



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO-ADMINISTRATIVAS

“APLICACIÓN DE UN MODELO DE EQUILIBRIO ESPACIAL PARA DETERMINAR LA ESTRUCTURA DEL MERCADO DE MAÍZ BLANCO EN MÉXICO”

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS
NATURALES



PRESENTA:
NELLY GUADALUPE GARCÍA MENDOZA

DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

NOVIEMBRE DE 2011

Chapingo, Estado de México

**“APLICACIÓN DE UN MODELO DE EQUILIBRIO ESPACIAL PARA
DETERMINAR LA ESTRUCTURA DEL MERCADO DE MAÍZ
BLANCO EN MÉXICO”**

Tesis realizada por la Licenciada **Nelly Guadalupe García Mendoza** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS
NATURALES

DIRECTOR:



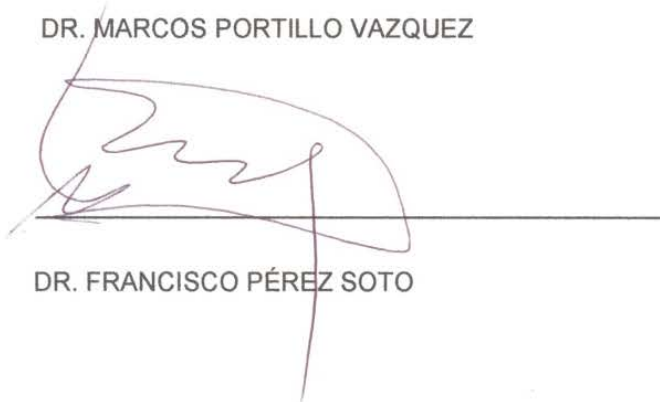
DRA. ALMA ALICIA GÓMEZ GÓMEZ

ASESOR:



DR. MARCOS PORTILLO VAZQUEZ

ASESOR:



DR. FRANCISCO PÉREZ SOTO

DATOS BIOGRAFICOS

El autor nació en el Distrito Federal el día 16 de Febrero de 1986. Cursó sus estudios de primaria, secundaria y bachillerato en la ciudad de Texcoco, Estado de México. Ingresó a la Universidad Autónoma del Estado de México en el año 2003 cursando sus estudios de Licenciatura que concluyeron en 2008.

Durante el período 2008 - 2009 se integró como colaboradora en el proceso de acreditación de la carrera de Sociología Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo.

En el Año 2009, ingresó al programa de Maestría en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales en la Universidad Autónoma de Chapingo.

AGRADECIMIENTOS

Mis más sinceros agradecimientos a todos los que contribuyeron de manera directa o indirecta en la realización de esta tesis.

Al CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología) por el apoyo económico y la oportunidad de concluir con la Maestría en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales para superar mis metas académicas.

A la Dra. Alma Alicia Gómez Gómez, por sus aportaciones y tiempo dedicado en la realización de esta investigación.

Al Dr. Marcos Portillo Vázquez, por su dirección profesional y su motivación constante en las diferentes etapas de este trabajo.

Al Dr. Francisco Pérez Soto, por sus aportaciones y en la conclusión de esta investigación.

“APLICACIÓN DE UN MODELO DE EQUILIBRIO ESPACIAL PARA DETERMINAR LA ESTRUCTURA DEL MERCADO DE MAÍZ BLANCO EN MÉXICO”

" APPLICATION OF A MODEL FOR DETERMINING SPATIAL EQUILIBRIUM STRUCTURE OF WHITE CORN MARKET IN MEXICO "

García Mendoza, N.G¹⁾, Gómez Gómez, A.A.²⁾

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el propósito de contribuir a mejorar la planeación en el proceso de distribución de maíz blanco en los diferentes estados de la República Mexicana con ayuda de la Programación Lineal a través de un modelo de transporte de mínimo costo.

Para el cálculo de la función de mínimo costo de transporte se consideraron: en una primera etapa la producción, consumo y costos de transporte para una muestra de 10 estados productores y 22 estados consumidores. Se distribuyó a mínimo costo de transporte la producción excedente de cada estado productor y se obtuvo un sobrante de producto en economía cerrada.

En una segunda etapa en mercado abierto se considero, 10 estados productores, 27 estados consumidores y el costo de transporte de 5 puntos fronterizos, con la finalidad de distribuir toda la producción del país a mínimo costo de transporte.

La información fue recabada por SIAP – SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, con datos del año 2009 retomado para esta investigación.

De acuerdo a los resultados anteriores, la mejor recomendación para los productores de Sinaloa donde presento un excedente de producción exporte su producto al puerto de Mazatlán incurriendo en un costo mínimo de transporte, o de igual impulsar la agroindustria en dicho estado.

PALABRAS CLAVE: Modelo de transporte, producción, consumo, distribución.

1) Tesista 2) Director de tesis

ABSTRACT

The present investigation was carried out for contributing to improve planning in the process of distribution of white maize in the different states of Mexico using the linear programming model through a low-cost means of transport.

For the calculation of the minimum cost function of transport in the first stage, production, consumption and transportation costs for a sample of 10 producing states and 22 consumer states, were considered. the surplus production of each producing state was distributed at a low transport cost and a surplus of product in a closed economy was obtained.

In a second stage in the open market, 10 producing states, 27 states consumers and the cost of transport of 5 border points, in order to distribute all the country's production at minimum cost of transport were considered.

