, el origen 1 destino 11, o el origen 11 destino 1, por esto en el modelo se cambió solo en el primer origen $i=1$ por $i=a$.

Sujeta a las restricciones:

Cada modelo tiene tantas restricciones de oferta como el número de orígenes i que existan y tantas restricciones de demanda como el número de destinos j que existan.

Restricciones de oferta: pueden haber dos situaciones, que la oferta sea mayor que la demanda y para este caso en las restricciones se utiliza el símbolo $\leq$. El otro caso es cuando la oferta es menor que la demanda, donde se utiliza el símbolo $=$ en las restricciones, lo que garantiza que se transportará toda la cantidad disponible, porque si utilizara la desigualdad $\leq$, el costo menor se obtendría al no mandar nada a ningún destino.

Restricciones de demanda: al igual que las restricciones de oferta, cuando la oferta es mayor, cada restricción es igual a la cantidad que necesita la entidad. Cuando la demanda es mayor que la oferta, se utiliza en las desigualdades el símbolo $\leq$, garantizando así que las cantidades demandadas serán satisfechas.

De manera abstracta los modelos quedan de la siguiente manera:

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

Sujeto a

En un modelo con superávit En un modelo deficitario

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq a_i$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = a_i$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_j$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq b_j$$

$$x_{ij} \geq 0$$

En virtud de que el problema puede ajustarse a un modelo matemático y que el número de variables es menor de 500, se optó por utilizar el Paquete de programación LINDO 6.1 para obtener el resultado. Una limitación importante es que LINDO solo soporta 500 variables y 250 restricciones como máximo en un modelo de optimización, esto significa que se puede trabajar bien con 10 orígenes y 50 destinos (500) o cualquier otra combinación donde el producto resulte menor de 500.

Ya planteado el modelo se captura en el paquete computacional lindo o cualquier otro programa de software que resuelva modelos de optimización con muchas variables. Al resolver el modelo se obtendrá el valor de la función objetivo y cuáles serán las cantidades óptimas que deban enviarse de cada origen a cada uno de los destinos. Los orígenes que en los modelos no distribuyan el total de su producción excedente, es decir, que quedan con valores en el costo reducido serán considerados como los orígenes menos mejor ubicados, indicando el costo o disminución que tendrá la función objetivo por cada unidad que se pretenda agregar para su realización. Y los orígenes que queden con valor cero en el costo reducido son considerados como los orígenes mejor ubicados. También en la salida del modelo los resultados de costo mínimo indican cuanto aumentaría la función objetivo si se agregara una unidad más de oferta en los lugares mejor ubicados.

3.2.- Procesamiento del modelo de mercado cerrado

En el modelo de transporte de mercado cerrado se consideró sólo la producción nacional y el consumo interno. Se buscó distribuir de manera óptima el grano de aquellas entidades con producción excedente.

Se identificaron los estados que son oferentes o demandantes. En 2009 la producción nacional fue de 20,202,608 ton de maíz blanco, se exportaron 277,700 ton y se importaron 162,900 ton, lo que da un consumo nacional aparente de 20,087,808 ton que dividido por la población total de 2009, da un consumo per cápita de 0.187 ton. Se considera que cada estado distribuye primero su producción para autoconsumo, los que tienen signo positivo

representan a aquellos que después de satisfacer su demanda aún cuentan con producto sobrante (Cuadro 3), y los de signo negativo representan a las entidades que con su pequeña o nula producción no alcanzan a satisfacer su consumo interno (Cuadro 4) y por esto la tienen que obtener de aquellas que tienen excedente. Los estados oferentes son 12 y los demandantes 20.

Cuadro 3. Estados con cantidad disponible de maíz en 2009.

Estados	Prod. 2009 (ton)	Habitantes	Consumo Per cápita	Consumo (ton)	Oferta (ton)
Campeche	278,624	791322	0.187	147977.214	130,647
Chiapas	1,220,241	4483886	0.187	838486.682	381,754
Chihuahua	973,828	3376062	0.187	631323.594	342,504
Durango	335,311	1547597	0.187	289400.639	45,910
Guerrero	1,125,266	3143292	0.187	587795.604	537,470
Hidalgo	510,060	2415461	0.187	451691.207	58,369
Jalisco	2,544,284	6989304	0.187	1306999.85	1,237,284
Michoacán	1,229,657	3971225	0.187	742619.075	487,038
Nayarit	220,068	968257	0.187	181064.059	39,004
Sinaloa	5,234,074	2650499	0.187	495643.313	4,738,431
Tlaxcala	274,416	1127331	0.187	210810.897	63,605
Zacatecas	387,437	1380633	0.187	258178.371	129,259

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA.

Se puede observar que los estados con mayor población son los que requieren de más grano.

Cuadro 4. Estados demandantes de maíz blanco en 2009.

Estados	Prod. 2009 (ton)	Habitantes	Consumo Per cápita	Consumo (ton)	Demanda (ton)
Aguascalientes	45,404	1133137	0.187	211896.619	-166,493
Baja California	0	3122408	0.187	583890.296	-583,890
Baja California Sur	20,716	558425	0.187	104425.475	-83,709
Coahuila	16,508	2615574	0.187	489112.338	-472,604
Colima	28,733	597043	0.187	111647.041	-82,914
Distrito Federal	7,964	8839361	0.187	1652960.51	-1,644,997
Guanajuato	847,989	5033276	0.187	941222.612	-93,234
México	1,314,211	14739060	0.187	2756204.22	-1,441,993
Morelos	81,676	1859708	0.187	347765.396	-266,089
Nuevo León	35,932	4420909	0.187	826709.983	-790,778
Oaxaca	589,188	3551710	0.187	664169.77	-74,982
Puebla	658,940	5624104	0.187	1051707.45	-392,767
Querétaro	214,760	1705267	0.187	318884.929	-104,125
Quintana Roo	33,769	1290323	0.187	241290.401	-207,521
San Luis Potosí	114,074	2479450	0.187	463657.15	-349,583
Sonora	103,919	2499263	0.187	467362.181	-363,443
Tabasco	117,534	2045294	0.187	382469.978	-264,936
Tamaulipas	428,203	3174134	0.187	593563.058	-165,360
Veracruz	1,167,391	7270413	0.187	1359567.23	-192,176
Yucatán	42,431	1909965	0.187	357163.455	-314,732

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP-SAGARPA.

El Estado de México, Guanajuato y Veracruz, obtienen una cosecha alta pero demandan más de lo que producen. En los últimos años Baja California no ha cultivado maíz.

Cuadro 5. Distribución óptima del modelo cerrado 2009.

VARIABLE	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD DISTRIBUIDA
Xa19	CAMPECHE	YUCATÁN (Mérida)	130647
X213	CHIAPAS (Tuxtla G.)	QUINTANA ROO (Cancún)	207521
X219	CHIAPAS (Tuxtla G.)	YUCATÁN (Mérida)	174233
X315	CHIHUAHUA	SONORA (Nogales)	342504
X417	DURANGO	TAMAULIPAS (Tampico)	45910
X58	GUERRERO (Acapulco)	MORELOS (Cuernavaca)	286627
X516	GUERRERO (Acapulco)	TABASCO (Villahermosa)	69353
X518	GUERRERO (Acapulco)	VERACRUZ	192176
X519	GUERRERO (Acapulco)	YUCATÁN (Mérida)	9852
X611	HIDALGO (Pachuca)	PUEBLA	58369
X71	JALISCO (Guadalajara)	AGUASCALIENTES	166493
X75	JALISCO (Guadalajara)	DISTRITO FEDERAL	995809
X710	JALISCO (Guadalajara)	OAXACA	74982
X87	MICHOACÁN (Morelia)	MEXICO (Toluca)	291455
X816	MICHOACÁN (Morelia)	TABASCO (Villahermosa)	195583
X917	NAYARIT (Tepic)	TAMAULIPAS (Tampico)	39004
X102	SINALOA (Culiacán)	BAJA CALIFORNIA S. (La Paz)	83709
X103	SINALOA (Culiacán)	COAHUILA (Torreón)	472604
X104	SINALOA (Culiacán)	COLIMA (Manzanillo)	82914
X105	SINALOA (Culiacán)	DISTRITO FEDERAL	649188
X106	SINALOA (Culiacán)	GUANAJUATO (Irapuato)	93234
X107	SINALOA (Culiacán)	MÉXICO (Toluca)	1150538
X109	SINALOA (Culiacán)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	790778
X1011	SINALOA (Culiacán)	PUEBLA	270793
X1012	SINALOA (Culiacán)	QUERÉTARO (S. J. del Rio)	104125
X1014	SINALOA (Culiacán)	SAN LUIS POTOSÍ	220324
X1015	SINALOA (Culiacán)	SONORA (Nogales)	20939
X1017	SINALOA (Culiacán)	TAMAULIPAS (Tampico)	80446
X1020	SINALOA (Culiacán)	BAJA CALIFORNIA (Tijuana)	583890
X1111	TLAXCALA (Apizaco)	PUEBLA	63605
X1214	ZACATECAS	SAN LUIS POTOSÍ	129259
Total			8056328

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución de LINDO.

Existen varias formas de transportar los productos agrícolas, para la formulación del modelo se consideró solo el sistema terrestre por carretera debido a que es el medio más utilizado en México. El costo de transporte calculado se encuentra en los Anexos 9 y 10, es importante aclarar que las tarifas no incluyen impuestos ni seguro de la mercancía. El modelo en Lindo está en el anexo 14. En este año el consumo estimado es de 20,067,661 ton, es decir la oferta es mayor a la demanda, por lo que el modelo planteado es de superávit. El valor de la función objetivo es 0.3967944E+10. Esto indica que

para distribuir el maíz excedente como lo indica la solución óptima del modelo de transporte se necesita la cantidad de \$3,967,944,000.00 pesos.

Todos alcanzan a satisfacer su demanda y en Sinaloa sobran 134,949 ton, no obstante que distribuye a 13 estados.

En la solución de LINDO se observó las variables que entraron a la solución básica, su valor en toneladas y el costo reducido de cero, indicando que son los lugares mejor ubicados. Las variables no básicas tienen un valor cero y un costo reducido que nos indica la cantidad a disminuir en el costo de transporte para llegar a ser básica.

Posteriormente en la lista del faltante o sobrante y los precios duales, se observó que en el renglón 11 que corresponde a la restricción de oferta de Sinaloa, hay un sobrante de 134,949 ton de maíz.

3.3.- Modelo de mercado cerrado 2010

La producción de maíz blanco está diseminada en todo el territorio nacional, de acuerdo a los datos de SIAP-SAGARPA en 2010 Baja California fue el único estado sin producción.

La producción total fue de 23,301,878 toneladas sin embargo esta no superó al consumo nacional del mismo año estimado en 23,590,673 ton.

Los estados con mayor producción fueron Guerrero (6.06%), Jalisco (14.5%), Michoacán (6.5%) y Sinaloa (22.4%) que contribuyeron con el 49.46% de la producción total. Los ciclos de cultivo son dos, primavera-verano y otoño-invierno, en temporal y riego.

En 2010 la población nacional fue de 112,336,538 habitantes, concentrándose en el Estado de México (13.51%), Distrito Federal (7.87%), Veracruz (6.8%). Jalisco (6.5%), Puebla (5.14%), Chiapas (4.27%). En estos seis estados se concentra el 44% de la población del país.

El consumo per cápita para los años de estudio varió debido a que en el 2009, la población de 107,313,693 habitantes fue la estimada por el CONAPO, y en el 2010 se utilizó la proporcionada por el Censo de Población y Vivienda 2010 del

INEGI que asciende a 112,336,538 habitantes, además por la variación de la producción nacional del grano.

En 2010 la producción nacional de maíz blanco fue de 23,301,878 ton, se exportaron 50,500 ton y se importaron 403,300 ton, lo que da un consumo nacional aparente de 23,654,678 ton que dividido por la población total de este año, da un consumo per cápita de 0.210 ton.

El Estado de México y el Distrito Federal, Jalisco, Veracruz y Guanajuato, son los lugares que demandan mayores cantidades de maíz.

A diferencia del de 2009, para el ciclo agrícola 2010 los estados oferentes son 10 y los demandantes son 22. Durango, Nayarit y Zacatecas ya no son oferentes como en el ciclo anterior y Guanajuato deja de ser demandante.

Las entidades que tienen demanda insatisfecha de maíz blanco requieren 9,200,936 ton, concentrándose en el Distrito Federal, México, Nuevo León, Veracruz y Coahuila. Los estados origen tienen una oferta de 8,912,142 ton, siendo los principales productores Sinaloa, Jalisco, Guerrero y Michoacán.

Diseño del modelo de transporte para mercado cerrado. En un mercado cerrado, los estados origen solo distribuirán su producción excedente a los demandantes y el modelo puede tomar todo, parte o nada de la producción de los oferentes al realizar las iteraciones. En el caso de un modelo con déficit, van a haber estados que no sean abastecidos en su totalidad o que no se les mande nada. A pesar de que en la práctica los productos se pueden adquirir en los mercados locales o internacionales, el modelo de mercado cerrado es importante en el caso de desabasto en el exterior, ya sea por malas cosechas, porque aparecen nuevos usos o competidores que dificultan el abasto o por políticas restrictivas.

Al elaborar la función objetivo se considera el costo de transporte por tonelada de producto de cada origen a cada uno de los destinos (c_{ij}), multiplicado por la cantidad que debería enviarse a cada uno de ellos (x_{ij}). La función objetivo está formada por 220 términos que son 10 diez estados oferentes y los 22 estados demandantes. Ejemplo: $870x_{a22}$ indica que cuestan \$870.00 pesos enviar una

tonelada de maíz, multiplicada por “x” toneladas de grano del origen “a” al destino “22” (de Campeche a Yucatán) y se lee 870 equis a-veintidos.

El siguiente modelo está planteado para poder resolverse en el programa computacional LINDO:

Función objetivo:

min

812Xa1+2702Xa2+1054Xa3+987Xa4+733Xa5+1007Xa6+767Xa7+573Xa8+939Xa9+967Xa10+595Xa11+502Xa12+638Xa13+314Xa14+761Xa15+1676Xa16+252Xa17+662Xa18+422Xa19+105Xa20+1953Xa21+870Xa22+

668X21+2560X22+910X23+843X24+583X25+863X26+454X27+408X28+795X29+880X210+449X211+358X212+495X213+555X214+617X215+1532X216+168X217+519X218+371X219+398X220+1811X221+726X222+

475X31+1457X32+313X33+745X34+788X35+459X36+706X37+758X38+615X39+733X310+944X311+775X312+636X313+1514X314+513X315+385X316+1085X317+696X318+913X319+1352X320+708X321+417X322+

124X41+1878X42+328X43+376X44+263X45+407X46+197X47+288X48+315X49+367X410+389X411+293X412+96X413+959X414+125X415+986X416+495X417+387X418+334X419+744X420+1179X421+197X422+

415X51+2153X52+652X53+337X54+350X55+653X56+262X57+193X58+508X59+595X510+387X511+287X512+343X513+952X514+368X515+1281X516+492X517+426X518+332X519+742X520+1455X521+469X522+

353X61+2163X62+503X63+446X64+130X65+456X66+123X67+139X68+398X69+433X610+321X611+95X612+116X613+810X614+280X615+1135X616+382X617+297X618+279X619+654X620+1412X621+425X622+

152X71+1742X72+334X73+367X74+350X75+415X76+433X77+467X78+230X79+400X710+475X711+430X712+266X713+1027X714+234X715+784X716+800X717+496X718+933X719+855X720+1043X721+225X722+

208X81+1879X82+390X83+633X84+340X85+372X86+146X87+278X88+315X89+518X810+387X811+290X812+119X813+1067X814+209X815+985X816+492X817+347X818+332X819+746X820+1178X821+281X822+

567X91+1521X92+391X93+502X94+686X95+358X96+591X97+684X98+337X99+717X910+862X911+693X912+564X913+1432X914+539X915+495X916+1003X917+746X918+831X919+1271X920+773X921+418X922+

402X101+2210X102+543X103+496X104+207X105+497X106+141X107+128X108+440X109+495X1010+259X1011+83X1012+171X1013+759X1014+334X1015+1176X1016+447X1017+309X1018+217X1019+602X1020+1461X1021+360X1022

SUBJECT TO [Los diez orígenes conforman las restricciones de oferta, es decir la suma de lo que se mande del origen a cada uno de los 22 destinos debe ser igual a su excedente]

Xa1+Xa2+Xa3+Xa4+Xa5+Xa6+Xa7+Xa8+Xa9+Xa10+Xa11+Xa12+Xa13+Xa14+Xa15+Xa16+Xa17+Xa18+Xa19+Xa20+Xa21+Xa22=211870 [es la cantidad de maíz del origen “a” (Campeche) para ofertar a los 22 destinos]

X21+X22+X23+X24+X25+X26+X27+X28+X29+X210+X211+X212+X213+X214+X215+X216+X217+X218+X219+X220+X221+X222=387215 [cantidad de maíz del origen “2” (Chiapas) a los 22 destinos]

$X31+X32+X33+X34+X35+X36+X37+X38+X39+X310+X311+X312+X313+X314+X315+X316+X317+X318+X319+X320+X321+X322=353331$ [cantidad de maíz del origen “3” (Chihuahua) a los 22 destinos]

$X41+X42+X43+X44+X45+X46+X47+X48+X49+X410+X411+X412+X413+X414+X415+X416+X417+X418+X419+X420+X421+X422=33034$ [cantidad de maíz del origen “4” (Guanajuato) a los 22 destinos]

$X51+X52+X53+X54+X55+X56+X57+X58+X59+X510+X511+X512+X513+X514+X515+X516+X517+X518+X519+X520+X521+X522=702332$ [cantidad de maíz del origen “5” (Guerrero) a los 22 destinos]

$X61+X62+X63+X64+X65+X66+X67+X68+X69+X610+X611+X612+X613+X614+X615+X616+X617+X618+X619+X620+X621+X622=53666$ [cantidad de maíz del origen “6” (Hidalgo) a los 22 destinos]

$X71+X72+X73+X74+X75+X76+X77+X78+X79+X710+X711+X712+X713+X714+X715+X716+X717+X718+X719+X720+X721+X722=1851429$ [cantidad de maíz del origen “7” (Jalisco) a los 22 destinos]

$X81+X82+X83+X84+X85+X86+X87+X88+X89+X810+X811+X812+X813+X814+X815+X816+X817+X818+X819+X820+X821+X822=612766$ [cantidad de maíz del origen “8” (Michoacán) a los 22 destinos]

$X91+X92+X93+X94+X95+X96+X97+X98+X99+X910+X911+X912+X913+X914+X915+X916+X917+X918+X919+X920+X921+X922=4646642$ [cantidad de maíz del origen “9” (Sinaloa) a los 22 destinos]

$X101+X102+X103+X104+X105+X106+X107+X108+X109+X1010+X1011+X1012+X1013+X1014+X1015+X1016+X1017+X1018+X1019+X1020+X1021+X1022=59857$ [cantidad de maíz del origen “10” (Tlaxcala) a los 22 destinos]

[Los 22 destinos generan las restricciones de demanda, es decir, la suma de lo que mande cada destino debe ser menor o igual al faltante de cada destino]

$Xa1+X21+X31+X41+X51+X61+X71+X81+X91+X101 \leq 197220$ [cantidad de maíz que demanda Aguascalientes para ser abastecido por los 10 orígenes]

$Xa2+X22+X32+X42+X52+X62+X72+X82+X92+X102 \leq 116681$ [lo que demanda Baja California Sur]

$Xa3+X23+X33+X43+X53+X63+X73+X83+X93+X103 \leq 537885$ [lo que demanda Coahuila]

$Xa4+X24+X34+X44+X54+X64+X74+X84+X94+X104 \leq 98476$ [lo que demanda Colima]

$Xa5+X25+X35+X45+X55+X65+X75+X85+X95+X105 \leq 1849898$ [lo que demanda Distrito Federal]

$Xa6+X26+X36+X46+X56+X66+X76+X86+X96+X106 \leq 93479$ [lo que demanda Durango]

$Xa7+X27+X37+X47+X57+X67+X77+X87+X97+X107 \leq 1637386$ [lo que demanda México]

$Xa8+X28+X38+X48+X58+X68+X78+X88+X98+X108 \leq 279210$ [lo que demanda Morelos]

$Xa9+X29+X39+X49+X59+X69+X79+X89+X99+X109 \leq 51622$ [lo que demanda Nayarit]

$Xa10+X210+X310+X410+X510+X610+X710+X810+X910+X1010 \leq 916491$ [lo que demanda Nuevo León]

$Xa11+X211+X311+X411+X511+X611+X711+X811+X911+X1011 \leq 152881$ [lo que demanda Oaxaca]

$X_{a12}+X_{212}+X_{312}+X_{412}+X_{512}+X_{612}+X_{712}+X_{812}+X_{912}+X_{1012} \leq 133302$ [lo que demanda Puebla]
 $X_{a13}+X_{213}+X_{313}+X_{413}+X_{513}+X_{613}+X_{713}+X_{813}+X_{913}+X_{1013} \leq 101440$ [lo que demanda Querétaro]
 $X_{a14}+X_{214}+X_{314}+X_{414}+X_{514}+X_{614}+X_{714}+X_{814}+X_{914}+X_{1014} \leq 222592$ [lo que demanda Quintana Roo]
 $X_{a15}+X_{215}+X_{315}+X_{415}+X_{515}+X_{615}+X_{715}+X_{815}+X_{915}+X_{1015} \leq 377190$ [lo que demanda San Luis Potosí]
 $X_{a16}+X_{216}+X_{316}+X_{416}+X_{516}+X_{616}+X_{716}+X_{816}+X_{916}+X_{1016} \leq 318167$ [lo que demanda Sonora]
 $X_{a17}+X_{217}+X_{317}+X_{417}+X_{517}+X_{617}+X_{717}+X_{817}+X_{917}+X_{1017} \leq 365639$ [lo que demanda Tabasco]
 $X_{a18}+X_{218}+X_{318}+X_{418}+X_{518}+X_{618}+X_{718}+X_{818}+X_{918}+X_{1018} \leq 146226$ [lo que demanda Tamaulipas]
 $X_{a19}+X_{219}+X_{319}+X_{419}+X_{519}+X_{619}+X_{719}+X_{819}+X_{919}+X_{1019} \leq 631613$ [lo que demanda Veracruz]
 $X_{a20}+X_{220}+X_{320}+X_{420}+X_{520}+X_{620}+X_{720}+X_{820}+X_{920}+X_{1020} \leq 290130$ [lo que demanda Yucatán]
 $X_{a21}+X_{221}+X_{321}+X_{421}+X_{521}+X_{621}+X_{721}+X_{821}+X_{921}+X_{1021} \leq 662565$ [lo que demanda Baja California]
 $X_{a22}+X_{222}+X_{322}+X_{422}+X_{522}+X_{622}+X_{722}+X_{822}+X_{922}+X_{1022} \leq 20845$ [lo que demanda Zacatecas]

Interpretación de resultados y solución óptima. Para el 2010 el valor de la función objetivo indica que el costo para transportar de manera óptima el maíz es de \$4,130,075,000.00 pesos. Comparado con el resultado del modelo de 2009, el costo incrementó en 4%, hubo un incremento en la cantidad a distribuir y una reducción de los estados oferentes. En la primera columna del cuadro 6 están las variables básicas. De la solución se obtienen tres situaciones a resaltar, aquellos Estados que satisfacen completa su demanda, en parte y aquellos que no entran a la solución óptima. Los primeros son Aguascalientes, Coahuila, Colima, Distrito Federal, Durango, México, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luis Potosí, Sonora, Tabasco, Tamaulipas, Veracruz, Yucatán, Baja California y Zacatecas. El estado que no satisface completa su demanda es Quintana Roo y el que no entra a la solución es Baja California Sur. La cantidad faltante para cubrir la demanda es de 288,794 ton.

Análisis de sensibilidad. Para obtener un informe de sensibilidad en LINDO, se selecciona Yes cuando pregunta, después de resolver un problema lineal, si desea un *Range analysis* (análisis de intervalos).

Cuadro 6. Distribución óptima del modelo cerrado 2010.

VARIABLE	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD DISTRIBUIDA
a20	CAMPECHE	YUCATÁN (Mérida)	211870
X214	CHIAPAS (Tuxtla G.)	QUINTANA ROO (Cancún)	50477
X217	CHIAPAS (Tuxtla G.)	TABASCO (Villahermosa)	258478
X220	CHIAPAS (Tuxtla G.)	YUCATÁN (Mérida)	78260
X33	CHIHUAHUA	COAHUILA (Torreón)	35164
X316	CHIHUAHUA	SONORA (Nogales)	318167
X413	GUANAJUATO (Irapuato)	QUERÉTARO (S. Juan del Rio)	33034
X58	GUERRERO (Acapulco)	MORELOS (Cuernavaca)	279210
X517	GUERRERO (Acapulco)	TABASCO (Villahermosa)	107161
X519	GUERRERO (Acapulco)	VERACRUZ	315961
X612	HIDALGO (Pachuca)	PUEBLA	53666
X71	JALISCO (Guadalajara)	AGUASCALIENTES	197220
X75	JALISCO (Guadalajara)	DISTRITO FEDERAL	1501328
X711	JALISCO (Guadalajara)	OAXACA	152881
X87	MICHOACÁN (Morelia)	MEXICO (Toluca)	297114
X819	MICHOACÁN (Morelia)	VERACRUZ	315652
X93	SINALOA (Culiacán)	COAHUILA (Torreón)	502721
X94	SINALOA (Culiacán)	COLIMA (Manzanillo)	98476
X95	SINALOA (Culiacán)	DISTRITO FEDERAL	348570
X96	SINALOA (Culiacán)	DURANGO	93479
X97	SINALOA (Culiacán)	MÉXICO (Toluca)	1340272
X99	SINALOA (Culiacán)	NAYARIT (Tepic)	51522
X910	SINALOA (Culiacán)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	916491
X912	SINALOA (Culiacán)	PUEBLA	19779
X913	SINALOA (Culiacán)	QUERÉTARO (S. J. del Rio)	68406
X915	SINALOA (Culiacán)	SAN LUIS POTOSÍ	377190
X918	SINALOA (Culiacán)	TAMAULIPAS (Tampico)	146226
X921	SINALOA (Culiacán)	BAJA CAL. N. (Tijuana)	662565
X922	SINALOA (Culiacán)	ZACATECAS	20845
X1012	TLAXCALA (Apizaco)	PUEBLA	59857
Total			8912142

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución de LINDO.

Intervalos para los coeficientes de la función objetivo. En un modelo de transporte el costo de transporte (coeficientes c_{ij}) puede aumentar o disminuir, y si se mantiene en el intervalo de incremento o decremento permisible (allowable increase/allowable decrease) la base actual permanecerá sin cambios. Esta información es útil para saber si el incremento en el precio de combustible, de peaje o de refacciones cambia la solución básica, o para saber cuánto reducir el costo de transporte para que una ruta entre a la solución.

En el caso de la variable X_{a9} (de Campeche a Nayarit) que es no básica, el coeficiente actual es 939 pesos, tiene un incremento permisible $+\infty$, es decir, si

el costo de transporte se incrementa de manera indefinida, no entrará a la solución. El decremento permisible es de 1664, para que esta variable entre a la solución tendría que disminuir 1665 pesos el costo de transporte o subsidiarlo en esta cantidad para poder enviarlo. Esta información es útil para medidas de política.

Para la variable X_{a20} (de Campeche a Yucatán) que es ruta activa, el coeficiente actual es de 105 pesos, tiene un incremento permisible de 52, por lo tanto si el costo de transporte aumenta hasta 157 la solución no cambia, si rebasa esta cantidad deja de ser ruta activa. Por otro lado el decremento permisible es ∞ , lo que quiere decir que si baja el costo, la ruta va a seguir siendo activa.

Costos reducidos (reduced cost). En el caso de un problema de minimización, la variable X_{a9} tendría que disminuir en 1664 su costo de transporte, para que hayan soluciones óptimas alternas en la que esta ruta se active. La variable X_{a20} al ser básica tiene un costo reducido de 0.

Intervalos para los lados derechos. Se encuentran en la sección righthand side ranges. Proporciona el intervalo en que puede aumentar o disminuir la parte derecha de las restricciones. Para la primera restricción de oferta (b_1) que corresponde a Campeche, el valor actual es de 211870 ton, tiene un decremento permisible de 50477 y un incremento permisible de 78260 ton. Si se mantiene en el intervalo de 290130 a 161393 ton la solución básica continúa siendo la misma. Este estado puede vender a otros clientes hasta 50477 ton sin afectar la solución óptima o aumentar la producción.

En la restricción de demanda a_1 que corresponde al estado de Aguascalientes, el valor actual requerido es de 197220 ton, tiene un incremento permisible de 50477 y un decremento permisible de 172115 ton, por lo tanto la demanda puede variar de 247697 ton a 25105 ton manteniendo la solución óptima.

Precios sombra y precios dual. En la primera restricción de oferta b_1 , si Campeche aumentara una tonelada estando en el intervalo permisible, el costo de transporte disminuiría -262 pesos o incrementaría los costos 262 pesos.

Para la restricción de demanda a1 si la Aguascalientes requiere una tonelada más, la función objetivo disminuiría 836 pesos.

3.4.- Procesamiento del modelo de mercado abierto

Una economía abierta mantiene relaciones comerciales con el resto del mundo, importando y exportando bienes. En el modelo anterior de economía cerrada se tuvo un faltante para abastecer a las entidades con déficit, por lo que se va a importar con el objetivo de traer el grano faltante.

Para formular el modelo de mercado abierto, se recurrió a la información de importaciones de maíz blanco proporcionada por la Secretaría de Economía, donde se observó que éstas llegan de Estados Unidos y a partir de Abril de 2011 también de la República de Sudáfrica.

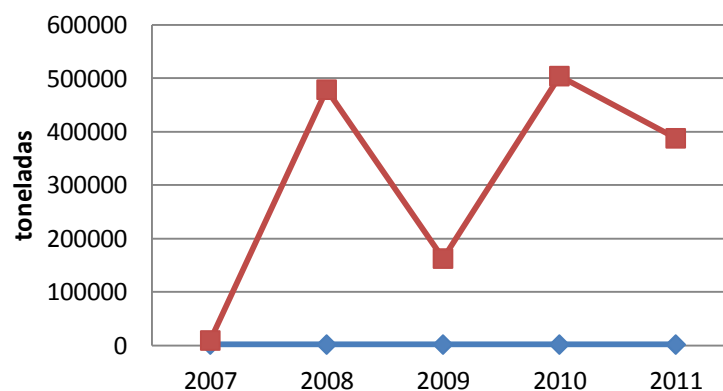


Figura 3. Importaciones de maíz blanco, origen Estados Unidos.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía (Fracciones arancelarias).

El comportamiento de las importaciones de un año a otro, están en función directa con la producción nacional, del comportamiento del consumo y la política comercial practicada por el gobierno de México.

Como el modelo cerrado es deficitario, al convertirse en modelo abierto tratará de abastecer la demanda interna, por lo tanto en la función objetivo y en las restricciones de demanda se agregan como nuevos orígenes y en las restricciones de oferta se agregan como la suma de lo que cada punto frontera nuevo abastecerá a los estados demandantes y se iguala al déficit total.

Información de SAGARPA-SIAP indica que los principales puntos de entrada son Nuevo Laredo, Ciudad Juárez y Piedras Negras por tierra, además Veracruz y Tuxpan por puerto. Como el modelo requiere de nuevos orígenes, se eligieron a Nuevo Laredo, Tamps., Ciudad Juárez, Chih. y debido a que fletes.com no tiene información de Tuxpan, Ver. y que Veracruz ya es un destino, se seleccionó Coatzacoalcos como puerto de entrada.

Cuadro 7. Distribución óptima del modelo de mercado abierto 2010.

VARIABLE	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD DISTRIBUIDA
Xa20	CAMPECHE	YUCATÁN (Mérida)	211870
X214	CHIAPAS (Tuxtla G.)	QUINTANA ROO (Cancún)	222592
X217	CHIAPAS (Tuxtla G.)	TABASCO (Villahermosa)	86363
X220	CHIAPAS (Tuxtla G.)	YUCATÁN (Mérida)	78260
X33	CHIHUAHUA	COAHUILA (Torreón)	35164
X316	CHIHUAHUA	SONORA (Nogales)	318167
X413	GUANAJUATO (Irapuato)	QUERÉTARO (S. Juan del Rio)	33034
X58	GUERRERO (Acapulco)	MORELOS (Cuernavaca)	279210
X519	GUERRERO (Acapulco)	VERACRUZ	423122
X612	HIDALGO (Pachuca)	PUEBLA	53666
X71	JALISCO (Guadalajara)	AGUASCALIENTES	197220
X75	JALISCO (Guadalajara)	DISTRITO FEDERAL	1501328
X711	JALISCO (Guadalajara)	OAXACA	152881
X87	MICHOACÁN (Morelia)	MEXICO (Toluca)	413793
X819	MICHOACÁN (Morelia)	VERACRUZ	198973
X92	SINALOA (Culiacán)	BAJA CALIFORNIA SUR (La Paz)	116679
X93	SINALOA (Culiacán)	COAHUILA (Torreón)	502721
X94	SINALOA (Culiacán)	COLIMA (Manzanillo)	98476
X95	SINALOA (Culiacán)	DISTRITO FEDERAL	348570
X96	SINALOA (Culiacán)	DURANGO	93479
X97	SINALOA (Culiacán)	MÉXICO (Toluca)	1223593
X99	SINALOA (Culiacán)	NAYARIT (Tepic)	51622
X910	SINALOA (Culiacán)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	916491
X912	SINALOA (Culiacán)	PUEBLA	19779
X913	SINALOA (Culiacán)	QUERÉTARO (S. J. del Rio)	68406
X915	SINALOA (Culiacán)	SAN LUIS POTOSÍ	377190
X918	SINALOA (Culiacán)	TAMAULIPAS (Tampico)	146226
X921	SINALOA (Culiacán)	BAJA CAL. N. (Tijuana)	662565
X922	SINALOA (Culiacán)	ZACATECAS	20845
X1012	TLAXCALA (Apizaco)	PUEBLA	59857
X1317	Coatzacoalcos, VER.	TABASCO (Villahermosa)	279276
X1319	Coatzacoalcos, VER.	VERACRUZ	9518
Total			9200936

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución de LINDO.

Debido a lo anterior, el modelo aumentó sus orígenes a trece, incluyendo los puntos frontera y los destinos continuaron en veintidós. Se calcularon los costos

de transporte de cada uno de los puntos frontera a los destinos, y se agregaron a la función objetivo. Una vez que se agregó al modelo de mercado cerrado la parte del mercado abierto se resolvió el modelo.

La solución óptima recomendada para este modelo fue similar a la distribución del modelo cerrado, los Estados de Chiapas, Guerrero, Michoacán y Sinaloa cambiaron su manera de distribución y las 288,794 ton faltantes sugirió que se ingresaran por el puerto Coatzacoalcos. El costo para distribuir de manera óptima el maíz a los Estados demandantes asciende a \$4,298,797,000.00

3.5.- Procesamiento del modelo con la producción potencial

La producción de maíz en cada entidad ha ido variando cada ciclo agrícola. Cuando el cultivo se hace en régimen de riego o temporal, las variables que hacen que la producción aumente son las buenas condiciones climatológicas o las mejoras en la manera de cultivar. Por el contrario, los problemas como sequías, heladas, inundación, granizadas, plagas, etc. son los que hacen que la producción se vea disminuida.

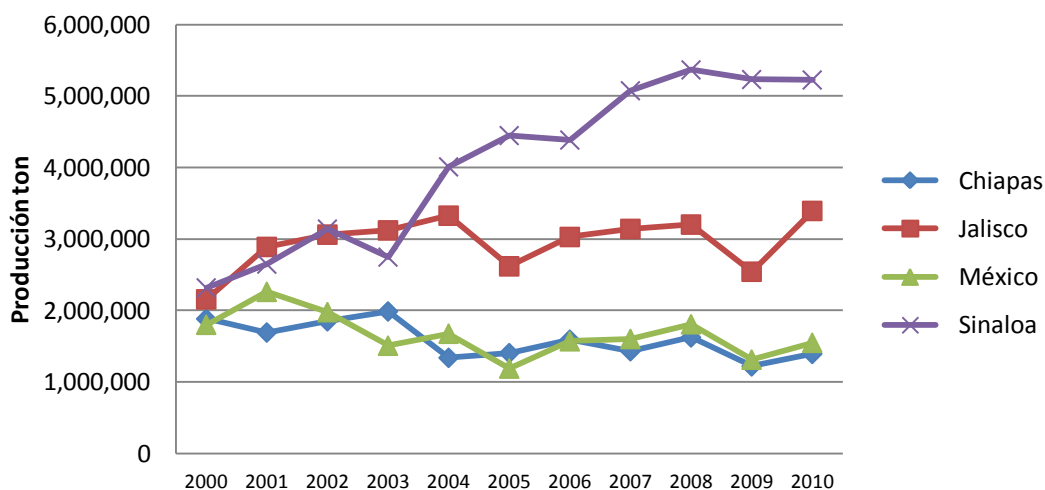


Figura 4. Producción de los principales Estados productores de maíz blanco.

Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA-SIAP.

Situaciones en las que los productos básicos se han escaseado o en las que se han impuesto restricciones para traerlas de fuera, hacen que se busque la manera de conseguirlos dentro del territorio.