The information was gathered by SIAP - SAGARPA Ministry of Agriculture, Livestock, Rural Development, Fisheries and Food, with data for 2009 taken up for this research.

According to previous results, the best advice for Sinaloa producers where a surplus production exporting product to the port of Mazatlan incurring minimal cost of transporting, or just boost the agribusiness in the state.

KEY WORDS: Sample transport, production, consumption, distribution.

ÍNDICE

ABSTRACT.....	iv
Índice de contenido.....	v
Lista de cuadros.....	vii

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

1.1- Importancia del estudio.....	2
1.2- Planteamiento del problema.....	3
1.3- Objetivos.....	5
1.4- Hipótesis.....	5
1.5- Metodología.....	6

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1- Antecedentes.....	9
2.2- Programación Lineal.....	10
2.3- Componentes de un modelo de Programación Lineal.....	11
2.4- El dual de la Programación Lineal.....	13
2.5- Formulación del modelo de Programación Lineal.....	13
2.6- Supuestos y Limitaciones de la Programación Lineal.....	15
2.7- Métodos de solución de un modelo de Programación Lineal.....	16
2.8- Modelo de Transporte.....	18

CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1- Economía cerrada.....	22
3.2- Economía abierta.....	32

CAPITULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1- Conclusiones.....39

4.2-Recomendaciones.....40

BIBLIOGRAFÍA.....41

ANEXOS.....43

Lista de cuadros

CUADRO 1. PRINCIPALES ZONAS PRODUCTORAS DE MAÍZ BLANCO.....	23
CUADRO 2. PRINCIPALES ZONAS DEMANDANTES DE MAÍZ BLANCO.....	24
CUADRO 3. COSTOS DE TRANSPORTE POR TONELADA.....	25
CUADRO 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS EN UNA ECONOMÍA CERRADA.....	30
CUADRO 5. PUNTOS FRONTERA DE EXPORTACIÓN PARA EL MAÍZ BLANCO.....	33
CUADRO 6. DISTRIBUCIÓN DE PRODUCTO A COSTO MÍNIMO DE TRANSPORTE.....	37

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

En el proceso de comercialización, la transportación es una de las etapas más importantes, principalmente por que determina gran parte de los costos, sobre todo tomando en cuenta que muchas veces los productos agropecuarios recorren largas distancias para llegar a los lugares de destino donde serán consumidos, y en ocasiones estas rutas no son las adecuadas incurriendo en altos costos de transporte.

Para lograr una distribución óptima que minimice el costo de transporte del producto entre las zonas oferentes y demandantes, se debe elaborar un modelo óptimo de abastecimiento y distribución del producto.

La técnica más sencilla es la programación lineal, ya que es una de las herramientas indispensables para lograr determinar una ruta óptima que minimice el costo de transporte. Con ayuda de paquetes computacionales que buscan optimizar una función, por lo que se puede aplicar para determinar la manera más viable y correcta para la transportación del maíz blanco en México.

1.1 Importancia del estudio

Varios aspectos de carácter económico y social sitúan al maíz como el principal cultivo de la agricultura nacional, y como el principal alimento básico para grandes sectores de la población. Este importante cultivo, constituye la materia prima de aproximadamente de aproximadamente 800 artículos, de los cuales el principal es la tortilla a base de maíz nixtamalizado o de harina.

El cultivo más importante de México, durante la última década, es el de maíz, debido a que se han producido cerca de diez y ocho millones de toneladas anuales en una extensión aproximada de ocho millones de hectáreas, lo que representa una cuarta parte de la superficie cultivable del país. Sin embargo, esta producción resulta insuficiente para cubrir las necesidades nacionales, por lo que se importan alrededor de ocho millones de toneladas de maíz amarillo por año, cantidad que va en aumento.

En 2009, se sembraron un total de 7, 727, 367.50 hectáreas de maíz en México, y se obtuvo una producción de 20, 202, 610 toneladas en 32 estados de la República Mexicana. La importancia social y económica del cultivo radica, en las fuentes de empleo que se crean debido a los altos volúmenes de exportación e importación año con año.

La producción de maíz se ha incrementado considerablemente debido a una mayor demanda en el mercado nacional. Según datos de SAGARPA, la producción se incremento de 1990-1998 a 2008, pasando de 17, 184 mil a 24, 410 mil toneladas. (SAGARPA, 2009).

Por lo que es conveniente conocer la eficiencia del sistema de comercialización de este producto, ya que esta es de las etapas más importantes y necesarias para generar información útil que contribuya a la corrección de ineficiencias. Ya que generalmente los productos agrícolas siguen rutas complicadas y en ocasiones parte de ellas son innecesarias presentándose mermas en los productos y ocasionando que los precios de éstos se eleven para el consumidor final. Por ello es importante proponer un proceso de comercialización para abatir costos de

transportación, disminuir subsidios o canalizarlos donde se requiera y continuar haciendo llegar el producto a precios accesibles al consumidor final.

1.2 Planteamiento del problema

En muchos productos agrícolas cultivados en México se presenta una inestabilidad de los precios en los diferentes meses del año. Estos altibajos en los precios son consecuencia de la concentración de la producción en ciertos periodos relacionados con la estacionalidad de la producción y con la falta de planeación de las cosechas, además, interviene factores relacionados con la alteración del equilibrio de oferta y demanda que generan excedentes o déficits de producto que constituyen un problema que tiene que atenderse para ajustar las cantidades a un equilibrio de mercado.