En el modelo de producción potencial se consideró la producción más alta que presentó cada entidad de la República en los últimos once años, en la serie de los años 2000-2010 se seleccionó la cantidad mayor producida. Para cada estado el año de mayor producción es diferente, por ejemplo Sinaloa tiene su producción más alta en 2008, mientras que Baja California la tuvo en el 2000 y en los últimos cuatro años su producción fue nula. El resultado fue una producción mayor, que al agregarla al modelo ayudará a definir cuáles estados están mejor ubicados de los ya seleccionados en el primero, además puede ocurrir que estados que en el modelo anterior eran deficitarios, ahora sean autosuficientes o tengan producto disponible para ofrecer a otros.

Cuadro 8. Estados oferentes y demandantes con producción potencial.

Estados	Prod. Potencial	Consumo 2010	Disponible	Estados	Prod. Potencial	Consumo 2010	Disponible
Campeche	384,582	172,713	211,870	Aguascalientes	93,475	248,849	-155,374
Chiapas	1,988,701	1,007,282	981,419	Baja California	17,386	662,565	-645,179
Chihuahua	1,068,689	715,358	353,331	Baja Cal. Sur	38,301	133,775	-95,474
Durango	401,167	342,916	58,251	Coahuila	50,849	577,162	-526,313
Guanajuato	1,638,581	1,152,138	486,443	Colima	43,403	136,617	-93,214
Guerrero	1,413,973	711,641	702,332	Distrito Federal	12,654	1,858,727	-1,846,073
Hidalgo	649,211	559,654	89,557	México	2,263,287	3,186,931	-923,644
Jalisco	3,395,072	1,543,643	1,851,429	Morelos	122,714	373,218	-250,504
Michoacán	1,587,573	913,718	673,855	Nayarit	227,643	227,846	-203
Oaxaca	817,497	798,412	19,085	Nuevo León	71,148	977,226	-906,078
Sinaloa	5,368,862	581,230	4,787,632	Puebla	1,143,483	1,213,764	-70,281
Tamaulipas	711,437	686,396	25,041	Querétaro	376,461	383,867	-7,406
Tlaxcala	314,973	245,687	69,286	Quintana Roo	58,127	278,371	-220,244
Zacatecas	516,313	313,040	203,273	San Luis Potosí	223,914	542,959	-319,045
Oferta Total			10,512,804	Sonora	240,954	559,121	-318,167
				Tabasco	179,890	470,107	-290,217
				Veracruz	1,319,714	1,605,071	-285,357
				Yucatán	161,704	410,671	-248,967
				Demanda Total			-7,201,739

Fuente: Elaboración propia con información de SAGARPA-SIAP.

Para determinar cuáles estados son oferentes y demandantes se consideran los datos del modelo cerrado de 2010, el número de habitantes de cada entidad y el consumo per cápita de 0.21 ton.

Cuadro 9. Distribución óptima del modelo de producción potencial cerrado.

VARIABLE	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD DISTRIBUIDA
Xa17	CAMPECHE	YUCATÁN (Mérida)	211870
X26	CHIAPAS (Tuxtla G.)	MÉXICO (Toluca)	78223
X210	CHIAPAS (Tuxtla G.)	PUEBLA	70281
X212	CHIAPAS (Tuxtla G.)	QUINTANA ROO (Cancún)	220244
X215	CHIAPAS (Tuxtla G.)	TABASCO (Villahermosa)	290217
X216	CHIAPAS (Tuxtla G.)	VERACRÚZ	285357
X217	CHIAPAS (Tuxtla G.)	YUCATÁN (Mérida)	37097
X33	CHIHUAHUA	COAHUILA (Torreón)	35164
X314	CHIHUAHUA	SONORA (Nogales)	318167
X49	DURANGO	NUEVO LEÓN (Monterrey)	58251
X55	GUANAJUATO (Irapuato)	DISTRITO FEDERAL	159992
X511	GUANAJUATO (Irapuato)	QUERÉTARO (S. Juan del Rio)	7406
X513	GUANAJUATO (Irapuato)	SAN LUIS POTOSÍ	319045
X65	GUERRERO (Acapulco)	DISTRITO FEDERAL	280262
X66	GUERRERO (Acapulco)	MÉXICO (Toluca)	171566
X67	GUERRERO (Acapulco)	MORELOS (Cuernavaca)	250504
X75	HIDALGO (Pachuca)	DISTRITO FEDERAL	89557
X81	JALISCO (Guadalajara)	AGUASCALIENTES	155374
X85	JALISCO (Guadalajara)	DISTRITO FEDERAL	1227891
X89	JALISCO (Guadalajara)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	468164
X96	MICHOACÁN (Morelia)	MÉXICO (Toluca)	673855
X105	OAXACA	DISTRITO FEDERAL	19085
X112	SINALOA (Culiacán)	BAJA CALIFORNIA SUR (La Paz)	95474
X113	SINALOA (Culiacán)	COAHUILA (Torreón)	491149
X114	SINALOA (Culiacán)	COLIMA (Manzanillo)	93214
X118	SINALOA (Culiacán)	NAYARIT (Tepic)	203
X119	SINALOA (Culiacán)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	151349
X1118	SINALOA (Culiacán)	BAJA CAL. N. (Tijuana)	645179
X129	TAMAULIPAS (Tampico)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	25041
X135	TLAXCALA (Apizaco)	DISTRITO FEDERAL	69286
X149	ZACATECAS	NUEVO LEÓN (Monterrey)	203273
Total			7201740

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución de LINDO.

En la formulación de este modelo todas las entidades tuvieron producción de maíz blanco. Con la producción de Chiapas, Jalisco, México y Sinaloa se obtuvo el 48.3 % del total nacional que es de 26,901,738 ton, que respecto a la producción del 2010, presentó un incremento del 15.44%. Los Estados oferentes en el modelo potencial son catorce; Durango, Oaxaca, Tamaulipas y Zacatecas se agregaron a los diez Estados del modelo cerrado y los demandantes dieciocho. Para el cálculo del consumo se utilizó el consumo calculado para el 2010.

Los costos de transporte se calcularon de nuevo, debido a que el arreglo de estados oferentes y demandantes cambió. El modelo de transporte también cambió porque con la producción potencial de maíz, la oferta es mayor que la demanda, por lo tanto se formuló como uno con superávit (Anexo 16).

Como la producción potencial es mayor a las 23,301,878 ton del 2010, la distribución cambió. Todas las entidades cubrieron en parte su demanda interna y se incrementaron las oferentes. La demanda a cubrir fue de 7,201,739 ton y la oferta disponible de 10,512,804 ton. El costo por la distribución del grano a los destinos es de \$2,638,443,000.00 que comparado con el costo del modelo cerrado de \$4,130,075,000.00 del 2010, representa el 63.8%.

En general todos los Estados oferentes tuvieron un cambio en los puntos de distribución, pero Sinaloa redujo más su puntos al grado de ser el único con un sobrante de 3,311,064 ton.

3.6.- Procesamiento del modelo potencial abierto

Debido a que con producción potencial la cantidad de maíz blanco ofrecida es mayor a la cantidad demandada, el modelo abierto de superávit tiene que buscar nuevos destinos para colocar la producción sobrante.

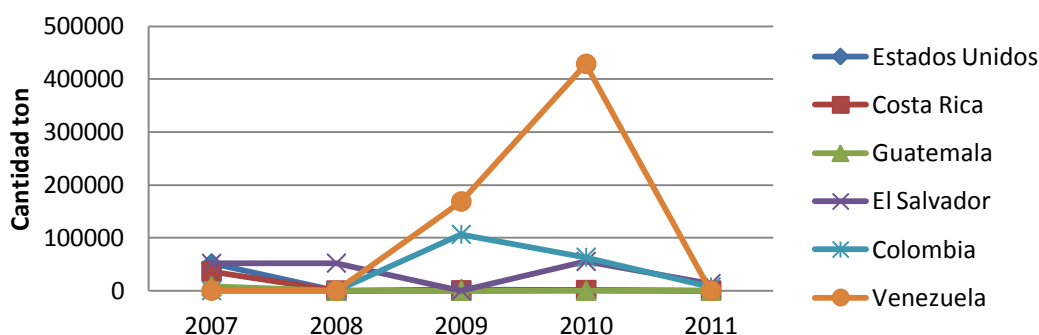


Figura 5. Exportaciones de maíz blanco de México.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía.

Un modelo cerrado excedentario al convertirse en modelo abierto buscará sacar la producción por los puntos frontera; los cuales en el modelo son considerados como nuevos destinos, que en la función objetivo y en las restricciones de

oferta se agregarán como continuación de los Estados demandantes, y en las restricciones de demanda se agregarán como la suma de lo que manda cada origen a cada nuevo destino y se iguala al excedente de producción.

Cuadro 10. Distribución óptima del modelo de producción potencial abierto.

VARIABLE	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD DISTRIBUIDA
Xa17	CAMPECHE	YUCATÁN (Mérida)	211870
X26	CHIAPAS (Tuxtla G.)	MÉXICO (Toluca)	78223
X210	CHIAPAS (Tuxtla G.)	PUEBLA	70281
X212	CHIAPAS (Tuxtla G.)	QUINTANA ROO (Cancún)	220244
X215	CHIAPAS (Tuxtla G.)	TABASCO (Villahermosa)	290217
X216	CHIAPAS (Tuxtla G.)	VERACRUZ	285357
X217	CHIAPAS (Tuxtla G.)	YUCATÁN (Mérida)	37097
X33	CHIHUAHUA	COAHUILA (Torreón)	35164
X314	CHIHUAHUA	SONORA (Nogales)	318167
X49	DURANGO	NUEVO LEÓN (Monterrey)	58251
X55	GUANAJUATO (Irapuato)	DISTRITO FEDERAL	159992
X511	GUANAJUATO (Irapuato)	QUERÉTARO (S. Juan del Río)	7406
X513	GUANAJUATO (Irapuato)	SAN LUIS POTOSÍ	319045
X65	GUERRERO (Acapulco)	DISTRITO FEDERAL	280262
X66	GUERRERO (Acapulco)	MÉXICO (Toluca)	171566
X67	GUERRERO (Acapulco)	MORELOS (Cuernavaca)	250504
X75	HIDALGO (Pachuca)	DISTRITO FEDERAL	89557
X81	JALISCO (Guadalajara)	AGUASCALIENTES	155374
X85	JALISCO (Guadalajara)	DISTRITO FEDERAL	1227891
X89	JALISCO (Guadalajara)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	468164
X96	MICHOACÁN (Morelia)	MÉXICO (Toluca)	673855
X105	OAXACA	DISTRITO FEDERAL	19085
X112	SINALOA (Culiacán)	BAJA CALIFORNIA SUR (La Paz)	95474
X113	SINALOA (Culiacán)	COAHUILA (Torreón)	491149
X114	SINALOA (Culiacán)	COLIMA (Manzanillo)	93214
X118	SINALOA (Culiacán)	NAYARIT (Tepic)	203
X119	SINALOA (Culiacán)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	151349
X1118	SINALOA (Culiacán)	BAJA CAL. N. (Tijuana)	645179
X1120	SINALOA (Culiacán)	Mazatlán, SIN.	3311064
X129	TAMAULIPAS (Tampico)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	25041
X135	TLAXCALA (Apizaco)	DISTRITO FEDERAL	69286
X149	ZACATECAS	NUEVO LEÓN (Monterrey)	203273
Total			10512804

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución de LINDO.

Las exportaciones de maíz blanco de México del 2009 al 2011 son principalmente a Venezuela, El Salvador y Colombia. En menor cantidad Estados Unidos, y Costa Rica. Con esta información hay que seleccionar los nuevos destinos por donde se pueda dar salida a la producción excedente.

Para distribuir por los puntos frontera la producción sobrante, se eligieron como nuevos destinos dos puertos que son Coatzacoalcos, Ver. y Mazatlán, Sin. y una salida por carretera en Tapachula, Chiapas. Para formular el modelo se calcularon los costos de transporte de cada origen a los nuevos destinos, de manera que quedó con 14 orígenes y 21 destinos.

El costo por la distribución del grano a los destinos es de \$3,135,103,000.00 que comparado con el costo del modelo de mercado cerrado del 2010 de \$4,130,075,000.00 representa el 75.9%, de lo que se puede concluir que si se fomentara la producción de este grano, existe la posibilidad de mejorar el costo de la distribución local y además contar con excedente para exportar, ahorrando el 24.1% de lo que la solución óptima del modelo cerrado calcula.

La distribución óptima recomendada por el modelo fue la misma que en modelo potencial cerrado, y la producción excedente de 3,311,064 ton sugiere se distribuyan por el puerto de Mazatlán, Sinaloa.

3.7.- Procesamiento del modelo de mercado cerrado 2010 mixto

En la práctica los productos se distribuyen por diferentes medios de transporte, por eso en este modelo se introduce al ferrocarril. En los modelos anteriores la variable x_{ij} indica la cantidad de maíz que se transporta por tracto camión y en el modelo mixto la variable y_{ij} indica la cantidad de maíz transportada del origen i al destino j por ferrocarril. Se utilizaron los datos del modelo cerrado 2010 con diez orígenes y veintidós destinos, agregando 6 rutas de ferrocarril.

Interpretación de resultados y solución óptima. Este modelo combina dos medios de transporte terrestre de carga, tracto camión y ferrocarril. Se adicionan 6 variables para las rutas de Guadalajara a Mérida, a Puebla y a San Luis Potosí y de Morelia a México, Mérida y a Puebla que además coinciden con las rutas de tracto camión. El supuesto utilizado es que la suma del maíz enviado por camión más el enviado por ferrocarril debe ser igual al total que requiera el estado respectivo. Por la dificultad para obtener los costos de transporte y por los requerimientos de infraestructura que debe haber en las estaciones de tren solo estas seis rutas se adicionan al modelo.

Cuadro 11. Distribución óptima del modelo cerrado 2010 mixto.

VARIABLE	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD DISTRIBUIDA
XA14	CAMPECHE	QUINTANA ROO (Cancún)	28901
XA20	CAMPECHE)	YUCATAN (Mérida)	50477
X214	CHIAPAS (Tuxtla G.)	QUINTANA ROO (Cancún)	21576
X217	CHIAPAS (Tuxtla G.)	TABASCO (Villahermosa)	365639
X33	CHIHUAHUA	COAHUILA (Torreón)	35164
X316	CHIHUAHUA	SONORA (Nogales)	318167
X45	GUANAJUATO (Irapuato)	DISTRITO FEDERAL	33034
X58	GUERRERO (Acapulco)	MORELOS (Cuernavaca)	279210
X519	GUERRERO (Acapulco)	VERACRUZ	423122
X65	HIDALGO (Pachuca)	DISTRITO FEDERAL	53666
X71	JALISCO (Guadalajara)	AGUASCALIENTES	197220
X75	JALISCO (Guadalajara)	DISTRITO FEDERAL	1654209
X85	MICHOACÁN (Morelia)	DISTRITO FEDERAL	3728
X811	MICHOACÁN (Morelia)	OAXACA	152881
X813	MICHOACÁN (Morelia)	QUERÉTARO (S. J. del Río)	101440
X818	MICHOACÁN (Morelia)	TAMAULIPAS (Tampico)	146226
X819	MICHOACÁN (Morelia)	VERACRUZ	208491
X93	SINALOA (Culiacán)	COAHUILA (Torreón)	502721
X94	SINALOA (Culiacán)	COLIMA (Manzanillo)	98476
X95	SINALOA (Culiacán)	DISTRITO FEDERAL	45404
X96	SINALOA (Culiacán)	DURANGO	93479
F97	SINALOA (Culiacán)	MÉXICO (Toluca)	1637386
X99	SINALOA (Culiacán)	NAYARIT (Tepic)	51622
X910	SINALOA (Culiacán)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	916491
F912	SINALOA (Culiacán)	PUEBLA	133302
X915	SINALOA (Culiacán)	SAN LUIS POTOSÍ	377190
X918	SINALOA (Culiacán)	TAMAULIPAS (Tampico)	146226
F920	SINALOA (Culiacán)	YACATÁN (Mérida)	107161
X921	SINALOA (Culiacán)	BAJA CAL. N. (Tijuana)	662565
X922	SINALOA (Culiacán)	ZACATECAS	20845
X105	TLAXCALA (Apizaco)	DISTRITO FEDERAL	59857
Total			8912142

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución de LINDO.

Con este modelo el valor de la función objetivo es 0.3681357E+10. Lo que indica que el costo para transportar de manera óptima el maíz es de \$3,681,357,000.00 pesos, que comparado con el resultado del modelo cerrado de \$4,130,075,000.00 pesos, representa un ahorro de \$448,718,000.00

De las seis rutas de ferrocarril sólo tres entran a la solución y tres quedan como variables no activas, es decir, tendrían que reducir todavía el costo de transporte para poder entrar a la solución. La cantidad de maíz que se transporta por ferrocarril equivale a 54,579 viajes de tracto camión de la ruta de

Sinaloa a México; 4,443 viajes de Sinaloa a Puebla y 3,572 viajes de Sinaloa a Yucatán. Un vagón de ferrocarril tiene una capacidad de carga de 70 ton de maíz por lo que en la primera ruta se llenan 23,391 vagones, en la segunda ruta activa se llenan 1,904 y en la tercera 1530. Un ferrocarril arrastra varios vagones, lo que representa un ahorro de energía y reducción de contaminación. En la primer columna del cuadro 11 están las variables básicas de la solución óptima, en la segunda las ciudades de origen, en la tercera la ciudad destino.

Análisis de sensibilidad.

Intervalos para los coeficientes de la función objetivo. En el caso de la variable F_{715} (de Jalisco a San Luis Potosí por ferrocarril) que es no aparece como ruta activa, el coeficiente actual es 208 pesos, tiene un incremento permisible $+\infty$, si el costo de transporte se incrementa de manera indefinida, no entrará a la solución. El decremento permisible es de 5, para que esta variable entre a la solución tendría que disminuir más de 5 pesos, lo que indica que no costaría mucho activar esta ruta de ferrocarril, representa también uno de los lugares mejor ubicados..

Para la variable F_{920} (de Sinaloa a Yucatán por ferrocarril) que es ruta activa, el coeficiente actual es de 801 pesos, tiene un incremento permisible de 75, por lo tanto si el costo de transporte aumenta hasta 876 la solución no cambia, si rebasa esta cantidad la variable deja de ser ruta activa. El decremento permisible es 148, lo que quiere decir que el costo actual puede bajar hasta 728 para seguir siendo básica.

Costos reducidos (reduced cost). La variable F_{715} tendría que disminuir en 5 pesos su costo de transporte, para que haya soluciones óptimas alternas en la que esta variable sea ruta activa. La variable F_{920} al ser ruta activa tiene un costo reducido de 0.

Intervalos para los lados derechos. Para la restricción de oferta b_7 (Jalisco) el valor actual es de 1,851,429 ton, tiene un decremento permisible de 28,901 y un incremento permisible de 45,404 ton. Si se mantiene en este intervalo la base actual continua siendo óptima.