La producción del maíz como la mayoría de los cultivos agrícolas, depende fuertemente de las condiciones climáticas en las zonas productoras, de los precios de los fertilizantes y de la estabilidad de los precios de los granos; esta oferta, influye fuertemente en los precios del producto.

Actualmente en México, ASERCA es la institución encargada de establecer los precios nacionales con la finalidad de garantizar un ingreso mínimo al productor para la comercialización de la cosecha, por lo cual establece el precio de mercado.

A pesar de estos esfuerzos el mercado del maíz se encuentra inestable debido a la escasa organización de los productores lo cual provoca que actúen de manera individual y no se aprovechen las ventajas de comercialización, créditos, insumos baratos y acceso a la información si actuara en conjunto. La falta de organización nacional en la producción provoca que exista un mercado desordenado, en donde los productores no tienen información oportuna para tomar decisiones eficientes y puedan absorber la producción del mercado de maíz, a un precio que maximice sus beneficios.

Además, otro problema que está ligado al proceso de comercialización, es la distribución de los productos agrícolas, puesto que estos productos al ser transportados de los centros de producción a los centros de consumo, recorren rutas inadecuadas y poco accesibles, lo que provoca incrementos en los costos de transporte y por tanto se generan altos márgenes de comercialización

Debido a ello, se pretende formular un modelo de transporte que será abordado mediante un modelo de Programación Lineal, considerada como una herramienta que permita resolver una serie de problemas de índole económico para determinar las rutas más apropiadas en el abasto de maíz blanco de los centros productores a las zonas de consumo, con la finalidad de minimizar las distancias y por ende los costos de transporte hacia los centros consumidores en México.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Generar recomendaciones de política agrícola que permitan un mejor ordenamiento del mercado del maíz en México, identificando la medida de control de oferta más adecuada para incrementar las ganancias de la producción para años futuros.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar las principales áreas productoras de maíz para estimar los volúmenes de producto generado.
- Identificar los principales centros de consumo para estimar el volumen demandado del producto.
- Identificar la magnitud del déficit o superávit del producto en el país
- Formular un modelo de transporte para minimizar los costos de distribución del maíz, programando el envío del volumen excedente de cada lugar de origen, hacia los centros de consumo para abatir los costos de transporte.

1.4 Hipótesis

- El costo de distribuir la producción desde los centros de origen a los centros de consumo puede reducirse de forma significativa si se realizan con apego a un modelo de transporte planeado.
- En el futuro se pueden disminuir los precios al consumidor si se disminuyen los costos de transporte

1.5 Metodología

Para alcanzar el objetivo planteado se pretende formular un modelo de transporte de la producción y consumo del maíz. La función objetivo busca minimizar los costos de distribuir una mercancía de varias fuentes a varios destinos tomando en cuenta el nivel de oferta del origen y la cantidad de demanda en cada destino, así como el costo de transporte unitario de la mercancía a cada destino.

Este modelo permite modelar una gran combinación de comportamientos imperfectos, y por tanto, determinar el grado preciso de imperfección del mercado, indicar el funcionamiento del mercado completamente por que usa información desagregada sobre el consumo, producción, flujos comerciales, costos de transporte, entre otros, además permite determinar los efectos de cambios de variables de política sobre las variables endógenas.

El modelo considera un sólo mercado de maíz blanco por región y un sólo agente que ofrece producto en cada región productora; también supone que cada región tiene funciones de oferta y demanda lineales.

Puesto que el maíz blanco se produce y consume en todo México, el país se dividió en 10 regiones productoras y 22 consumidoras. Las ciudades oferentes tomadas como referencia para determinar los costos de transporte fueron: Sinaloa (Culiacán), Guadalajara (Zona Urbana), Guerrero (Chilpancingo), Chiapas (Tuxtla Gutiérrez), Michoacán (Morelia), Chihuahua (Chih.), Guanajuato (Irapuato), Veracruz (Ver.) Hidalgo (Pachuca), Zacatecas (Zac.). La parte restante de los Estados fueron tomadas como regiones consumidoras o demandantes.

Para cada región se usó información promedio, la cantidad producida provino de los Avances de Siembras y Cosechas (SIAP-SAGARPA. 2009).

A los centros productores se les restó la cantidad consumida localmente y el excedente se consideró como la oferta o producto a distribuir.

A los centros demandantes se les restó su correspondiente nivel de producción, aquellos que reportan, aún así, un déficit en la demanda consumidora son los

finalmente considerados centros de consumo o lugares de destino en el modelo de distribución del producto. La cantidad consumida se obtuvo multiplicando el total de la población estatal por el consumo aparente per cápita y éste a su vez calculado por la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo aparente per cápita} = (\text{Producción} - \text{Exportaciones} + \text{Importaciones}) / \text{Población}.$$

Para estos cálculos se utilizaron datos reportados por SIAP-SAGARPA (2009) y datos poblacionales de INEGI (2009).

El costo de transportar una unidad de producto de cada centro de origen a cada destino fue calculado tomando en cuenta el traslado de 28 toneladas.

El objetivo de este modelo es el determinar la cantidad que se enviará de cada origen a cada destino, tal que minimice el costo de transporte total sujeto a restricciones de cantidades de oferta y de demanda del mercado de maíz blanco.

Función objetivo

$$\text{MIN } C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + C_{13}X_{13} + \dots + C_{1n}X_{1n}$$

Sujeto a: Restricción de oferta

$$X_{11} + X_{12} + X_{13} + \dots + X_{1n} = 100$$

$$X_{21} + X_{22} + X_{23} + \dots + X_{2n} = 200$$

$$X_{31} + X_{32} + X_{33} + \dots + X_{3n} = 400$$

Indica que 100, 200 y 400 es el volumen de toneladas producidas en el centro productor 1, 2, 3, ..., n que se pueden enviar a cualquiera de los centros consumidores.

Restricción de demanda

$$X_{11} + X_{21} + X_{31} + \dots + X_{41} \leq 280$$

$$X_{12} + X_{22} + X_{32} + \dots + X_{42} \leq 200$$

$$X_{13} + X_{23} + X_{33} + \dots + X_{4n} \leq 250$$

Indica que 280, 200 y 250 son la cantidad de maíz que pueden recibir los destinos 1, 2, ..., n desde cualquiera de los 4 centros productores.

En el modelo se utilizan tres procesos más en el manejo de la información, tales como:

Precios sombra identificando los subsidios necesarios para la comercialización.

Costos reducidos lo que reflejaría en cuánto se reducirían los costos de transporte si se producen mayores cantidades de producto en los centros productores mejor ubicados y

Análisis de sensibilidad que consiste en las cantidades de producto que deben aumentarse o disminuirse en los diferentes centros de producción del país para disminuir el costo de transporte.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Los problemas de optimización no son nuevos, soluciones generales fueron planteadas por grandes matemáticos del siglo XVII y XVIII (Newton, Leibniz, Lagrange, Bernoulli) quienes desarrollaron cálculos infinitesimales y cálculos de variaciones.

La resolución de problemas a través de cálculos matemáticos ha cobrado mucho interés en los últimos años ya que ha desarrollado técnicas administrativas modernas, convirtiendo a la programación lineal en una herramienta importante en la economía. Uno de los descubrimientos más importantes, lo realizó George B. Dantzing en 1947, a quien se le atribuye el método simplex para resolver problemas de programación lineal. (Dettman, J. 1975. Pag.35)

En el año de 1960, William y Seagraves realizaron un estudio sobre la correlación existente entre los costos de transporte, esto lo hicieron mediante el uso de la regresión para obtener los costos totales en función de las distancias de transporte, tomando en cuenta las economías de escala para determinar el tamaño de las plantas industriales.

Thieruf y Grosse en 1972, señalan la metodología para efecto del cálculo de los modelos matemáticos, tales como programación lineal, modelo de transporte, etc. En 1974 Ortega y Castaño, utilizan un modelo de transporte como una aplicación de la programación lineal para la resolución de un problema forestal, haciendo uso de la regla de la esquina noroeste para la obtención de la solución óptima.

Taha en 1976, habla sobre un tipo importante de programación lineal llamado modelo de transporte. Señala que: “En un sentido obvio, el modelo busca minimizar los costos de transporte de determinado número de recursos hacia algunos sitios finales de transformación o consumo”.

Kaufman en 1979, señala que: “Un problema lineal de transporte, consiste en encontrar un esquema entre “m” orígenes dados en donde se encuentran las disponibilidades respectivas $a_i = i = 1, 2, \dots, m$ y n destinos donde hay déficit $b_j = j = 1, 2, \dots, n$, de tal manera que el costo total de transporte sea mínimo.

2.2. Programación Lineal

El modelo de programación planteado en el presente trabajo tiene su base en la Programación Lineal. Así la Programación Lineal trata la planeación de las actividades para obtener un resultado óptimo.

“La programación lineal es un método determinista de análisis para elegir la mejor entre muchas alternativas. Cuando esta mejor alternativa incluye un conjunto coordinado de actividades, se le puede llamar plan o programa. La palabra programa significa seleccionar la mejor combinación de actividades.” (Gallagher, Ch Watson H.J., 1995. Pag. 158)

La programación lineal hace posible evaluar un número infinito de estrategias de producción y encontrar la alternativa con el menor costo. Proporciona una metodología muy poderosa no sólo para resolver el problema sino para evaluar otras soluciones que se pudieran sugerir para encontrar la mejor. (Schroeder, R., 1992, Pag.468).

La programación lineal es un procedimiento matemático, para el análisis de fenómenos económicos que se utiliza en la optimización de recursos (ya sea maximizar ganancias o minimizar costos), a través de una función lineal, llamada función objetivo, sujeta a un conjunto de restricciones igualmente lineales, que se pueden representar como igualdades o desigualdades. (Calderón, 1995)

Los modelos de optimización lineal combinan: un generador de alternativas, un modelo predictivo y un evaluativo con una prueba de optimidad. La combinación de estos elementos funciona como un sistema para producir la mejor solución posible para los criterios y condiciones establecidos.

Los modelos de programación lineal se caracterizan por expresiones matemáticas lineales determinísticas (no toma en consideración el riesgo ni la incertidumbre). Se supone que los parámetros del modelo se conocen como certidumbre. Se utiliza con mayor frecuencia cuando se intenta asignar algún recurso limitado o escaso, con el objeto de tomar decisiones que utilicen el recurso en cuestión en forma tal que se optimice un criterio establecido (ya sea que se maximice o minimice)

2.3 Componentes de un modelo de programación lineal

Función objetivo

La esencia del problema de optimización consiste en elegir la mejor alternativa posible. El criterio de elección más común es el de maximizar o minimizar una función desde el punto de vista económico, podemos clasificar estos procesos de maximización y minimización bajo el título general de optimización, que significa la “búsqueda de lo mejor”. (Verdugo, 1990).