Precios sombra y precios dual. En restricción de oferta b7 (Jalisco), si aumentara una tonelada estando en el intervalo permisible, el costo de transporte disminuiría -674 pesos o incrementaría los costos 674 pesos.

3.8.- Procesamiento del modelo abierto mixto 2010

Interpretación de resultados y solución óptima. El modelo tiene trece puntos de origen y veintidós destinos. Se tomaron los datos del modelo abierto 2010 donde se incrementaron los tres orígenes o puntos de entrada para abastecer completamente la demanda.

Cuadro 12. Distribución óptima del modelo de mercado abierto 2010 mixto.

VARIABLE	ORIGEN	DESTINO	CANTIDAD DISTRIBUIDA
Xa20	CAMPECHE	YUCATÁN (Mérida)	211870
X214	CHIAPAS (Tuxtla G.)	QUINTANA ROO (Cancún)	222592
X217	CHIAPAS (Tuxtla G.)	TABASCO (Villahermosa)	164623
X33	CHIHUAHUA	COAHUILA (Torreón)	35164
X316	CHIHUAHUA	SONORA (Nogales)	318167
X45	GUANAJUATO (Irapuato)	DISTRITO FEDERAL	33034
X58	GUERRERO (Acapulco)	MORELOS (Cuernavaca)	279210
X519	GUERRERO (Acapulco)	VERACRUZ	423122
X65	HIDALGO (Pachuca)	DISTRITO FEDERAL	53666
X71	JALISCO (Guadalajara)	AGUASCALIENTES	197220
X75	JALISCO (Guadalajara)	DISTRITO FEDERAL	1654209
X85	MICHOACÁN (Morelia)	DISTRITO FEDERAL	3728
X811	MICHOACÁN (Morelia)	OAXACA	152881
X813	MICHOACÁN (Morelia)	QUERÉTARO (S. J. del Río)	101440
X818	MICHOACÁN (Morelia)	TAMAULIPAS (Tampico)	146226
X819	MICHOACÁN (Morelia)	VERACRUZ	208491
X92	SINALOA (Culiacán)	BAJA CALIFORNIA SUR (La Paz)	116679
X93	SINALOA (Culiacán)	COAHUILA (Torreón)	502721
X94	SINALOA (Culiacán)	COLIMA (Manzanillo)	98476
X95	SINALOA (Culiacán)	DISTRITO FEDERAL	45404
X96	SINALOA (Culiacán)	DURANGO	93479
F97	SINALOA (Culiacán)	MÉXICO (Toluca)	1637386
X99	SINALOA (Culiacán)	NAYARIT (Tepic)	51622
X910	SINALOA (Culiacán)	NUEVO LEÓN (Monterrey)	828713
F912	SINALOA (Culiacán)	PUEBLA	133302
X915	SINALOA (Culiacán)	SAN LUIS POTOSÍ	377190
F920	SINALOA (Culiacán)	YUCATÁN (Mérida)	78260
X921	SINALOA (Culiacán)	BAJA CAL. NTE. (Tijuana)	662565
X922	SINALOA (Culiacán)	ZACATECAS	20845
X105	TLAXCALA (Apizaco)	DISTRITO FEDERAL	59857
X1110	Nuevo Laredo TAMPS.	NUEVO LEÓN (Monterrey)	87778
X1317	Coatzacoalcos, VER.	TABASCO (Villahermosa)	201016
Total			9200936

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la solución de LINDO.

En este modelo se adicionaron seis rutas de ferrocarril, como en el modelo cerrado mixto, tres con origen en Guadalajara y tres con origen Culiacán.

El costo para transportar de manera óptima el maíz es de \$3,885,451,000.00 pesos, comparado con el modelo cerrado se tiene un ahorro de \$244,624,000.00 pesos y de \$413,346,000.00 pesos comparado con el modelo abierto, además del ahorro de energía y reducción de contaminación al medio ambiente.

De las seis rutas de ferrocarril sólo tres entran a la solución y tres quedan como variables no activas, es decir, tienen que reducir la cantidad de costo reducido para que haya soluciones óptimas alternas en las que las variables se conviertan en rutas activas. Además se satisface por completo la demanda de los estados deficitarios adquiriendo el maíz faltante del extranjero.

IV. CONCLUSIONES

Se elaboró y aplicó un proceso práctico para la identificación de datos oportunos y confiables sobre oferta y demanda de maíz, costos de transporte que permitieron la elaboración del modelo de transporte de costo mínimo. Considerando los objetivos planteados, la sistematización de la información y los datos recabados se consiguió obtener una solución óptima de costo mínimo. Se determinaron de forma ágil y veraz las zonas productoras en el país para el cultivo de maíz blanco, dónde se ubican los superávit de producción así como las entidades con más consumo que necesitan complementar su demanda con grano de fuera.

El maíz se produce en toda la república, sólo 10 estados tienen la capacidad de abastecer la demanda que se concentra en el centro y sureste del país. Sinaloa, Jalisco y Guerrero producen el 70% de la oferta, por sus condiciones climáticas, además de contar con infraestructura tecnificada y moderna.

De los 10 estados productores que son; Sinaloa, Jalisco, Guerrero, Chiapas, Michoacán, Chihuahua, Guanajuato, Veracruz, Hidalgo y Zacatecas, comercializan internamente el 67% (6 ,947,841 toneladas) de la oferta total de maíz blanco.

El modelo de mercado cerrado proporcionó la distribución óptima de la producción nacional.

Como México fue deficitario en maíz blanco en 2010, el modelo de mercado abierto dio una opción para la entrada del cereal. Se plantearon 3 puntos fronterizos para importar el maíz faltante, como la demanda se concentra en el centro y sureste de la república, resultó fácil demostrar que el producto entre por el Puerto de Coatzacoalcos y con ello cubrir en su totalidad la distribución óptima del maíz blanco.

Si hubieran problemas para adquirir en el extranjero el maíz faltante, con el modelo de producción potencial se identificaron las entidades con potencialidad productiva que están mejor ubicadas respecto a los centros de consumo.

Con el modelo de transporte mixto se encontró la manera óptima de distribución con dos medios de transporte, tracto camión y ferrocarril. La reducción del costo

de transporte al utilizar ferrocarril es grande, debido a esto conviene ampliar el estudio para cuantificar la factibilidad de mejorar este servicio, evitando los retrasos, las mermas y habilitando más conexiones ferroviarias.

También es importante considerar el ahorro de combustible y la reducción de emisiones de contaminantes al ambiente al fomentar el uso de ferrocarril.

Debido a que no hay información sobre la manera y el costo de transporte de mercancías real, este modelo proporciona información para contabilizar el número de viajes de tracto camión que evitaríamos utilizando ferrocarril.

Como el maíz blanco es un cultivo básico fundamental en la alimentación de los Mexicanos, se debe impulsar el incremento de la producción este cultivo, con la finalidad primero de mantener la producción y segundo, para garantizar la satisfacción de la demanda del producto durante todo el año evitando incremento en los precios que afecten al consumidor final.

Es fundamental motivar a los productores mediante buenos precios, créditos con bajas tasas de interés y subsidios a los insumos.

De acuerdo al resultado del modelo de producción potencial abierto, en el que se abasteció el mercado nacional en su totalidad a mínimo costo de transporte y se tuvo un excedente de producción, se recomienda en primera instancia impulsar la agroindustria como materia prima (almidón) para la elaboración de otro producto, ya que representa una de las ramas más importantes en el desarrollo de una economía, debido a que se contempla como una fuente generadora de empleo, con el consecuente arraigo de la población.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anderson, D.; D. Sweeney y T. Williams. 1999. "Contemporary Management Science", South-Western College Publishing.
- Bermeo, E. A. y J. H. Calderón. 2009. "Diseño de un modelo de optimización de rutas de transporte". El hombre y la máquina, Vol. XXI, Núm. 32, Enero-Junio. Universidad Autónoma de Occidente. Colombia. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=47811604005>
- CEFP, 2004. "Impacto de las importaciones de maíz blanco y de frijol originarias de E.U.A. en el mercado interno de México". Centro de Estudios de la Finanzas Públicas, H. Cámara de Diputados. México. CEF/054/2004.
- CEFP, 2007. "México: El mercado del maíz y la agroindustria de la tortilla". Centro de de estudios de las finanzas públicas, H. Cámara de Diputados. México. CEF/004/2007. 18 pp.
- CEFP, 2008. "Inflación en alimentos y gasto de los hogares mexicanos: incidencia en el PEF 2009". Centro de estudios de las finanzas públicas, H. Cámara de Diputados. México. CEF/108/2008.
- Chavez, C. 2000. "La demanda de harina de maíz en México". Universidad Autónoma Chapingo. México.
- Conasupo (Compañía Nacional de Subsistencias Populares). 1987. "Política social y empresa pública: el caso de Conasupo". México. Disponible en http://www.cec.org/pubs_docs/documents/index.cfm?varlan=espanol&ID=1048
- De Ita-Rubio, A. 2003. "Los impactos socioeconómicos y ambientales de la liberalización comercial de los granos básicos en el contexto del TLCAN: el caso de Sinaloa". Comisión para la cooperación ambiental-Centro de estudios para el cambio mexicano-Centro mexicano de derecho ambiental. México.
- Ferrer, L.; A. M. Coves y M. A. de los Santos. 2004. "Modelado del transporte de distribución mediante programación lineal entera". Información tecnológica, vol. 15, No. 4. España. Pp. 65-69. Disponible en

- http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642004000400009&lng=es&nrm=iso Consultada el 4 de Dic. de 2010.
- Garcés, A.; E. M. Toro y J. C. Galvis. 2005. "Método de puntos interiores aplicado al problema de transportes". *Scientia Et Technica*, vol. XI, No. 27, abril. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=84911698011>
- García, J. A. y M. de J. Santiago. 2004. "Importaciones de Maíz en México: un análisis espacial y temporal. *Investigación Económica*, vol. LXIII, núm. 250, Octubre-Diciembre, UNAM. México. Pp. 131-160. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx>
- Guerrero, M. 2002. La intervención estatal en la comercialización del maíz en México". *Sociedades rurales, producción y medio ambiente*, 3(2), Universidad Autónoma Metropolitana. México.
- Haag, H. M. y J. Soto. 1981. "La comercialización de los productos agropecuarios", Limusa, México.
- Hillier, F. S. 2006. "Introducción a la investigación de operaciones", Mc Graw Hill.
- Mathur, K. y D. Solow, 1996. "Investigación de operaciones, el arte de la toma de decisiones". Prentice Hall H. México.
- Maximiliano-Martínez, M. G. Rivera-Herrejón, A. L. Franco-Malvaíz y J. Soria-Ruiz. 2011. "La comercialización de maíz después de Conasupo en dos comunidades del norte del Estado de México". *Economía, Sociedad y Territorio* 2011, vol. XI, núm. 35 fecha de consulta: 26 de octubre de 2011] Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=11116271008> Consultada el 26/Oct/2011
- Medina, S. V., K. Raya y M. R. Contreras. 2007. "Utilización del modelo de transporte para la asignación de trabajos a máquinas considerando prioridades". *Ingeniería, Revista académica de la FI-UADY*, mayo-agosto, año/vol. 11, no. 002. México. Disponible en

<http://www.redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=46711206> Consultada en Nov. de 2010.

- Moya, M. J. 1998. "Investigación de operaciones, transporte y asignación". Asociación de editores universitarios de América Latina y el Caribe EUNED, Costa Rica.
- Ruíz, S. A. 2007. "Tratado práctico de los transportes en México. Logística para los mercados globales". Editorial 20+1 S.A. de C.V. México.
- SAGARPA. (2010). Desarrollo de Mercados CES 6. Subsecretaría de Fomento a los Agronegocios. <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/promercado%202010-SE.pdf>. Consultada Mayo 2011.
- Salvatore, D. 1995. "Economía Internacional". McGraw-Hill Interamericana, S.A. Colombia.
- Salvatore, D. 1997. "Microeconomía". McGraw-Hill Interamericana de México, S.A. de C.V. México. 436 p.
- Schwentenius, R. y M. A. Gómez. 2004. "Márgenes y costos de comercialización: aspectos conceptuales". Reporte 71. Universidad Autónoma Chapingo. México. 21 p.
- SIAP, 2007. "Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012". Servicio de información agroalimentaria y pesquera, SAGARPA. México. 125 p.
- Soler F., F., F. Molina F., L. Rojas C. y L. Rojas C. (2007). Álgebra Lineal y Programación Lineal. Con Aplicaciones a Ciencias Administrativas, Contables y Financieras Con Uso de: Derive, QSB y Excel. Segunda Edición. ECOE Ediciones. Bogotá, Colombia. 673 p.
- Stiglitz, J. E. y C. E. Walsh. 2009. "Microeconomía". Editorial Ariel, S. A. España. 718 p.
- Taha, H. A. 1988. "Investigación de operaciones una introducción". Representaciones y servicios de ingeniería, S. A. México. 467 p.
- Taha, H. A. 1995. "Investigación de operaciones". Alfaomega Grupo Editor, S. A. de C.V. México. 830 p.

Winston, W. L. 2010. "Investigación de Operaciones". CENGAGE Learning. México. 1418 p.

Páginas electrónicas consultadas

Fletes.com <http://fletes.com/trailer-53cajaseca.aspx> consultada el 1 de Octubre de 2011.

Fracciones arancelarias de la Secretaría de Economía <http://www.economia-snci.gob.mx:8080/siaviWeb/fraccionAction.do?tigie=10059004&paper=cm1imp> consultada el 19 de Octubre de 2011.

Fracciones arancelarias de la Secretaría de Economía <http://www.economia-snci.gob.mx:8080/siaviWeb/fraccionAction.do?tigie=10059004&paper=cm1exp> consultada el 19 de Octubre de 2011.

SAGARPA, Sistema de información agroalimentaria y pesquera http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid

http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=202&Itemid=427

<http://www.infoagro.com/herbaceos/cereales/maiz2.htm> consultada el 16 de Noviembre de 2011.

ANEXO 1

Anexo 1. Cuadro 1. Producción de maíz ciclo O-I (Ton)

Estados	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09
Aguascalientes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Baja California	0	116	268	0	6	41	0	0	0	0
Baja California Sur	19,898	20,677	19,954	12,300	20,044	17,023	11,673	10,215	18,251	11,525
Campeche	7,348	8,817	7,502	4,073	3,995	4,639	5,884	7,075	7,940	8,857
Chiapas	151,275	160,247	157,325	144,583	187,189	135,753	141,311	165,256	160,118	180,721
Chihuahua	0	37	3	16	0	5	0	13	5	0
Coahuila	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colima	6,897	6,363	4,055	3,285	5,424	9,465	7,995	6,018	5,532	5,524
Distrito Federal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Durango	56	63	65	53	67	126	218	202	106	166
Guanajuato	11,079	6,815	11,895	8,299	19,026	18,199	9,736	13,990	7,937	8,045
Guerrero	80,375	76,306	74,654	69,972	71,586	75,886	80,979	78,682	81,390	91,775
Hidalgo	39,270	43,405	42,230	39,862	52,388	50,576	54,319	53,800	52,233	53,228
Jalisco	25,430	28,950	18,358	16,544	13,733	18,711	12,330	12,915	13,468	15,106
México	1,375	1,727	3,668	1,472	1,238	1,451	1,360	1,116	1,242	1,221
Michoacán	29,258	23,147	24,869	22,152	21,122	20,420	17,565	22,698	24,196	17,993
Morelos	11,302	12,173	10,898	4,844	8,406	7,313	7,315	5,197	3,473	2,606
Nayarit	39,205	36,306	39,404	39,126	39,785	35,315	40,751	33,198	31,299	31,979
Nuevo León	6,080	5,751	2,237	7,216	9,335	12,264	4,015	5,052	1,487	3,431
Oaxaca	196,263	178,151	158,510	173,593	173,527	158,161	132,325	148,564	146,441	135,880
Puebla	30,123	48,679	36,265	40,153	58,820	42,872	72,816	61,522	52,598	48,962
Querétaro	1,197	1,682	1,466	1,556	1,929	1,700	1,289	1,516	1,577	1,106
Quintana Roo	2,659	2,288	2,927	4,597	3,722	5,635	5,362	2,980	2,404	2,959
San Luis Potosí	19,106	14,911	19,684	21,271	14,109	17,328	14,957	19,894	24,928	24,967
Sinaloa	2,194,184	2,483,594	2,844,256	2,664,708	3,933,052	4,251,272	4,115,458	4,758,967	4,963,195	4,920,699
Sonora	43,661	56,040	133,861	208,788	43,066	109,003	177,562	112,055	161,691	92,581
Tabasco	53,902	75,182	68,457	54,098	66,269	39,547	61,761	61,132	65,443	55,045
Tamaulipas	211,586	63,973	108,674	154,829	439,824	603,909	596,213	516,919	447,861	374,393
Tlaxcala	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veracruz	352,531	361,620	232,769	324,822	374,359	308,218	367,728	380,046	339,594	431,823
Yucatán	6,763	6,206	5,110	2,054	6,638	5,837	3,934	3,743	4,625	4,670
Zacatecas	48	3	64	128	132	255	162	258	134	300

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP

Anexo 1. Cuadro 2. Producción de maíz ciclo P-V (Ton)

Estados	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Aguascalientes	30,886	42,942	61,129	58,684	49,059	31,520	51,318	48,409	93,475	45,404
Baja California	17,386	5,231	5,801	5,108	4,692	550	365	0	0	0
Baja California Sur	10,210	11,812	10,256	15,351	18,257	11,905	10,680	14,858	9,786	9,191
Campeche	244,415	190,855	23,871	151,333	268,930	356,967	369,414	157,187	239,282	269,767
Chiapas	1,734,363	1,533,920	1,693,958	1,844,118	1,152,727	1,269,460	1,451,299	1,266,851	1,465,231	1,039,520
Chihuahua	453,481	657,120	557,952	531,668	745,686	671,474	692,231	848,553	829,911	973,828
Coahuila	31,491	23,251	21,619	32,100	50,849	18,412	21,910	23,953	23,305	16,508
Colima	30,784	35,784	33,362	26,434	29,569	28,056	23,198	37,385	33,458	23,209
Distrito Federal	12,071	12,654	10,565	9,282	9,411	5,937	8,096	9,467	8,378	7,964
Durango	251,541	201,661	261,558	401,114	373,939	254,791	341,931	290,115	310,412	335,145
Guanajuato	641,565	1,235,823	1,177,855	1,253,039	1,619,555	1,018,835	1,058,331	1,360,297	1,539,346	839,944
Guerrero	1,114,461	947,757	843,748	1,139,203	1,084,908	1,098,217	1,141,693	1,156,620	1,229,536	1,033,491
Hidalgo	546,430	563,956	535,938	564,346	565,765	510,914	594,892	536,711	575,324	456,832
Jalisco	2,132,586	2,862,473	3,045,335	3,106,337	3,314,913	2,601,412	3,018,243	3,130,349	3,191,007	2,529,178
México	1,800,801	2,261,560	1,975,177	1,507,863	1,675,534	1,188,107	1,570,311	1,601,937	1,808,189	1,312,990
Michoacán	1,090,111	1,306,765	1,253,643	1,412,759	1,248,287	1,286,763	1,493,841	1,533,889	1,563,377	1,211,664
Morelos	72,416	110,541	44,907	65,708	75,560	77,133	84,185	96,628	89,653	79,070
Nayarit	170,457	179,467	158,925	141,820	164,287	87,241	136,108	194,445	155,627	188,089
Nuevo León	24,810	26,798	52,793	42,967	60,925	58,884	31,177	54,361	28,938	32,501
Oaxaca	621,234	626,746	442,574	538,941	522,752	451,029	525,665	598,609	669,290	453,308
Puebla	880,734	1,094,804	681,745	899,088	779,187	736,918	932,502	880,794	973,696	609,978
Querétaro	176,905	273,240	307,929	284,372	305,431	200,350	188,141	374,945	310,412	213,654
Quintana Roo	31,658	36,306	14,155	53,530	13,060	30,746	43,142	12,712	2,011	30,810
San Luis Potosí	169,509	125,181	131,724	167,588	171,549	152,392	148,034	154,981	198,986	89,107
Sinaloa	124,798	166,862	297,719	84,764	78,615	198,474	272,079	318,334	405,667	313,375
Sonora	26,098	20,973	13,245	18,443	16,099	7,556	6,430	32,954	23,548	11,338
Tabasco	105,948	104,708	91,566	105,150	84,559	62,614	65,122	26,125	58,823	62,489
Tamaulipas	69,454	89,388	85,853	135,316	77,386	107,528	76,316	112,271	108,029	53,810
Tlaxcala	265,740	314,973	236,168	265,991	292,186	172,940	267,361	289,639	311,668	274,416
Veracruz	909,556	854,737	808,463	734,319	716,623	580,390	733,044	586,444	980,120	735,568
Yucatán	154,941	123,389	7,560	121,050	121,845	104,705	142,419	130,344	23,165	37,761
Zacatecas	247,325	320,203	370,624	516,185	409,312	196,782	371,962	381,713	441,728	387,137

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP.