La función objetivo es la expresión matemática lineal del propósito deseado, el cual consistirá en: maximizar el ingreso neto de una unidad de producción; o bien minimizar costos de producción. Representa el objetivo de maximización o minimización, y el conjunto de objetivos cuyas magnitudes pueden elegir la unidad económica en cuestión, con el propósito de lograr la optimización.

En la programación lineal a las variables de elección, la esencia del proceso de optimización consiste en encontrar el conjunto de valores de las variables de elección que brinden el extremo deseado de la función objetivo (Verdugo, 1991).

Restricciones.

Se definen como un conjunto de ecuaciones o desigualdades lineales, una para cada uno de los recursos disponibles contemplados en el modelo expresan las condiciones a que debe sujetarse la función objetivo. Este sistema de

desigualdades o ecuaciones será tan grande como la cantidad de recursos escasos que existan, o mayor si se le incluyen a otro tipo de restricciones como podrían ser las de mercado. (Calderón, 1995).

Las restricciones se expresan en desigualdades que especifican que no más de la cantidad de recursos disponibles podrá ser usada en un plan de producción; podrán quedar recursos ociosos, pero no es posible que se exceda a la cantidad disponible de éstos. Ahora bien, si lo que se presenta es minimizar un problema, las desigualdades de las restricciones indican que para cumplir con las necesidades de optimización de la función objetivo deberán usarse no mas de ciertas cantidades de los recursos, éstos podrán ser usados en una cantidad mayor a la mínima, pero nunca por debajo de determinadas necesidades. (Calderón, 1995).

Existen dos tipos de restricciones:

- De no negatividad: Las cuales garantizan que ninguna variable de decisión sea negativa
- Estructurales: Reflejan factores como la limitación de recursos y otras condiciones que impone la situación del problema

Con lo anterior, las desigualdades de las restricciones quedarán de la siguiente manera:

Ejemplo:

$$Z = 5X_1 + 6X_2 \quad \text{Función objetivo}$$

$$\begin{array}{l} \text{Sujeto a: } 3X_1 + 2X_2 \leq 120 \\ \quad \quad 4X_1 + 6X_2 \leq 260 \\ \quad \quad X_1 \geq 0 \text{ y } X_2 \geq 0 \end{array} \left. \begin{array}{l} \} \\ \} \\ \} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Restricciones estructurales} \\ \\ \text{Restricciones de no negatividad} \end{array}$$

- Problema de maximización: menor o igual que (\leq)
- Problema de minimización: mayor o igual que (\geq)

Por lo tanto, la restricción representa la suma de las cantidades de cierto recurso que se utiliza en todas las actividades, mientras que en el segundo miembro aparece el monto disponible del recurso

2.4 El dual de la programación lineal

La dualidad significa que está asociado con un problema dual y que estos dos problemas poseen varias características que lo relacionan. Una de ellas, es que uno de los problemas tiene solución óptima, sí y solo si, el otro también tiene solución óptima, y en ese caso ambos óptimos son iguales. Así para cada problema de maximización (primal) existe un problema de minimización asociado llamado dual y viceversa (Verdugo, 1991).

2.5 Formulación del modelo de programación lineal

El proceso de formulación del modelo, juega un papel importante ya que dependiendo del modelo que se construya se tendrá una u otra solución para el problema. El formato general para desarrollar o formular cualquier modelo, es el siguiente:

- Formular el problema: Consiste en la determinación de las variables que formarán parte del modelo y especificar los requerimientos de cada una de ellas.
- Definir el objetivo: Consiste en definir un criterio de optimización el cual puede ser Maximización o Minimización dependiendo del problema que se desee resolver, el cual es una función lineal de las diferentes actividades del problema. Bajo el criterio de optimización definido se pretende medir la contribución de las soluciones factibles que puedan obtenerse y determinar la óptima.
- Definir las variables de decisión: Son las incógnitas del problema básicamente consisten en los niveles de todas las actividades que pueden

llevarse a cabo en el problema a formular, estas pueden ser de tantos tipos diferentes como sea necesario, e incluir tantos subíndices como sea requerido.

- Definir las restricciones: Son los diferentes requisitos que debe cumplir cualquier solución para que pueda llevarse a cabo. En cierta manera son las limitantes en los valores de los niveles de las diferentes actividades (variables).

La expresión matemática para un modelo de maximización quedaría de la siguiente forma:

Maximizar

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n$$

Sujeta a las restricciones:

$$a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + a_{13}X_3 + \dots + a_{1n}X_n \leq b_1$$

$$a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + a_{23}X_3 + \dots + a_{2n}X_n \leq b_2$$

$$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$$

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + a_{m3}X_3 + \dots + a_{mn}X_n \leq b_m$$

Donde:

Z: Beneficio total neto

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$: Variables de decisión (actividades a realizar)

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$: Ingreso neto correspondiente a cada actividad

$b_1, b_2, b_3, \dots, b_m$: Cantidad disponible de cada recurso

$a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{mn}$: Cantidades de cada recurso necesarias para generar una unidad de producto de un proceso de producción determinada.

2.6 Supuestos de la programación lineal

En la programación lineal, como en todo método de análisis matemático, existe un número de suposiciones realizadas en cada modelo. La utilidad de un modelo está directamente relacionada con la realidad de los supuestos tales como;

Proporcionalidad

La contribución individual que una variable x_j aporta a la función objetivo es $c_j x_j$ y al consumo del recurso en la i -ésima restricción es $a_{ij} x_j$. La proporcionalidad implica que, si por ejemplo, x_j es duplicada en su valor, también se duplicarán en la misma proporción sus contribuciones tanto al objetivo como a las restricciones. Por tanto, se supone que no existen ahorros o costos extra por el uso adicional de la actividad x_j .

Aditividad

El conjunto de las actividades consideradas en el programa lineal deben ser aditivas, es decir, el uso total de recursos es la suma de las contribuciones individuales independiente de los valores que se asignen a otras variables de decisión.

Divisibilidad

Significa que las variables de decisión pueden ser divididas entre cualquier nivel fraccionario, de tal manera que puedan tomar valores no enteros.

Si las suposiciones de proporcionalidad y aditividad son combinadas se llega a la linealidad. Por tanto, se puede decir que la linealidad y la divisibilidad son las

suposiciones más importantes del modelo general de la Programación Lineal (Jesús S. Arreola Risa, 2003).

2.7 Limitaciones de la Programación Lineal

Es un modelo determinístico

El modelo involucra únicamente tres tipos de parámetros: c_j , a_{ij} , y b ; de ahí su sencillez y gran ampliación. Sin embargo, el valor de esos parámetros debe ser conocido y constante.

Cuando el valor de dichos parámetros tiene un cierto riesgo o incertidumbre, puede realizarse un análisis de sensibilidad.

Es un modelo estático

En la programación lineal se utiliza un modelo estático, ya que la variable tiempo no se involucra formalmente.

Es un modelo que no sub optimiza

Debido a la forma en que se plantea el modelo de Programación Lineal, o encuentra la solución óptima o declara que ésta no existe. Cuando no es posible obtener una solución óptima y se debe obtener alguna, se recurre a la programación lineal por metas.

2.8 Métodos de solución de un modelo de programación lineal

La Programación Lineal es una técnica mediante la cual se toman decisiones, reduciendo el problema bajo estudio a un modelo matemático general, el cual debe ser resuelto por métodos cuantitativos.

2.8.1 Método Gráfico

El método gráfico en la Programación Lineal es simplemente sacar de una situación (problema) ecuaciones lineales y convertirlas en desigualdades o inecuaciones para poder graficarlas y así sacar la región óptima dependiendo del signo de la desigualdad y esa será la solución óptima del problema.

Para llegar a la solución óptima en el método gráfico se requiere seguir con una serie de pasos:

Formulación del problema: El primer paso para la resolución por el método gráfico es expresar el problema en términos matemáticos en el formato general de la programación lineal (desigualdades) con un sólo fin maximizar la contribución a la ganancia.

Graficar las restricciones: El próximo paso de la solución por método gráfico es la graficación de las restricciones en el plano cartesiano para establecer todas las posibles soluciones.

Obtención de la solución óptima: Para la solución óptima, se grafica la función objetivo en la misma gráfica de las restricciones. Se graficará siempre la función objetivo del problema y se dará la solución de acuerdo con el símbolo que este presente en la restricción de la función objetivo.

2.8.2. Método Simplex

El método simplex fue desarrollado por George Dantzing (1947) y es un método algebraico que se utiliza para resolver problemas de programación lineal en un número finito de pasos. Este método establece una solución factible y luego prueba si es óptima o no. Si no lo es busca una mejor solución y si ésta no es óptima entonces se repite el proceso hasta hallar una solución óptima.

Este método presenta un procedimiento algebraico para la solución de problemas de programación lineal que tiene más de dos variables de decisión, y que por lo tanto no pueden ser resueltos a través del método grafico.

2.9 Modelo de transporte

El modelo de transporte es un factor importante en la distribución eficiente de materias primas o de productos determinados.

“El problema de transporte se presenta con frecuencia cuando se planea la distribución de bienes y servicios, a partir de varios lugares de suministro y hacia varias ubicaciones de demanda, el objeto de un problema de transporte es minimizar el costo de transportar artículos desde los orígenes hasta los destinos”. (Anderson, Sweeney D. 1993, Pag. 269)

“El método de transporte es un caso especial del método general de programación lineal, es útil para solucionar problemas que tratan con asignaciones de materiales desde puntos de envío hasta puntos de recibo”. (Hopeman P. 1987. Pag. 595)

“Un caso de transporte se formula inicialmente como un problema de Programación Lineal, es decir, los modelos de transporte tienen por objeto encontrar la alternativa de ubicación de costo más bajo” (Schroeder, R, 1992. Pag.509).

El modelo de transporte consiste en determinar las rutas óptimas a través de las cuales puede trasladarse un volumen de producto de los centros de origen a los centros de destino, estas rutas óptimas deben satisfacer simultáneamente las siguientes condiciones:

- 1.- Encontrar las rutas de transporte en donde el costo total debe ser el mínimo posible para un producto procedente de distintos orígenes y que tienen varios destinos.
- 2.- El volumen total de producto existente debe ser trasladado hacia los centros de destino.

Para que se cumplan estas condiciones el problema se formula de la siguiente manera:

$$\text{MIN } C = \sum_i \sum_j C_{ij} X_{ij}$$

$$\text{Sujeta a: } \sum X_{ij} \leq K_j$$

$$\sum X_{ij} \geq a_i$$

Donde:

C_{ij} : Costo de transporte por el envío de una unidad de producto del i -ésimo centro de origen al j -ésimo centro de destino.