Anexo 1. Cuadro 3 Producción Total (Ton)

Estados	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Prod. Potencial
Aguascalientes	30,886	42,942	61,129	58,684	49,059	31,520	51,318	48,409	93,475	45,404	93,475
Baja California	17,386	5,347	6,069	5,108	4,698	591	365	0	0	0	17,386
Baja California Sur	30,108	32,489	30,210	27,651	38,301	28,928	22,353	25,073	28,037	20,716	38,301
Campeche	251,763	199,672	31,373	155,406	272,925	361,606	375,298	164,262	247,222	278,624	375,298
Chiapas	1,885,638	1,694,167	1,851,283	1,988,701	1,339,916	1,405,213	1,592,610	1,432,107	1,625,349	1,220,241	1,988,701
Chihuahua	453,481	657,157	557,955	531,684	745,686	671,479	692,231	848,566	829,916	973,828	973,828
Coahuila	31,491	23,251	21,619	32,100	50,849	18,412	21,910	23,953	23,305	16,508	50,849
Colima	37,681	42,147	37,417	29,719	34,993	37,521	31,193	43,403	38,990	28,733	43,403
Distrito Federal	12,071	12,654	10,565	9,282	9,411	5,937	8,096	9,467	8,378	7,964	12,654
Durango	251,597	201,724	261,623	401,167	374,006	254,917	342,149	290,317	310,518	335,311	401,167
Guanajuato	652,644	1,242,638	1,189,750	1,261,338	1,638,581	1,037,034	1,068,067	1,374,287	1,547,283	847,989	1,638,581
Guerrero	1,194,836	1,024,063	918,402	1,209,175	1,156,494	1,174,103	1,222,672	1,235,302	1,310,926	1,125,266	1,310,926
Hidalgo	585,700	607,361	578,168	604,208	618,153	561,490	649,211	590,511	627,557	510,060	649,211
Jalisco	2,158,016	2,891,423	3,063,693	3,122,881	3,328,646	2,620,123	3,030,573	3,143,264	3,204,475	2,544,284	3,328,646
México	1,802,176	2,263,287	1,978,845	1,509,335	1,676,772	1,189,558	1,571,671	1,603,053	1,809,431	1,314,211	2,263,287
Michoacán	1,119,369	1,329,912	1,278,512	1,434,911	1,269,409	1,307,183	1,511,406	1,556,587	1,587,573	1,229,657	1,587,573
Morelos	83,718	122,714	55,805	70,552	83,966	84,446	91,500	101,825	93,126	81,676	122,714
Nayarit	209,662	215,773	198,329	180,946	204,072	122,556	176,859	227,643	186,926	220,068	227,643
Nuevo León	30,890	32,549	55,030	50,183	70,260	71,148	35,192	59,413	30,425	35,932	71,148
Oaxaca	817,497	804,897	601,084	712,534	696,279	609,190	657,990	747,173	815,731	589,188	817,497
Puebla	910,857	1,143,483	718,010	939,241	838,007	779,790	1,005,318	942,316	1,026,294	658,940	1,143,483
Querétaro	178,102	274,922	309,395	285,928	307,360	202,050	189,430	376,461	311,989	214,760	376,461
Quintana Roo	34,317	38,594	17,082	58,127	16,782	36,381	48,504	15,692	4,415	33,769	58,127
San Luis Potosí	188,615	140,092	151,408	188,859	185,658	169,720	162,991	174,875	223,914	114,074	223,914
Sinaloa	2,318,982	2,650,456	3,141,975	2,749,472	4,011,667	4,449,746	4,387,537	5,077,301	5,368,862	5,234,074	5,368,862
Sonora	69,759	77,013	147,106	227,231	59,165	116,559	183,992	145,009	185,239	103,919	227,231
Tabasco	159,850	179,890	160,023	159,248	150,828	102,161	126,883	87,257	124,266	117,534	179,890
Tamaulipas	281,040	153,361	194,527	290,145	517,210	711,437	672,529	629,190	555,890	428,203	711,437
Tlaxcala	265,740	314,973	236,168	265,991	292,186	172,940	267,361	289,639	311,668	274,416	314,973
Veracruz	1,262,087	1,216,357	1,041,232	1,059,141	1,090,982	888,608	1,100,772	966,490	1,319,714	1,167,391	1,319,714
Yucatán	161,704	129,595	12,670	123,104	128,483	110,542	146,353	134,087	27,790	42,431	161,704
Zacatecas	247,373	320,206	370,688	516,313	409,444	197,037	372,124	381,971	441,862	387,437	516,313

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP.

Anexo 1.Cuadro 4. Superficie sembrada de maíz ciclo O-I (Ha)

Estados	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09
Aguascalientes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Baja California	0	24	64	0	2	5	0	0	0	0
Baja California Sur	4,850	3,808	3,435	2,272	5,037	2,700	2,666	2,121	3,026	2,162
Campeche	9,690	7,468	6,697	5,977	5,104	6,284	5,257	5,563	5,837	5,531
Chiapas	101,065	108,283	105,948	106,575	111,102	105,687	106,245	110,099	111,467	110,766
Chihuahua	0	59	9	30	0	20	0	25	23	11
Coahuila	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Colima	2,075	1,856	1,330	1,048	1,342	1,960	1,769	1,927	1,680	1,767
Distrito Federal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Durango	17	17	19	19	16	28	51	45	38	37
Guanajuato	1,805	1,206	1,957	1,375	2,498	2,102	1,232	1,938	1,129	1,040
Guerrero	23,155	23,107	25,300	22,351	23,720	23,940	24,175	22,591	24,337	25,535
Hidalgo	22,611	24,017	24,684	22,106	27,341	26,266	25,995	26,217	26,450	27,092
Jalisco	7,235	7,375	5,561	4,769	3,921	4,414	3,518	3,700	3,540	4,116
México	461	576	896	501	432	528	471	405	441	428
Michoacán	8,560	7,733	7,702	6,779	7,072	6,806	5,791	6,763	7,333	5,299
Morelos	4,456	5,509	3,437	1,422	2,403	2,278	1,765	1,427	1,042	677
Nayarit		8,933	8,563	8,031	7,639	8,255	7,314	5,984	5,586	5,529
Nuevo León	6,790	5,554	2,255	5,479	6,064	7,157	2,912	4,321	1,008	2,721
Oaxaca	83,639	81,527	81,527	81,407	79,721	80,148	68,115	72,857	75,425	73,872
Puebla	24,653	25,112	26,669	26,201	29,531	41,155	45,948	31,666	29,842	28,032
Querétaro	810	833	817	817	808	808	620	696	742	698
Quintana Roo	5,266	5,402	5,765	7,466	6,334	5,501	5,013	3,549	3,430	3,851
San Luis Potosí	14,036	15,791	15,838	13,864	13,240	13,922	13,511	13,007	16,272	14,742
Sinaloa	267,220	285,895	330,159	295,516	454,690	439,124	420,908	493,177	510,649	472,386
Sonora	7,558	9,571	24,544	35,722	29,573	19,105	27,854	17,096	22,896	15,134
Tabasco	50,105	48,716	46,124	45,196	42,411	39,517	39,737	39,173	37,839	34,111
Tamaulipas	65,229	31,904	48,595	49,195	82,570	144,209	137,618	112,356	99,460	76,322
Tlaxcala	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Veracruz	203,810	209,299	197,295	201,482	200,517	184,984	188,787	173,156	197,070	193,326
Yucatán	1,927	2,125	1,698	636	1,899	1,953	1,426	1,414	1,452	1,522
Zacatecas	16	2	33	47	45	87	51	113	50	95

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP.

Anexo 1.Cuadro 5. Superficie sembrada de maíz ciclo P-V (Ha)

Estados	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Aguascalientes	73,155	53,172	69,462	53,796	53,056	45,538	43,765	49,694	55,492	41,218
Baja California	3,465	2,293	1,805	2,025	1,350	554	456	0	8	0
Baja California Sur	3,382	2,372	1,850	2,894	3,007	2,029	2,181	2,571	1,748	2,124
Campeche	145,365	138,744	142,210	150,707	146,384	156,305	163,739	156,412	154,873	150,679
Chiapas	870,180	834,151	853,372	837,174	805,982	736,261	734,293	561,418	596,748	575,501
Chihuahua	176,660	261,077	217,189	206,935	289,765	239,543	168,774	277,544	270,934	218,591
Coahuila	43,112	38,348	35,569	35,678	39,557	30,227	28,045	31,420	31,766	28,686
Colima	18,446	14,600	12,809	10,601	10,794	9,609	8,586	13,408	11,569	11,604
Distrito Federal	7,642	7,665	7,224	6,621	6,249	6,121	6,297	6,235	6,069	5,881
Durango	211,044	208,892	183,266	212,294	200,560	175,634	191,287	205,516	189,799	179,657
Guanajuato	408,130	423,927	417,844	411,471	436,530	387,432	389,398	420,045	412,979	382,214
Guerrero	482,318	463,599	461,370	468,745	465,937	462,844	450,690	455,072	462,220	453,971
Hidalgo	250,032	251,175	242,565	243,276	250,480	217,769	227,021	235,867	229,070	225,448
Jalisco	683,345	675,799	702,737	636,580	639,003	607,201	596,617	614,994	602,228	602,965
México	588,001	607,998	577,909	585,162	589,986	538,282	579,257	581,241	561,355	566,009
Michoacán	493,392	490,518	472,265	491,758	474,175	487,529	458,980	476,738	457,593	472,072
Morelos	38,474	37,668	36,023	27,760	25,950	27,484	26,435	27,750	27,016	26,710
Nayarit	55,688	52,064	50,389	39,383	44,049	43,047	36,008	47,733	40,497	44,764
Nuevo León	41,165	58,385	53,878	48,504	63,344	59,570	30,735	56,735	12,028	11,998
Oaxaca	511,591	513,930	516,890	504,097	524,552	511,836	496,271	523,296	528,996	533,192
Puebla	587,058	587,628	551,348	545,727	545,098	513,481	527,736	559,624	567,398	569,379
Querétaro	115,936	117,388	113,328	108,604	114,574	105,921	106,009	116,807	112,319	112,567
Quintana Roo	82,532	81,068	81,670	87,467	63,921	58,771	56,747	61,034	62,612	68,300
San Luis Potosí	256,408	251,364	228,708	244,237	250,224	222,544	221,845	246,860	250,191	185,161
Sinaloa	89,139	87,241	104,087	76,464	84,896	63,248	87,539	89,464	96,378	91,118
Sonora	10,738	8,730	6,486	7,363	5,703	6,762	3,859	10,217	7,248	4,548
Tabasco	68,367	66,877	61,491	58,755	57,310	43,468	45,807	46,528	50,019	46,745
Tamaulipas	91,309	93,212	91,996	92,097	93,245	78,116	82,240	76,354	74,601	60,931
Tlaxcala	127,797	121,109	116,020	111,625	120,486	118,007	116,935	124,874	118,598	115,831
Veracruz	465,266	453,512	426,514	405,627	399,025	412,980	394,382	373,181	409,228	393,117
Yucatán	171,496	172,571	170,043	168,151	159,137	176,228	162,225	163,787	159,997	151,340
Zacatecas	356,150	333,319	317,310	352,759	326,291	256,271	290,945	345,139	287,814	288,250

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP.

Anexo 6. Cuadro 6. Rendimiento por hectárea de maíz ciclo O-I (Ton/Ha)

Estados	1999-00	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09
Aguascalientes	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Baja California	0.00	4.83	4.19	0.00	3.00	8.20	0.00	0.00	0.00	0.00
Baja California Sur	5.00	5.61	5.99	5.96	4.38	6.63	5.47	4.84	6.05	5.46
Campeche	0.78	1.22	1.17	1.10	0.82	1.04	1.13	1.29	1.39	1.76
Chiapas	1.51	1.48	1.56	1.47	1.69	1.34	1.35	1.50	1.47	1.63
Chihuahua	0.00	0.63	0.60	0.53	0.00	0.71	0.00	0.68	0.63	0.00
Coahuila	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Colima	3.43	3.43	3.14	3.14	4.04	4.83	4.52	3.12	3.29	3.13
Distrito Federal	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Durango	3.29	3.71	3.82	4.08	4.19	4.50	4.27	4.49	2.94	4.49
Guanajuato	6.14	5.74	6.12	6.04	7.63	8.66	7.90	7.22	7.03	7.74
Guerrero	3.47	3.31	2.95	3.13	3.02	3.17	3.36	3.50	3.34	3.59
Hidalgo	1.74	1.81	1.73	1.81	1.94	1.93	2.10	2.05	1.97	1.97
Jalisco	3.55	3.93	3.49	3.63	3.50	4.24	3.54	3.49	3.80	3.67
México	2.98	3.00	4.09	2.94	2.87	2.75	2.89	2.76	2.82	2.85
Michoacán	3.42	3.02	3.24	3.33	3.24	3.07	3.03	3.36	3.30	3.40
Morelos	2.54	2.21	3.17	3.41	3.50	3.21	4.14	3.64	3.33	3.85
Nayarit	4.51	4.06	4.63	4.95	5.22	4.34	5.57	5.55	5.80	5.78
Nuevo León	1.57	1.34	1.38	1.32	1.58	1.80	1.76	1.68	1.85	2.02
Oaxaca	2.35	2.20	1.95	2.14	2.18	1.98	1.97	2.04	1.94	1.84
Puebla	2.02	1.96	1.86	2.08	2.19	2.26	2.10	1.96	1.76	1.75
Querétaro	1.52	2.02	1.82	1.90	2.39	2.14	2.08	2.18	2.13	1.58
Quintana Roo	0.52	0.49	0.59	0.76	0.79	1.07	1.07	0.94	0.70	0.77
San Luis Potosí	1.42	1.07	1.40	1.70	1.10	1.47	1.17	1.54	1.54	1.71
Sinaloa	8.23	8.70	8.69	9.09	9.10	9.74	9.83	9.68	10.14	10.43
Sonora	5.79	5.95	6.02	5.85	4.45	6.33	6.44	6.56	7.07	6.12
Tabasco	1.39	1.60	1.60	1.46	1.65	1.41	1.61	1.68	1.78	1.67
Tamaulipas	3.38	2.30	2.59	3.41	5.40	4.41	4.45	4.82	4.64	4.96
Tlaxcala	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Veracruz	1.75	1.74	1.39	1.77	1.93	1.90	2.03	2.20	1.94	2.25
Yucatán	3.51	3.06	3.01	3.35	3.50	2.99	3.01	2.65	3.19	3.07
Zacatecas	3.00	1.50	1.94	2.72	2.93	2.93	3.31	3.00	2.68	3.16

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP.

Anexo 7. Cuadro 7. Rendimiento por hectárea de maíz ciclo P-V (Ton/Ha)

Estados	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Aguascalientes	2.37	1.01	0.93	1.14	1.02	1.33	1.36	2.25	1.70	5.00
Baja California	5.07	2.49	3.92	3.05	7.52	0.99	5.07	0.00	0.00	0.00
Baja California Sur	3.39	5.61	5.74	5.32	6.17	6.09	5.14	5.94	5.71	4.91
Campeche	1.76	1.49	0.60	1.33	2.11	2.42	2.30	1.82	2.29	1.98
Chiapas	2.05	1.91	2.04	2.23	1.55	1.81	1.99	2.29	2.54	1.81
Chihuahua	4.83	2.90	3.90	4.76	3.69	5.29	4.38	3.42	4.15	4.56
Coahuila	1.28	1.15	1.03	1.01	1.35	0.85	1.11	0.88	1.14	1.15
Colima	1.88	2.49	2.61	2.49	2.85	2.92	2.70	2.79	2.90	2.14
Distrito Federal	1.58	1.67	1.46	1.41	1.51	1.03	1.29	1.56	1.38	1.35
Durango	1.67	1.13	1.62	2.01	1.93	2.77	1.81	1.73	1.78	2.00
Guanajuato	3.32	3.29	3.11	3.43	4.01	4.54	3.27	3.82	4.14	4.70
Guerrero	2.36	2.19	2.09	2.45	2.38	2.45	2.56	2.57	2.71	2.37
Hidalgo	2.56	2.49	2.52	2.49	2.37	2.55	2.70	2.60	2.60	3.01
Jalisco	3.64	4.30	4.63	5.06	5.34	4.66	5.30	5.31	5.45	4.78
México	3.09	3.76	3.48	2.68	2.87	2.49	2.74	2.79	3.24	2.43
Michoacán	2.43	2.83	2.79	3.01	2.91	2.86	3.38	3.35	3.51	3.29
Morelos	1.88	2.94	1.58	2.44	2.91	2.81	3.21	3.49	3.32	3.01
Nayarit	3.06	3.45	3.88	3.81	3.73	2.17	3.87	4.08	3.86	4.53
Nuevo León	1.25	0.66	1.04	0.96	0.97	1.00	1.03	0.97	2.45	2.81
Oaxaca	1.33	1.26	1.22	1.31	1.15	1.08	1.28	1.23	1.28	1.15
Puebla	1.77	1.98	1.67	1.96	1.70	1.91	1.89	1.84	1.87	2.21
Querétaro	2.60	2.57	2.91	2.79	3.00	3.03	3.20	3.49	2.80	2.80
Quintana Roo	0.55	0.60	0.38	0.68	0.68	0.76	0.77	0.55	0.32	0.47
San Luis Potosí	1.57	0.81	0.74	0.86	0.83	0.92	0.97	0.88	1.04	1.61
Sinaloa	2.02	2.15	3.89	1.29	1.36	3.88	3.99	3.78	4.34	4.96
Sonora	2.61	2.69	3.23	2.92	3.14	3.01	2.44	3.82	3.38	2.64
Tabasco	1.69	1.63	1.57	1.82	1.63	1.63	1.66	1.21	1.60	1.46
Tamaulipas	1.42	1.27	1.34	1.58	1.52	1.71	1.23	1.57	1.56	2.01
Tlaxcala	2.29	2.61	2.07	2.39	2.43	1.55	2.29	2.32	2.72	2.37
Veracruz	2.04	1.94	2.04	1.99	1.96	1.74	2.05	2.01	2.58	2.08
Yucatán	0.97	0.80	0.67	0.76	0.82	1.02	0.91	0.83	0.79	0.45
Zacatecas	1.10	1.24	1.18	1.53	1.27	1.56	1.30	1.50	1.63	2.26

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP.