X_{ij} : Volumen de producto a enviar del i -ésimo centro de origen al j -ésimo centro de destino.

a_i : Cantidad de producto existente en el i -ésimo centro de origen

K_j : Cantidad de producto que se demanda en j -ésimo centro de destino.

Métodos de solución

- Método Esquina Noroeste
- Método de Aproximación de Vogel
- Método del Mínimo Costo

Método Esquina Noroeste

Recibe este nombre por la forma en que inicia el análisis de distribución (esquina noroeste) de la esquina superior izquierda.

En este método la distribución de los productos se inicia en la esquina noroeste (esquina superior izquierda) y se avanza de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo.

Comienza en la casilla de la esquina noroeste y asigna tantas unidades como sea posible. Se continúan asignando, siguiendo un recorrido hacia la derecha y hacia

abajo hasta que todas las demandas se satisfagan, y las ofertas se agoten, es decir agotando la existencia disponible del origen, hasta satisfacer todas las demandas.

Método de Aproximación de Vogel

El Método de Aproximación fue creado para eliminar el número de iteraciones (repetición de procedimientos) para facilitar el procedimiento manual y se le llama VAM, por sus siglas en inglés: Vogel Approximation Method.

Para minimizar el número de iteraciones, este método examina fila y columna y asigna un costo de penalización (diferencia entre los dos costos más pequeños de una fila o columna) que permite saber cuál será el costo incrementado por cada fila y columna, de no utilizarse el menor costo posible.

Procedimiento:

- Para cada fila con una oferta disponible y cada columna con una demanda insatisfecha, se calcula un costo de penalización.
- Se identifica la fila o la columna que tenga el mayor costo de penalización y si existieran dos del mismo valor, se elige uno de forma arbitraria.
- Se elige el costo más bajo de la fila o columna seleccionada y se le asigna la mayor cantidad posible.
- Se reduce la oferta y la demanda en la cantidad asignada y se eliminan las casillas hasta agotar las ofertas y satisfacer las demandas.

Método del Mínimo Costo

Este método (LCM) por sus siglas en inglés Less Cost Method, es muy útil en la solución óptima para encontrar las rutas menos costosas. Por lo que, en la presente investigación este método es el ideal a utilizar debido a su simplicidad de manejo además de que se adecua a los requerimientos planteados en los objetivos de dicha investigación.

Este método consiste en localizar el costo más pequeño, para efectuar allí la mayor asignación posible, se repite el procedimiento hasta agotar la oferta, satisfacer la demanda y finalmente programar la distribución de mínimo costo de transporte del producto. Este método proporciona un mejor beneficio permitiendo una disminución del costo total y satisfaciendo las demandas al mínimo costo.

Esta es una regla que aventaja al de la Esquina Noroeste en la búsqueda de la solución óptima, debido a que es la menos probable para dar una buena solución inicial y de bajo costo por que ignora la magnitud relativa de los costos. Se emplea la misma técnica básica de agotar alternativamente ya sea la oferta de los centros productores o la demanda, pero modifica el requisito de proceder geográficamente desde la esquina superior izquierda por la asignación correspondiente a la casilla del menor costo de transporte.

En la modelación planteada en esta investigación tomando como base este método, se calcularon 220 variables con una matriz de 10 oferentes y 22 demandantes. Debido a la magnitud de variables, se realizó con ayuda de un paquete computacional de programación lineal llamado LINDO.

CAPITULO III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1 Modelo de una economía cerrada de maíz blanco

Debido a que el maíz blanco se cultiva en todo el país, en el modelo de economía cerrada donde la distribución y consumo de la producción se da dentro de un territorio bien delimitado. Se consideraron 10 regiones productoras (Sinaloa, Jalisco, Guerrero, Chiapas, Michoacán, Chihuahua, Guanajuato, Veracruz, Hidalgo y Zacatecas) en base a datos de Sagarpa 2009, se calcularon restando el consumo interno de cada Estado productor, algunas que son áreas productoras consumen más de lo que producen por lo que fueron tomadas en cuenta como áreas consumidoras las cuales representan el 90% de la producción generada a nivel nacional y las restantes 22 como centros demandantes.

La demanda de maíz blanco se determinó multiplicando la población de cada estado por el consumo aparente per cápita que a nivel nacional es de aproximadamente 100 kg anuales. En su totalidad se generaron 10,383,992 de toneladas de maíz blanco (excedente a distribuir ya restando el consumo local) y se demandaron 6,947,838 toneladas descontando la producción local para el año 2009.