ANEXO 2

Anexo 2. Cuadro 1. Costo de transporte por viaje.

	AGUASCALIENTES	BAJA CALIFORNIA SUR La Paz	COAHUILA Torreón	COLIMA Manzanillo	DISTRITO FEDERAL	GUANAJUATO Irapuato	MEXICO Toluca	MORELOS Cuernavaca	NUEVO LEON Monterrey	OAXACA	PUEBLA	QUERETARO Sn Juan dl Rio	QUINTANA ROO Cancun	SAN LUIS POTOSI	SONORA Nogales	TABASCO Villahermosa	TAMAULIPAS Tampico	VERACRUZ	YUCATAN Mérida	BAJA CALIFORNIA NTE. Tijuana
CAMPECHE	24345	81060	31605	29610	22000	21570	23000	17190	29000	17835	15060	19140	9420	22830	50265	7560	19860	12660	3160	58590
CHIAPAS Tuxtla	20040	72791.15	27285	25290.9	17500	17242.8	13620	12228.6	26400	13460	10740	14835	16635	18495	45960	5040	15555	11120	11940	54330
CHIHUAHUA	14250	43695	9400	22335	23650	17175	21165	22740	15000	28320	23250	19080	45405	15390	11550	32550	20865	27390	40560	21240
DURANGO	8320	53332.2	4924.6	14299.65	15620	12214.8	13146.75	15132.45	11500	20311.5	15237.3	11061.75	37395	9839	21846	24540.3	13769.25	19375.8	32556.75	30864.45
GUERRERO Acapulco	12446	64596	19572	10108	10500	9842	7866	5800	17864	11595	8600	10298	28545	11032	38430	14770	12782	9954	22260	43638
HIDALGO Pachuca	10600	64875.45	15075	13375.2	3900	6702.8	3680	4184.6	13000	9620	2860	3480	24300	8400	34035	11445	8900	8380	19605	42345
JALISCO Guadalajara	4560	52262	10010	11000	10500	5000	10500	14000	15500	14238	12901	7980	30800	7030	23534	24000	14877	28000	25662	31290
MICHOACAN Morelia	6232	56360.92	11704	19000	10200	2512.56	4370	8327.2	15542	11595	8700	3572	28680	6270	29550	14770	10416	9954	22372	35336
NAYARIT Tepic	8379	49402.22	11032	9454.78	16000	9463.14	12844	12928.95	14896	18285	13200	11799	35355	10868	22095	21000	13790	16184	28616	28378
SINALOA Culiacán	17000	45644.55	11740.95	15065.7	20570	15072.3	17728.35	20530.35	17235	25872.3	20798.3	16922.55	42960	16168.2	14862.15	30101.1	22374.6	24936.6	38117.55	23176.8
TLAXCALA Apizaco	12060	66300	16290	14865	6200	8340	4240	3840	14850	7760	2500	5120	22755	10020	35280	13400	9280	6500	18060	43830
ZACATECAS	3364	52516.66	7486	12413.65	14000	5905.01	11818	11016.45	8341	16200	11130	8816	33285	3648	24060	19068	11761	14252	26670	31556

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por <http://fletes.com/trailer-53cajaseca.aspx> consultada el 20/10/10.

Anexo 2. Cuadro 2. Costo de transporte por tonelada.

	AGUASCALIENTES	BAJA CALIFORNIA SUR La Paz	COAHUILA, Torreón	COLIMA Manzanillo	DISTRITO FEDERAL	GUANAJUATO Irapuato	MEXICO Toluca	MORELOS Cuernavaca	NUEVO LEON Monterrey	OAXACA	PUEBLA	QUERETARO Sn Juan dl Rio	QUINTANA ROO Cancun	SAN LUIS POTOSI	SONORA Nogales	TABASCO Villahermosa	TAMAULIPAS Tampico	VERACRUZ	YUCATAN Mérida	BAJA CALIFORNIA NTE. Tijuana
CAMPECHE	812	2702	1054	987	733	719	767	573	967	595	502	638	314	761	1676	252	662	422	105	1953
CHAPAS Tuxt	668	2426	910	843	583	575	454	408	880	449	358	495	555	617	1532	168	519	371	398	1811
CHIHUAHUA	475	1457	313	745	788	573	706	758	500	944	775	636	1514	513	385	1085	696	913	1352	708
DURANGO	277	1778	164	477	521	407	438	504	383	677	508	369	1247	328	728	818	459	646	1085	1029
GUERRERO Acapulco	415	2153	652	337	350	328	262	193	595	387	287	343	952	368	1281	492	426	332	742	1455
HIDALGO Pachuca	353	2163	503	446	130	223	123	139	433	321	95	116	810	280	1135	382	297	279	654	1412
JALISCO Guadalajara	152	1742	334	367	350	167	350	467	517	475	430	266	1027	234	784	800	496	933	855	1043
MICHOACAN Morelia	208	1879	390	633	340	84	146	278	518	387	290	119	956	209	985	492	347	332	746	1178
NAYARIT Tepic	279	1647	368	315	533	315	428	431	497	610	440	393	1179	362	737	700	460	539	954	946
SINALOA Culiacán	567	1521	391	502	686	502	591	684	575	862	693	564	1432	539	495	1003	746	831	1271	773
TLAXCALA Apizaco	402	2210	543	496	207	278	141	128	495	259	83	171	759	334	1176	447	309	217	602	1461
ZACATECAS	112	1751	250	414	467	197	394	367	278	540	371	294	1110	122	802	636	392	475	889	1052

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por <http://fletes.com/trailer-53cajaseca.aspx> consultada el 20/10/10.

Anexo 2. Cuadro 3. Nomenclatura de las variables de decisión *xij*

	AGUASCALIENTES	BAJA CALIFORNIA SUR La Paz	COAHUILA Torreón	COLIMA Manzanillo	DISTRITO FEDERAL	GUANAJUATO Irapuato	MEXICO Toluca	MORELOS Cuernavaca	NUEVO LEON Monterrey	OAXACA	PUEBLA	QUERETARO S. Juan del Río	QUINTANA ROO Cancun	SAN LUIS POTOSI	SONORA Nogales	TABASCO Villahermosa	TAMAULIPAS Tampico	VERACRUZ	YUCATAN Mérida	BAJA CALIFORNIA NTE. Tijuana
CAMPECHE	Xa1	Xa2	Xa3	Xa4	Xa5	Xa6	Xa7	Xa8	Xa9	Xa10	Xa11	Xa12	Xa13	Xa14	Xa15	Xa16	Xa17	Xa18	Xa19	Xa20
CHIAPAS Tuxtla G.	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X210	X211	X212	X213	X214	X215	X216	X217	X218	X219	X220
CHIHUAHUA	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38	X39	X310	X311	X312	X313	X314	X315	X316	X317	X318	X319	X320
DURANGO	X41	X42	X43	X44	X45	X46	X47	X48	X49	X410	X411	X412	X413	X414	X415	X416	X417	X418	X419	X420
GUERRERO Acapulco	X51	X52	X53	X54	X55	X56	X57	X58	X59	X510	X511	X512	X513	X514	X515	X516	X517	X518	X519	X520
HIDALGO Pachuca	X61	X62	X63	X64	X65	X66	X67	X68	X69	X610	X611	X612	X613	X614	X615	X616	X617	X618	X619	X620
JALISCO Guadalajara	X71	X72	X73	X74	X75	X76	X77	X78	X79	X710	X711	X712	X713	X714	X715	X716	X717	X718	X719	X720
MICHOACAN Morelia	X81	X82	X83	X84	X85	X86	X87	X88	X89	X810	X811	X812	X813	X814	X815	X816	X817	X818	X819	X820
NAYARIT Tepic	X91	X92	X93	X94	X95	X96	X97	X98	X99	X910	X911	X912	X913	X914	X915	X916	X917	X918	X919	X920
SINALOA Culiacán	X101	X102	X103	X104	X105	X106	X107	X108	X109	X1010	X1011	X1012	X1013	X1014	X1015	X1016	X1017	X1018	X1019	X1020
TLAXCALA Apizaco	X111	X112	X113	X114	X115	X116	X117	X118	X119	X1110	X1111	X1112	X1113	X1114	X1115	X1116	X1117	X1118	X1119	X1120
ZACATECAS	X121	X122	X123	X124	X125	X126	X127	X128	X129	X1210	X1211	X1212	X1213	X1214	X1215	X1216	X1217	X1218	X1219	X1220

Anexo 2. Cuadro 4. Cálculo de la cantidad disponible de maíz blanco por Estado.

	Prod. Total	Habitantes	Cons. Per	Consumo	Disponible
Estado	2009 (Ton)		cápita Maíz	Total (Ton)	(Ton)
AGUASCALIENTES	45404	1133137	0.2	226627.4	-181,223.40
BAJA CALIFORNIA SUR	20715.83	558425	0.2	111685	-90,969.17
CAMPECHE	278697.64	791322	0.2	158264.4	120,433.24
CHIAPAS	1218455.51	4483886	0.2	896777.2	321,678.31
CHIHUAHUA	974935.69	3376062	0.2	675212.4	299,723.29
COAHUILA	16507.1	2615574	0.2	523114.8	-506,607.70
COLIMA	28733.3	597043	0.2	119408.6	-90,675.30
					-
DISTRITO FEDERAL	7963.88	8839361	0.2	1767872.2	1,759,908.32
DURANGO	334089.25	1547597	0.2	309519.4	24,569.85
GUANAJUATO	844469.96	5033276	0.2	1006655.2	-162,185.24
GUERRERO	1135837.49	3143292	0.2	628658.4	507,179.09
HIDALGO	513060.42	2415461	0.2	483092.2	29,968.22
JALISCO	2543055.73	6989304	0.2	1397860.8	1,145,194.93
					-
MEXICO	1316201.8	14739060	0.2	2947812	1,631,610.20
MICHOACAN	1182457.59	3971225	0.2	794245	388,212.59
MORELOS	85314.66	1859708	0.2	371941.6	-286,626.94
NAYARIT	214439.91	968257	0.2	193651.4	20,788.51
NUEVO LEON	35932.48	4420909	0.2	884181.8	-848,249.32
OAXACA	594932.13	3551710	0.2	710342	-115,409.87
PUEBLA	658118.07	5624104	0.2	1124820.8	-466,702.73
QUERETARO	214760.57	1705267	0.2	341053.4	-126,292.83
QUINTANA ROO	33769.56	1290323	0.2	258064.6	-224,295.04
SAN LUIS POTOSI	114074.58	2479450	0.2	495890	-381,815.42
SINALOA	5236719.74	2650499	0.2	530099.8	4,706,619.94
SONORA	103487.95	2499263	0.2	499852.6	-396,364.65
TABASCO	117533.77	2045294	0.2	409058.8	-291,525.03
TAMAULIPAS	428198.18	3174134	0.2	634826.8	-206,628.62
TLAXCALA	274415.9	1127331	0.2	225466.2	48,949.70
VERACRUZ	1138874.9	7270413	0.2	1454082.6	-315,207.70
YUCATAN	44220.78	1909965	0.2	381993	-337,772.22
ZACATECAS	387437.39	1380633	0.2	276126.6	111,310.79
BAJA CALIFORNIA NTE.	0	3122408	0.2	624481.6	-624,481.60

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos en SIAP y CONAPO, consultados el 8/10/2010 en http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 y en http://wapedia.mobi/es/Estados_de_M%C3%A9xico_por_poblaci%C3%B3n Nota: la población para 2009 es estimada.

Anexo 2. Cuadro 5.Cálculo de la cantidad disponible de maíz con la producción potencial

Estados	Prod. Potencial	Consumo total	Disponible
Aguascalientes	93,475	226627.4	-133,152
Baja California	17,386	624481.6	-607,096
Baja California Sur	38,301	111685	-73,384
Campeche	375,298	158264.4	217,034
Chiapas	1,988,701	896777.2	1,091,924
Chihuahua	973,828	675212.4	298,616
Coahuila	50,849	523114.8	-472,266
Colima	43,403	119408.6	-76,006
Distrito Federal	12,654	1767872.2	-1,755,218
Durango	401,167	309519.4	91,648
Guanajuato	1,638,581	1006655.2	631,926
Guerrero	1,310,926	628658.4	682,268
Hidalgo	649,211	483092.2	166,119
Jalisco	3,328,646	1397860.8	1,930,785
México	2,263,287	2947812	-684,525
Michoacán	1,587,573	794245	793,328
Morelos	122,714	371941.6	-249,228
Nayarit	227,643	193651.4	33,992
Nuevo León	71,148	884181.8	-813,034
Oaxaca	817,497	710342	107,155
Puebla	1,143,483	1124820.8	18,662
Querétaro	376,461	341053.4	35,408
Quintana Roo	58,127	258064.6	-199,938
San Luis Potosí	223,914	495890	-271,976
Sinaloa	5,368,862	530099.8	4,838,762
Sonora	227,231	499852.6	-272,622
Tabasco	179,890	409058.8	-229,169
Tamaulipas	711,437	634826.8	76,610
Tlaxcala	314,973	225466.2	89,507
Veracruz	1,319,714	1454082.6	-134,369
Yucatán	161,704	381993	-220,289
Zacatecas	516,313	276126.6	240,186

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del SIAP.

ANEXO 3

Modelo de transporte de mercado cerrado 2009

min

812Xa1+2702Xa2+1054Xa3+987Xa4+733Xa5+719Xa6+767Xa7+573Xa8+967Xa9+595Xa10+502Xa11+638Xa12+314Xa13+761Xa14+
1676Xa15+252Xa16+662Xa17+422Xa18+105Xa19+1953Xa20+

668X21+2426X22+910X23+843X24+583X25+575X26+454X27+408X28+880X29+449X210+358X211+495X212+555X213+617X214+
1532X215+168X216+519X217+371X218+398X219+1811X220+

475X31+1457X32+313X33+745X34+788X35+573X36+706X37+758X38+500X39+944X310+775X311+636X312+1514X313+513X314
+385X315+1085X316+696X317+913X318+1352X319+708X320+

277X41+1778X42+164X43+477X44+521X45+407X46+438X47+504X48+383X49+677X410+508X411+369X412+1247X413+328X414
+728X415+818X416+459X417+646X418+1085X419+1029X420+

415X51+2153X52+652X53+337X54+350X55+328X56+262X57+193X58+595X59+387X510+287X511+343X512+952X513+368X514+
1281X515+492X516+426X517+332X518+742X519+1455X520+

353X61+2163X62+503X63+446X64+130X65+223X66+123X67+139X68+433X69+321X610+95X611+116X612+810X613+280X614+1
135X615+382X616+297X617+279X618+654X619+1412X620+

152X71+1742X72+334X73+367X74+350X75+167X76+350X77+467X78+517X79+475X710+430X711+266X712+1027X713+234X714
+784X715+800X716+496X717+933X718+855X719+1043X720+

208X81+1879X82+390X83+633X84+340X85+84X86+146X87+278X88+518X89+387X810+290X811+119X812+956X813+209X814+9
85X815+492X816+347X817+332X818+746X819+1178X820+

279X91+1647X92+368X93+315X94+533X95+315X96+428X97+431X98+497X99+610X910+440X911+393X912+1179X913+362X914
+737X915+700X916+460X917+539X918+954X919+946X920+

567X101+1521X102+391X103+502X104+686X105+502X106+591X107+684X108+575X109+862X1010+693X1011+564X1012+1432
X1013+539X1014+495X1015+1003X1016+746X1017+831X1018+1271X1019+773X1020+

402X111+2210X112+543X113+496X114+207X115+278X116+141X117+128X118+495X119+259X1110+83X1111+171X1112+759X1
113+334X1114+1176X1115+447X1116+309X1117+217X1118+602X1119+1461X1120+

112X121+1751X122+250X123+414X124+467X125+197X126+394X127+367X128+278X129+540X1210+371X1211+294X1212+1110
X1213+122X1214+802X1215+636X1216+392X1217+475X1218+889X1219+1052X1220

SUBJECT TO

Xa1+Xa2+Xa3+Xa4+Xa5+Xa6+Xa7+Xa8+Xa9+Xa10+Xa11+Xa12+Xa13+Xa14+Xa15+Xa16+Xa17+Xa18+Xa19+Xa20=120433.24

X21+X22+X23+X24+X25+X26+X27+X28+X29+X210+X211+X212+X213+X214+X215+X216+X217+X218+X219+X220=321678.31

$X_{31}+X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35}+X_{36}+X_{37}+X_{38}+X_{39}+X_{310}+X_{311}+X_{312}+X_{313}+X_{314}+X_{315}+X_{316}+X_{317}+X_{318}+X_{319}+X_{320}=299723.29$

$X_{41}+X_{42}+X_{43}+X_{44}+X_{45}+X_{46}+X_{47}+X_{48}+X_{49}+X_{410}+X_{411}+X_{412}+X_{413}+X_{414}+X_{415}+X_{416}+X_{417}+X_{418}+X_{419}+X_{420}=24569.85$

$X_{51}+X_{52}+X_{53}+X_{54}+X_{55}+X_{56}+X_{57}+X_{58}+X_{59}+X_{510}+X_{511}+X_{512}+X_{513}+X_{514}+X_{515}+X_{516}+X_{517}+X_{518}+X_{519}+X_{520}=507179.09$

$X_{61}+X_{62}+X_{63}+X_{64}+X_{65}+X_{66}+X_{67}+X_{68}+X_{69}+X_{610}+X_{611}+X_{612}+X_{613}+X_{614}+X_{615}+X_{616}+X_{617}+X_{618}+X_{619}+X_{620}=29968.22$

$X_{71}+X_{72}+X_{73}+X_{74}+X_{75}+X_{76}+X_{77}+X_{78}+X_{79}+X_{710}+X_{711}+X_{712}+X_{713}+X_{714}+X_{715}+X_{716}+X_{717}+X_{718}+X_{719}+X_{720}=1145194.93$

$X_{81}+X_{82}+X_{83}+X_{84}+X_{85}+X_{86}+X_{87}+X_{88}+X_{89}+X_{810}+X_{811}+X_{812}+X_{813}+X_{814}+X_{815}+X_{816}+X_{817}+X_{818}+X_{819}+X_{820}=388212.59$

$X_{91}+X_{92}+X_{93}+X_{94}+X_{95}+X_{96}+X_{97}+X_{98}+X_{99}+X_{910}+X_{911}+X_{912}+X_{913}+X_{914}+X_{915}+X_{916}+X_{917}+X_{918}+X_{919}+X_{920}=20788.51$

$X_{101}+X_{102}+X_{103}+X_{104}+X_{105}+X_{106}+X_{107}+X_{108}+X_{109}+X_{1010}+X_{1011}+X_{1012}+X_{1013}+X_{1014}+X_{1015}+X_{1016}+X_{1017}+X_{1018}+X_{1019}+X_{1020}=4706619.94$

$X_{111}+X_{112}+X_{113}+X_{114}+X_{115}+X_{116}+X_{117}+X_{118}+X_{119}+X_{1110}+X_{1111}+X_{1112}+X_{1113}+X_{1114}+X_{1115}+X_{1116}+X_{1117}+X_{1118}+X_{1119}+X_{1120}=48949.70$

$X_{121}+X_{122}+X_{123}+X_{124}+X_{125}+X_{126}+X_{127}+X_{128}+X_{129}+X_{1210}+X_{1211}+X_{1212}+X_{1213}+X_{1214}+X_{1215}+X_{1216}+X_{1217}+X_{1218}+X_{1219}+X_{1220}=111310.79$

$X_{a1}+X_{21}+X_{31}+X_{41}+X_{51}+X_{61}+X_{71}+X_{81}+X_{91}+X_{101}+X_{111}+X_{121}\leq 181223.40$

$X_{a2}+X_{22}+X_{32}+X_{42}+X_{52}+X_{62}+X_{72}+X_{82}+X_{92}+X_{102}+X_{112}+X_{122}\leq 90969.17$

$X_{a3}+X_{23}+X_{33}+X_{43}+X_{53}+X_{63}+X_{73}+X_{83}+X_{93}+X_{103}+X_{113}+X_{123}\leq 506607.7$

$X_{a4}+X_{24}+X_{34}+X_{44}+X_{54}+X_{64}+X_{74}+X_{84}+X_{94}+X_{104}+X_{114}+X_{124}\leq 90675.3$

$X_{a5}+X_{25}+X_{35}+X_{45}+X_{55}+X_{65}+X_{75}+X_{85}+X_{95}+X_{105}+X_{115}+X_{125}\leq 1759908.32$

$X_{a6}+X_{26}+X_{36}+X_{46}+X_{56}+X_{66}+X_{76}+X_{86}+X_{96}+X_{106}+X_{116}+X_{126}\leq 162185.24$

$X_{a7}+X_{27}+X_{37}+X_{47}+X_{57}+X_{67}+X_{77}+X_{87}+X_{97}+X_{107}+X_{117}+X_{127}\leq 1631610.2$

$X_{a8}+X_{28}+X_{38}+X_{48}+X_{58}+X_{68}+X_{78}+X_{88}+X_{98}+X_{108}+X_{118}+X_{128}\leq 286626.94$

$X_{a9}+X_{29}+X_{39}+X_{49}+X_{59}+X_{69}+X_{79}+X_{89}+X_{99}+X_{109}+X_{119}+X_{129}\leq 848249.32$

$X_{a10}+X_{210}+X_{310}+X_{410}+X_{510}+X_{610}+X_{710}+X_{810}+X_{910}+X_{1010}+X_{1110}+X_{1210}\leq 115409.87$

$X_{a11}+X_{211}+X_{311}+X_{411}+X_{511}+X_{611}+X_{711}+X_{811}+X_{911}+X_{1011}+X_{1111}+X_{1211}\leq 466702.73$

$X_{a12}+X_{212}+X_{312}+X_{412}+X_{512}+X_{612}+X_{712}+X_{812}+X_{912}+X_{1012}+X_{1112}+X_{1212}\leq 126292.83$

$X_{a13}+X_{213}+X_{313}+X_{413}+X_{513}+X_{613}+X_{713}+X_{813}+X_{913}+X_{1013}+X_{1113}+X_{1213}\leq 224295.04$

$Xa14+X214+X314+X414+X514+X614+X714+X814+X914+X1014+X1114+X1214 \leq 381815.42$

$Xa15+X215+X315+X415+X515+X615+X715+X815+X915+X1015+X1115+X1215 \leq 396364.65$

$Xa16+X216+X316+X416+X516+X616+X716+X816+X916+X1016+X1116+X1216 \leq 291525.03$

$Xa17+X217+X317+X417+X517+X617+X717+X817+X917+X1017+X1117+X1217 \leq 206628.62$

$Xa18+X218+X318+X418+X518+X618+X718+X818+X918+X1018+X1118+X1218 \leq 315207.7$

$Xa19+X219+X319+X419+X519+X619+X719+X819+X919+X1019+X1119+X1219 \leq 337772.22$

$Xa20+X220+X320+X420+X520+X620+X720+X820+X920+X1020+X1120+X1220 \leq 624481.6$

Modelo de transporte de mercado abierto 2010

min

$812Xa1+2702Xa2+1054Xa3+987Xa4+733Xa5+1007Xa6+767Xa7+573Xa8+939Xa9+967Xa10+595Xa11+502Xa12+638Xa13+314Xa14+761Xa15+1676Xa16+252Xa17+662Xa18+422Xa19+105Xa20+1953Xa21+870Xa22+$

$668X21+2560X22+910X23+843X24+583X25+863X26+454X27+408X28+795X29+880X210+449X211+358X212+495X213+555X214+617X215+1532X216+168X217+519X218+371X219+398X220+1811X221+726X222+$

$475X31+1457X32+313X33+745X34+788X35+459X36+706X37+758X38+615X39+733X310+944X311+775X312+636X313+1514X314+513X315+385X316+1085X317+696X318+913X319+1352X320+708X321+417X322+$

$124X41+1878X42+328X43+376X44+263X45+407X46+197X47+288X48+315X49+367X410+389X411+293X412+96X413+959X414+125X415+986X416+495X417+387X418+334X419+744X420+1179X421+197X422+$

$415X51+2153X52+652X53+337X54+350X55+653X56+262X57+193X58+508X59+595X510+387X511+287X512+343X513+952X514+368X515+1281X516+492X517+426X518+332X519+742X520+1455X521+469X522+$

$353X61+2163X62+503X63+446X64+130X65+456X66+123X67+139X68+398X69+433X610+321X611+95X612+116X613+810X614+280X615+1135X616+382X617+297X618+279X619+654X620+1412X621+425X622+$

$152X71+1742X72+334X73+367X74+350X75+415X76+433X77+467X78+230X79+400X710+475X711+430X712+266X713+1027X714+234X715+784X716+800X717+496X718+933X719+855X720+1043X721+225X722+$

$208X81+1879X82+390X83+633X84+340X85+372X86+146X87+278X88+315X89+518X810+387X811+290X812+119X813+1067X814+209X815+985X816+492X817+347X818+332X819+746X820+1178X821+281X822+$

$567X91+1521X92+391X93+502X94+686X95+358X96+591X97+684X98+337X99+717X910+862X911+693X912+564X913+1432X914+539X915+495X916+1003X917+746X918+831X919+1271X920+773X921+418X922+$

$402X101+2210X102+543X103+496X104+207X105+497X106+141X107+128X108+440X109+495X1010+259X1011+83X1012+171X1013+759X1014+334X1015+1176X1016+447X1017+309X1018+217X1019+602X1020+1461X1021+360X1022+$

$361X111+1836X112+483X113+683X114+631X115+433X116+508X117+613X118+595X119+217X1110+784X1111+614X1112+443X1113+1356X1114+335X1115+894X1116+799X1117+385X1118+1233X1119+1233X1120+1133X1121+413X1122+$

608X121+1298X122+383X123+858X124+913X125+500X126+822X127+934X128+737X129+567X1210+1120X1211+951X1212+757X1213+1690X1214+533X1215+425X1216+1177X1217+813X1218+1016X1219+1867X1220+599X1221+553X1222+

549X131+2448X132+790X133+733X134+417X135+743X136+446X137+413X138+685X139+744X1310+441X1311+318X1312+375X1313+510X1314+497X1315+1422X1316+109X1317+399X1318+211X1319+465X1320+1699X1321+606X1322

SUBJECT TO

Xa1+Xa2+Xa3+Xa4+Xa5+Xa6+Xa7+Xa8+Xa9+Xa10+Xa11+Xa12+Xa13+Xa14+Xa15+Xa16+Xa17+Xa18+Xa19+Xa20+Xa21+Xa22=211870

X21+X22+X23+X24+X25+X26+X27+X28+X29+X210+X211+X212+X213+X214+X215+X216+X217+X218+X219+X220+X221+X222=387215

X31+X32+X33+X34+X35+X36+X37+X38+X39+X310+X311+X312+X313+X314+X315+X316+X317+X318+X319+X320+X321+X322=353331

X41+X42+X43+X44+X45+X46+X47+X48+X49+X410+X411+X412+X413+X414+X415+X416+X417+X418+X419+X420+X421+X422=33034

X51+X52+X53+X54+X55+X56+X57+X58+X59+X510+X511+X512+X513+X514+X515+X516+X517+X518+X519+X520+X521+X522=702332

X61+X62+X63+X64+X65+X66+X67+X68+X69+X610+X611+X612+X613+X614+X615+X616+X617+X618+X619+X620+X621+X622=53666

X71+X72+X73+X74+X75+X76+X77+X78+X79+X710+X711+X712+X713+X714+X715+X716+X717+X718+X719+X720+X721+X722=1851429

X81+X82+X83+X84+X85+X86+X87+X88+X89+X810+X811+X812+X813+X814+X815+X816+X817+X818+X819+X820+X821+X822=612766

X91+X92+X93+X94+X95+X96+X97+X98+X99+X910+X911+X912+X913+X914+X915+X916+X917+X918+X919+X920+X921+X922=4646642

X101+X102+X103+X104+X105+X106+X107+X108+X109+X1010+X1011+X1012+X1013+X1014+X1015+X1016+X1017+X1018+X1019+X1020+X1021+X1022=59857

X111+X112+X113+X114+X115+X116+X117+X118+X119+X1110+X1111+X1112+X1113+X1114+X1115+X1116+X1117+X1118+X1119+X1120+X1121+X1122+

X121+X122+X123+X124+X125+X126+X127+X128+X129+X1210+X1211+X1212+X1213+X1214+X1215+X1216+X1217+X1218+X1219+X1220+X1221+X1222+

X131+X132+X133+X134+X135+X136+X137+X138+X139+X1310+X1311+X1312+X1313+X1314+X1315+X1316+X1317+X1318+X1319+X1320+X1321+X1322=288794

Xa1+X21+X31+X41+X51+X61+X71+X81+X91+X101+X111+X121+X131<=197220

Xa2+X22+X32+X42+X52+X62+X72+X82+X92+X102+X112+X122+X132<=116681

Xa3+X23+X33+X43+X53+X63+X73+X83+X93+X103+X113+X123+X133<=537885

Xa4+X24+X34+X44+X54+X64+X74+X84+X94+X104+X114+X124+X134<=98476

$Xa5+X25+X35+X45+X55+X65+X75+X85+X95+X105+X115+X125+X135 \leq 1849898$
 $Xa6+X26+X36+X46+X56+X66+X76+X86+X96+X106+X116+X126+X136 \leq 93479$
 $Xa7+X27+X37+X47+X57+X67+X77+X87+X97+X107+X117+X127+X137 \leq 1637386$
 $Xa8+X28+X38+X48+X58+X68+X78+X88+X98+X108+X118+X128+X138 \leq 279210$
 $Xa9+X29+X39+X49+X59+X69+X79+X89+X99+X109+X119+X129+X139 \leq 51622$
 $Xa10+X210+X310+X410+X510+X610+X710+X810+X910+X1010+X1110+X1210+X1310 \leq 916491$
 $Xa11+X211+X311+X411+X511+X611+X711+X811+X911+X1011+X1111+X1211+X1311 \leq 152881$
 $Xa12+X212+X312+X412+X512+X612+X712+X812+X912+X1012+X1112+X1212+X1312 \leq 133302$
 $Xa13+X213+X313+X413+X513+X613+X713+X813+X913+X1013+X1113+X1213+X1313 \leq 101440$
 $Xa14+X214+X314+X414+X514+X614+X714+X814+X914+X1014+X1114+X1214+X1314 \leq 222592$
 $Xa15+X215+X315+X415+X515+X615+X715+X815+X915+X1015+X1115+X1215+X1315 \leq 377190$
 $Xa16+X216+X316+X416+X516+X616+X716+X816+X916+X1016+X1116+X1216+X1316 \leq 318167$
 $Xa17+X217+X317+X417+X517+X617+X717+X817+X917+X1017+X1117+X1217+X1317 \leq 365639$
 $Xa18+X218+X318+X418+X518+X618+X718+X818+X918+X1018+X1118+X1218+X1318 \leq 146226$
 $Xa19+X219+X319+X419+X519+X619+X719+X819+X919+X1019+X1119+X1219+X1319 \leq 631613$
 $Xa20+X220+X320+X420+X520+X620+X720+X820+X920+X1020+X1120+X1220+X1320 \leq 290130$
 $Xa21+X221+X321+X421+X521+X621+X721+X821+X921+X1021+X1121+X1221+X1321 \leq 662565$
 $Xa22+X222+X322+X422+X522+X622+X722+X822+X922+X1022+X1122+X1222+X1322 \leq 20845$

Modelo de transporte de producción potencial 2000-2010 de mercado cerrado

min

$812Xa1+2702Xa2+1054Xa3+987Xa4+733Xa5+767Xa6+573Xa7+939Xa8+967Xa9+502Xa10+638Xa11+314Xa12+761Xa13+1676Xa14$
 $+252Xa15+422Xa16+105Xa17+1953Xa18+$
 $668X21+2560X22+910X23+843X24+583X25+454X26+408X27+795X28+880X29+358X210+495X211+555X212+617X213+1532X214$
 $+168X215+371X216+398X217+1811X218+$
 $475X31+1457X32+313X33+745X34+788X35+706X36+758X37+615X38+733X39+775X310+636X311+1514X312+513X313+385X314$
 $+1085X315+913X316+1352X317+708X318+$
 $277X41+1778X42+164X43+477X44+521X45+438X46+504X47+361X48+467X49+508X410+369X411+1247X412+328X413+728X414$
 $+818X415+646X416+1085X417+1029X418+$
 $124X51+1878X52+328X53+376X54+263X55+197X56+288X57+315X58+367X59+293X510+96X511+959X512+125X513+986X514+4$
 $95X515+334X516+744X517+1179X518+$

415X61+2153X62+652X63+337X64+350X65+262X66+193X67+508X68+595X69+287X610+343X611+952X612+368X613+1281X614
+492X615+332X616+742X617+1455X618+

353X71+2163X72+503X73+446X74+130X75+123X76+139X77+398X78+433X79+95X710+116X711+810X712+280X713+1135X714+
382X715+279X716+654X717+1412X718+

152X81+1742X82+334X83+367X84+350X85+433X86+467X87+230X88+400X89+430X810+266X811+1027X812+234X813+784X814
+800X815+933X816+855X817+1043X818+

208X91+1879X92+390X93+633X94+340X95+146X96+278X97+315X98+518X99+290X910+119X911+1067X912+209X913+985X914
+492X915+332X916+746X917+1178X918+

482X101+2374X102+724X103+657X104+327X105+357X106+296X107+610X108+1133X109+230X1010+411X1011+834X1012+432
X1013+1346X1014+406X1015+311X1016+678X1017+1624X1018+

567X111+1521X112+391X113+502X114+686X115+591X116+684X117+337X118+717X119+693X1110+564X1111+1432X1112+539
X1113+495X1114+1003X1115+831X1116+1271X1117+773X1118+

392X121+2010X122+567X123+1533X124+381X125+384X126+408X127+460X128+400X129+383X1210+304X1211+902X1212+270
X1213+1080X1214+442X1215+308X1216+695X1217+1309X1218+

402X131+2210X132+543X133+496X134+207X135+141X136+128X137+440X138+495X139+83X1310+171X1311+759X1312+334X1
313+1176X1314+447X1315+217X1316+602X1317+1461X1318+

112X141+1751X142+250X143+414X144+467X145+383X146+367X147+353X148+278X149+371X1410+294X1411+1110X1412+122
X1413+802X1414+636X1415+475X1416+889X1417+1052X1418

SUBJECT TO

Xa1+Xa2+Xa3+Xa4+Xa5+Xa6+Xa7+Xa8+Xa9+Xa10+Xa11+Xa12+Xa13+Xa14+Xa15+Xa16+Xa17+Xa18<=211870

X21+X22+X23+X24+X25+X26+X27+X28+X29+X210+X211+X212+X213+X214+X215+X216+X217+X218<=981419

X31+X32+X33+X34+X35+X36+X37+X38+X39+X310+X311+X312+X313+X314+X315+X316+X317+X318<=353331

X41+X42+X43+X44+X45+X46+X47+X48+X49+X410+X411+X412+X413+X414+X415+X416+X417+X418<=58251

X51+X52+X53+X54+X55+X56+X57+X58+X59+X510+X511+X512+X513+X514+X515+X516+X517+X518<=486443

X61+X62+X63+X64+X65+X66+X67+X68+X69+X610+X611+X612+X613+X614+X615+X616+X617+X618<=702332

X71+X72+X73+X74+X75+X76+X77+X78+X79+X710+X711+X712+X713+X714+X715+X716+X717+X718<=89557

X81+X82+X83+X84+X85+X86+X87+X88+X89+X810+X811+X812+X813+X814+X815+X816+X817+X818<=1851429

X91+X92+X93+X94+X95+X96+X97+X98+X99+X910+X911+X912+X913+X914+X915+X916+X917+X918<=673855

X101+X102+X103+X104+X105+X106+X107+X108+X109+X1010+X1011+X1012+X1013+X1014+X1015+X1016+X1017+X1018<=1908
5

X111+X112+X113+X114+X115+X116+X117+X118+X119+X1110+X1111+X1112+X1113+X1114+X1115+X1116+X1117+X1118<=4787
632

X121+X122+X123+X124+X125+X126+X127+X128+X129+X1210+X1211+X1212+X1213+X1214+X1215+X1216+X1217+X1218<=2504
1

$X_{131}+X_{132}+X_{133}+X_{134}+X_{135}+X_{136}+X_{137}+X_{138}+X_{139}+X_{1310}+X_{1311}+X_{1312}+X_{1313}+X_{1314}+X_{1315}+X_{1316}+X_{1317}+X_{1318} \leq 69286$

$X_{141}+X_{142}+X_{143}+X_{144}+X_{145}+X_{146}+X_{147}+X_{148}+X_{149}+X_{1410}+X_{1411}+X_{1412}+X_{1413}+X_{1414}+X_{1415}+X_{1416}+X_{1417}+X_{1418} \leq 203273$

$X_{a1}+X_{21}+X_{31}+X_{41}+X_{51}+X_{61}+X_{71}+X_{81}+X_{91}+X_{101}+X_{111}+X_{121}+X_{131}+X_{141}=155374$

$X_{a2}+X_{22}+X_{32}+X_{42}+X_{52}+X_{62}+X_{72}+X_{82}+X_{92}+X_{102}+X_{112}+X_{122}+X_{132}+X_{142}=95474$

$X_{a3}+X_{23}+X_{33}+X_{43}+X_{53}+X_{63}+X_{73}+X_{83}+X_{93}+X_{103}+X_{113}+X_{123}+X_{133}+X_{143}=526313$

$X_{a4}+X_{24}+X_{34}+X_{44}+X_{54}+X_{64}+X_{74}+X_{84}+X_{94}+X_{104}+X_{114}+X_{124}+X_{134}+X_{144}=93214$

$X_{a5}+X_{25}+X_{35}+X_{45}+X_{55}+X_{65}+X_{75}+X_{85}+X_{95}+X_{105}+X_{115}+X_{125}+X_{135}+X_{145}=1846073$

$X_{a6}+X_{26}+X_{36}+X_{46}+X_{56}+X_{66}+X_{76}+X_{86}+X_{96}+X_{106}+X_{116}+X_{126}+X_{136}+X_{146}=923644$

$X_{a7}+X_{27}+X_{37}+X_{47}+X_{57}+X_{67}+X_{77}+X_{87}+X_{97}+X_{107}+X_{117}+X_{127}+X_{137}+X_{147}=250504$

$X_{a8}+X_{28}+X_{38}+X_{48}+X_{58}+X_{68}+X_{78}+X_{88}+X_{98}+X_{108}+X_{118}+X_{128}+X_{138}+X_{148}=203$

$X_{a9}+X_{29}+X_{39}+X_{49}+X_{59}+X_{69}+X_{79}+X_{89}+X_{99}+X_{109}+X_{119}+X_{129}+X_{139}+X_{149}=906078$

$X_{a10}+X_{210}+X_{310}+X_{410}+X_{510}+X_{610}+X_{710}+X_{810}+X_{910}+X_{1010}+X_{1110}+X_{1210}+X_{1310}+X_{1410}=70281$

$X_{a11}+X_{211}+X_{311}+X_{411}+X_{511}+X_{611}+X_{711}+X_{811}+X_{911}+X_{1011}+X_{1111}+X_{1211}+X_{1311}+X_{1411}=7406$

$X_{a12}+X_{212}+X_{312}+X_{412}+X_{512}+X_{612}+X_{712}+X_{812}+X_{912}+X_{1012}+X_{1112}+X_{1212}+X_{1312}+X_{1412}=220244$

$X_{a13}+X_{213}+X_{313}+X_{413}+X_{513}+X_{613}+X_{713}+X_{813}+X_{913}+X_{1013}+X_{1113}+X_{1213}+X_{1313}+X_{1413}=319045$

$X_{a14}+X_{214}+X_{314}+X_{414}+X_{514}+X_{614}+X_{714}+X_{814}+X_{914}+X_{1014}+X_{1114}+X_{1214}+X_{1314}+X_{1414}=318167$

$X_{a15}+X_{215}+X_{315}+X_{415}+X_{515}+X_{615}+X_{715}+X_{815}+X_{915}+X_{1015}+X_{1115}+X_{1215}+X_{1315}+X_{1415}=290217$

$X_{a16}+X_{216}+X_{316}+X_{416}+X_{516}+X_{616}+X_{716}+X_{816}+X_{916}+X_{1016}+X_{1116}+X_{1216}+X_{1316}+X_{1416}=285357$

$X_{a17}+X_{217}+X_{317}+X_{417}+X_{517}+X_{617}+X_{717}+X_{817}+X_{917}+X_{1017}+X_{1117}+X_{1217}+X_{1317}+X_{1417}=248967$

$X_{a18}+X_{218}+X_{318}+X_{418}+X_{518}+X_{618}+X_{718}+X_{818}+X_{918}+X_{1018}+X_{1118}+X_{1218}+X_{1318}+X_{1418}=645179$

Modelo de transporte de producción potencial 2000-2010 de mercado abierto

min

$812X_{a1}+2702X_{a2}+1054X_{a3}+987X_{a4}+733X_{a5}+767X_{a6}+573X_{a7}+939X_{a8}+967X_{a9}+502X_{a10}+638X_{a11}+314X_{a12}+761X_{a13}+1676X_{a14}+252X_{a15}+422X_{a16}+105X_{a17}+1953X_{a18}+361X_{a19}+1080X_{a20}+481X_{a21}+$

$668X_{21}+2560X_{22}+910X_{23}+843X_{24}+583X_{25}+454X_{26}+408X_{27}+795X_{28}+880X_{29}+358X_{210}+495X_{211}+555X_{212}+617X_{213}+1532X_{214}+168X_{215}+371X_{216}+398X_{217}+1811X_{218}+169X_{219}+936X_{220}+256X_{221}+$

$475X_{31}+1457X_{32}+313X_{33}+745X_{34}+788X_{35}+706X_{36}+758X_{37}+615X_{38}+733X_{39}+775X_{310}+636X_{311}+1514X_{312}+513X_{313}+385X_{314}+1085X_{315}+913X_{316}+1352X_{317}+708X_{318}+1011X_{319}+500X_{320}+1346X_{321}+$

277X41+1778X42+164X43+477X44+521X45+438X46+504X47+361X48+467X49+508X410+369X411+1247X412+328X413+728X414
+818X415+646X416+1085X417+1029X418+743X419+208X420+1029X421+

124X51+1878X52+328X53+376X54+263X55+197X56+288X57+315X58+367X59+293X510+96X511+959X512+125X513+986X514+4
95X515+334X516+744X517+1179X518+455X519+390X520+741X521+

415X61+2153X62+652X63+337X64+350X65+262X66+193X67+508X68+595X69+287X610+343X611+952X612+368X613+1281X614
+492X615+332X616+742X617+1455X618+453X619+685X620+544X621+

353X71+2163X72+503X73+446X74+130X75+123X76+139X77+398X78+433X79+95X710+116X711+810X712+280X713+1135X714+
382X715+279X716+654X717+1412X718+409X719+539X720+593X721+

152X81+1742X82+334X83+367X84+350X85+433X86+467X87+230X88+400X89+430X810+266X811+1027X812+234X813+784X814
+800X815+933X816+855X817+1043X818+537X819+367X820+803X821+

208X91+1879X92+390X93+633X94+340X95+146X96+278X97+315X98+518X99+290X910+119X911+1067X912+209X913+985X914
+492X915+332X916+746X917+1178X918+453X919+390X920+738X921+

482X101+2374X102+724X103+657X104+327X105+357X106+296X107+610X108+1133X109+230X1010+411X1011+834X1012+432
X1013+1346X1014+406X1015+311X1016+678X1017+1624X1018+441X1019+751X1020+449X1021+

567X111+1521X112+391X113+502X114+686X115+591X116+684X117+337X118+717X119+693X1110+564X1111+1432X1112+539
X1113+495X1114+1003X1115+831X1116+1271X1117+773X1118+938X1119+150X1120+1214X1121+

392X121+2010X122+567X123+1533X124+381X125+384X126+408X127+460X128+400X129+383X1210+304X1211+902X1212+270
X1213+1080X1214+442X1215+308X1216+695X1217+1309X1218+399X1219+634X1220+684X1221+

402X131+2210X132+543X133+496X134+207X135+141X136+128X137+440X138+495X139+83X1310+171X1311+759X1312+334X1
313+1176X1314+447X1315+217X1316+602X1317+1461X1318+347X1319+581X1320+546X1321+

112X141+1751X142+250X143+414X144+467X145+383X146+367X147+353X148+278X149+371X1410+294X1411+1110X1412+122
X1413+802X1414+636X1415+475X1416+889X1417+1052X1418+606X1419+408X1420+892X1421

SUBJECT TO

Xa1+Xa2+Xa3+Xa4+Xa5+Xa6+Xa7+Xa8+Xa9+Xa10+Xa11+Xa12+Xa13+Xa14+Xa15+Xa16+Xa17+Xa18+Xa19+Xa20+Xa21<=211870

X21+X22+X23+X24+X25+X26+X27+X28+X29+X210+X211+X212+X213+X214+X215+X216+X217+X218+X219+X220+X221<=981419

X31+X32+X33+X34+X35+X36+X37+X38+X39+X310+X311+X312+X313+X314+X315+X316+X317+X318+X319+X320+X321<=353331

X41+X42+X43+X44+X45+X46+X47+X48+X49+X410+X411+X412+X413+X414+X415+X416+X417+X418+X419+X420+X421<=58251

X51+X52+X53+X54+X55+X56+X57+X58+X59+X510+X511+X512+X513+X514+X515+X516+X517+X518+X519+X520+X521<=486443

X61+X62+X63+X64+X65+X66+X67+X68+X69+X610+X611+X612+X613+X614+X615+X616+X617+X618+X619+X620+X621<=702332

X71+X72+X73+X74+X75+X76+X77+X78+X79+X710+X711+X712+X713+X714+X715+X716+X717+X718+X719+X720+X721<=89557

X81+X82+X83+X84+X85+X86+X87+X88+X89+X810+X811+X812+X813+X814+X815+X816+X817+X818+X819+X820+X821<=1851429

X91+X92+X93+X94+X95+X96+X97+X98+X99+X910+X911+X912+X913+X914+X915+X916+X917+X918+X919+X920+X921<=673855

X101+X102+X103+X104+X105+X106+X107+X108+X109+X1010+X1011+X1012+X1013+X1014+X1015+X1016+X1017+X1018+X1019
+X1020+X1021<=19085

$X_{111}+X_{112}+X_{113}+X_{114}+X_{115}+X_{116}+X_{117}+X_{118}+X_{119}+X_{1110}+X_{1111}+X_{1112}+X_{1113}+X_{1114}+X_{1115}+X_{1116}+X_{1117}+X_{1118}+X_{1119}+X_{1120}+X_{1121}\leq 4787632$

$X_{121}+X_{122}+X_{123}+X_{124}+X_{125}+X_{126}+X_{127}+X_{128}+X_{129}+X_{1210}+X_{1211}+X_{1212}+X_{1213}+X_{1214}+X_{1215}+X_{1216}+X_{1217}+X_{1218}+X_{1219}+X_{1220}+X_{1221}\leq 25041$

$X_{131}+X_{132}+X_{133}+X_{134}+X_{135}+X_{136}+X_{137}+X_{138}+X_{139}+X_{1310}+X_{1311}+X_{1312}+X_{1313}+X_{1314}+X_{1315}+X_{1316}+X_{1317}+X_{1318}+X_{1319}+X_{1320}+X_{1321}\leq 69286$

$X_{141}+X_{142}+X_{143}+X_{144}+X_{145}+X_{146}+X_{147}+X_{148}+X_{149}+X_{1410}+X_{1411}+X_{1412}+X_{1413}+X_{1414}+X_{1415}+X_{1416}+X_{1417}+X_{1418}+X_{1419}+X_{1420}+X_{1421}\leq 203273$

$X_{a1}+X_{21}+X_{31}+X_{41}+X_{51}+X_{61}+X_{71}+X_{81}+X_{91}+X_{101}+X_{111}+X_{121}+X_{131}+X_{141}=155374$

$X_{a2}+X_{22}+X_{32}+X_{42}+X_{52}+X_{62}+X_{72}+X_{82}+X_{92}+X_{102}+X_{112}+X_{122}+X_{132}+X_{142}=95474$

$X_{a3}+X_{23}+X_{33}+X_{43}+X_{53}+X_{63}+X_{73}+X_{83}+X_{93}+X_{103}+X_{113}+X_{123}+X_{133}+X_{143}=526313$

$X_{a4}+X_{24}+X_{34}+X_{44}+X_{54}+X_{64}+X_{74}+X_{84}+X_{94}+X_{104}+X_{114}+X_{124}+X_{134}+X_{144}=93214$

$X_{a5}+X_{25}+X_{35}+X_{45}+X_{55}+X_{65}+X_{75}+X_{85}+X_{95}+X_{105}+X_{115}+X_{125}+X_{135}+X_{145}=1846073$

$X_{a6}+X_{26}+X_{36}+X_{46}+X_{56}+X_{66}+X_{76}+X_{86}+X_{96}+X_{106}+X_{116}+X_{126}+X_{136}+X_{146}=923644$

$X_{a7}+X_{27}+X_{37}+X_{47}+X_{57}+X_{67}+X_{77}+X_{87}+X_{97}+X_{107}+X_{117}+X_{127}+X_{137}+X_{147}=250504$

$X_{a8}+X_{28}+X_{38}+X_{48}+X_{58}+X_{68}+X_{78}+X_{88}+X_{98}+X_{108}+X_{118}+X_{128}+X_{138}+X_{148}=203$

$X_{a9}+X_{29}+X_{39}+X_{49}+X_{59}+X_{69}+X_{79}+X_{89}+X_{99}+X_{109}+X_{119}+X_{129}+X_{139}+X_{149}=906078$

$X_{a10}+X_{210}+X_{310}+X_{410}+X_{510}+X_{610}+X_{710}+X_{810}+X_{910}+X_{1010}+X_{1110}+X_{1210}+X_{1310}+X_{1410}=70281$

$X_{a11}+X_{211}+X_{311}+X_{411}+X_{511}+X_{611}+X_{711}+X_{811}+X_{911}+X_{1011}+X_{1111}+X_{1211}+X_{1311}+X_{1411}=7406$

$X_{a12}+X_{212}+X_{312}+X_{412}+X_{512}+X_{612}+X_{712}+X_{812}+X_{912}+X_{1012}+X_{1112}+X_{1212}+X_{1312}+X_{1412}=220244$

$X_{a13}+X_{213}+X_{313}+X_{413}+X_{513}+X_{613}+X_{713}+X_{813}+X_{913}+X_{1013}+X_{1113}+X_{1213}+X_{1313}+X_{1413}=319045$

$X_{a14}+X_{214}+X_{314}+X_{414}+X_{514}+X_{614}+X_{714}+X_{814}+X_{914}+X_{1014}+X_{1114}+X_{1214}+X_{1314}+X_{1414}=318167$

$X_{a15}+X_{215}+X_{315}+X_{415}+X_{515}+X_{615}+X_{715}+X_{815}+X_{915}+X_{1015}+X_{1115}+X_{1215}+X_{1315}+X_{1415}=290217$

$X_{a16}+X_{216}+X_{316}+X_{416}+X_{516}+X_{616}+X_{716}+X_{816}+X_{916}+X_{1016}+X_{1116}+X_{1216}+X_{1316}+X_{1416}=285357$

$X_{a17}+X_{217}+X_{317}+X_{417}+X_{517}+X_{617}+X_{717}+X_{817}+X_{917}+X_{1017}+X_{1117}+X_{1217}+X_{1317}+X_{1417}=248967$

$X_{a18}+X_{218}+X_{318}+X_{418}+X_{518}+X_{618}+X_{718}+X_{818}+X_{918}+X_{1018}+X_{1118}+X_{1218}+X_{1318}+X_{1418}=645179$

$X_{a19}+X_{219}+X_{319}+X_{419}+X_{519}+X_{619}+X_{719}+X_{819}+X_{919}+X_{1019}+X_{1119}+X_{1219}+X_{1319}+X_{1419}+$

$X_{a20}+X_{220}+X_{320}+X_{420}+X_{520}+X_{620}+X_{720}+X_{820}+X_{920}+X_{1020}+X_{1120}+X_{1220}+X_{1320}+X_{1420}+$

$X_{a21}+X_{221}+X_{321}+X_{421}+X_{521}+X_{621}+X_{721}+X_{821}+X_{921}+X_{1021}+X_{1121}+X_{1221}+X_{1321}+X_{1421}=3311064$

APÉNDICE 1

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-012-SCT-2-2008

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

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

DIRECCIÓN GENERAL DE AUTOTRANSPORTE FEDERAL

NOM-012-SCT-2-2008
14 / 50

TABLA 5.2.3

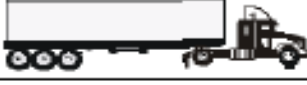
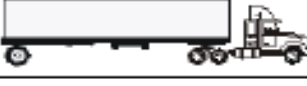
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	

TABLA B
PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO AUTORIZADO POR CLASE DE VEHÍCULO Y CAMINO

VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN VEHICULAR	NÚM. EJES	NÚM. LLANTAS	PESO BRUTO VEHICULAR (t)			
			ET y A	B	C	D
B2	2	6	17,5	16,5	14,5	13,0
B3	3	8	21,5	19,0	17,0	16,0
B3	3	10	24,5	23,0	20,0	18,5
B4	4	10	27,0	25,0	22,5	21,0
C2	2	6	17,5	16,5	14,5	13,0
C3	3	8	21,5	19,0	17,0	16,0
C3	3	10	24,5	23,0	20,0	18,5
C2-R2	4	14	37,5	35,5	NA	NA
C3-R2	5	18	44,5	42,0	NA	NA
C3-R3	6	22	51,5	47,5	NA	NA
C2-R3	5	18	44,5	41,0	NA	NA
T2-S1	3	10	27,5	26,0	22,5	NA
T2-S2	4	14	34,5	31,5	28,0	NA
T3-S2	5	18	41,5	38,0	33,5	NA
T3-S3	6	22	48,0	45,5	40,0	NA
T2-S3	5	18	41,0	39,0	34,5	NA
T3-S1	4	14	34,5	32,5	28,0	NA
T2-S1-R2	5	18	47,5	45,0	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	54,5	50,5	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	54,5	50,5	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	54,5	51,5	NA	NA
T3-S1-R3	7	26	60,5	57,5	NA	NA
T3-S2-R2	7	26	60,5	57,5	NA	NA
T3-S2-R4	9	34	66,5	66,0	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	63,0	62,5	NA	NA
T3-S3-S2	8	30	60,0	60,0	NA	NA
T2-S2-S2	6	22	51,5	46,5	NA	NA
T3-S2-S2	7	26	58,5	53,0	NA	NA

NA- No Autorizado