Cuadro 1. Principales zonas productoras de maíz blanco

	ESTADO	PRODUCCIÓN (TON)	% NACIONAL
1	SINALOA	4,882,688	47.0
2	JALISCO	1,755,355	16.7
3	GUERRERO	752,377	7.2
4	CHIAPAS	747,139	7.1
5	MICHOACAN	673,563	6.4
6	CHIHUAHUA	607,650	5.8
7	GUANAJUATO	265,108	2.5
8	VERACRUZ	253,073	2.4
9	HIDALGO	235,319	2.2
10	ZACATECAS	211,719	2.0
	TOTAL	10,383,992	

Fuente. SIAP, SAGARPA 2009

Cuadro 2. Principales zonas demandantes de maíz blanco

	ESTADO	DEMANDA (TON)	% NACIONAL
1	ESTADO DE MÉXICO	1,247,012	17.9
2	DISTRITO FEDERAL	1,116,108	16.0
3	PUEBLA	607,997	8.7
4	NUEVO LEON	466,758	6.7
5	OAXACA	424,525	6.1
6	TAMAULIPAS	332,285	4.8
7	SAN LUIS POTOSI	289,349	4.2
8	COAHUILA	285,801	4.1
9	BAJA CALIFORNIA NORTE	284,727	4.0
10	SONORA	274,200	3.9
11	TABASCO	229,923	3.3
12	YUCATAN	204,660	2.9
13	MORELOS	189,677	2.7
14	DURANGO	188,242	2.7
15	QUERETARO	164,409	2.4
16	NAYARIT	117,896	1.7
17	AGUASCALIENTES	116,216	1.6
18	TLAXCALA	116,216	1.6
19	QUINTANA ROO	92,499	1.3
20	CAMPECHE	84,476	1.2
21	COLIMA	64,164	0.92
22	BAJA CALIFORNIA SUR	50,618	0.73
	TOTAL	6,947,838	

Fuente: Elaboración propia con datos de SIAP, SAGARPA. 2009

Cuadro 3. Costos de transporte por tonelada

ORIGEN										
DESTINO	Sinaloa	Jalisco	Guerrero	Chiapas	Michoacán	Chihuahua	Guanajuato	Veracruz	Hidalgo	Zacatecas
Toluca	633.16	375	214.29	486.46	156.07	755.89	211.25	321.64	131.43	422.07
Distrito Federal	734.64	375	310.71	625	364.28	844.64	282.14	375	139.28	500
Puebla	742.38	460.75	225.71	383.57	310.71	830.35	314.01	285.71	102.14	397.5
Nuevo León	615.53	553.57	501.85	942.85	555.07	535.71	392.85	535.71	464.28	297.89
Oaxaca	924	508.5	471.42	480.71	414.1	1011.42	416.73	333.57	343.57	578.57
Tamaulipas	732.21	607.14	964.28	1038.2	520	545.35	454.03	752	602.14	442.42
San Luis Potosí	577.42	251.07	481.42	660.53	223.92	549.64	134.35	400	300	130.28
Coahuila	419.28	357.5	688.39	974.46	418	335.71	351.92	692.5	538.39	267.35
Baja California Norte	827.71	1117.5	1608.75	1940.4	1262	758.57	1262.97	1594	1512.3	1127
Sonora	376.07	695.5	1157.14	1486.3	840.4	480	841.41	1170.22	1060.7	757.22
Tabasco	1075	857.14	504.64	180	527.5	1162.5	529.91	316.89	408.75	681
Yucatán	1361.3	916.5	790.71	426.42	799	1448.57	797.12	505	700.17	952.5
Morelos	733.21	500	154.28	436.73	297.4	816.42	309.02	272.31	149.45	393.43
Durango	415	502.82	684.1	970.08	444.15	330	497.03	737.58	533.81	275.04
Querétaro	577.03	285.71	342.85	557.14	128.25	658.92	102.37	517.85	160.71	280.25
Nayarit	361.25	246.42	522.32	851.78	337.25	658.39	337.96	578	425.89	377.96
Aguascalientes	607.14	162.85	418.39	715.71	222.57	508.92	132.32	451	378.57	120.14
Tlaxcala	742	458.03	260.71	407.14	309.28	818.03	297.85	232.14	111.42	385.17
Quintana Roo	1534.3	1100	963.75	594.1	1024.28	1621.6	1026.96	708.75	867.85	1188.75
Campeche	1277.7	847.5	706.6	449.28	767.14	1365	770.35	452.14	611.25	931.6
Colima	481.81	142.14	518.03	846.99	330.75	740.89	332.12	573.52	421.43	372.08
Baja California Sur	1630.2	1866.5	2411.25	2742.5	2012.89	1560.53	2011.89	2342.7	2317	1875.59

Fuente: Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Ruta Punto a Punto (2009).

Los costos de transporte fueron estimados tomando en consideración la distancia promedio entre las regiones. Entendemos como distancia promedio, la distancia comprendida entre los centros espaciales de cada región productora a cada centro consumidor del producto.

Las distancias entre las regiones, fueron calculadas según el kilometraje de la red vial reportadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Los costos de transporte están al libre juego de la oferta y la demanda, siendo muy variados, dependiendo de la diversidad de oferentes de este servicio. PUNTO A PUNTO (2009) reporta una variación en el valor de los fletes de un tráiler con capacidad de distribución de 28 toneladas de maíz blanco. En la tabla 3 se presentan los costos calculados.

3.1.2 Formulación del modelo de economía cerrada de transporte a costo mínimo

A partir de los datos obtenidos anteriormente se plantea la función objetivo del mercado de maíz blanco en una economía cerrada. Se elabora tomando en cuenta los costos de transporte de cada ciudad de origen a los 22 destinos planteados en el modelo.

MIN

$$\begin{aligned}
 &633X_{11}+734X_{12}+742X_{13}+615X_{14}+924X_{15}+732X_{16}+577X_{17}+419X_{18}+827X_{19}+376X_{1,10} \\
 &+1075X_{1,11}+1361X_{1,12}+733X_{1,13}+415X_{1,14}+577X_{1,15}+361X_{1,16}+607X_{1,17}+742X_{1,18}+1534 \\
 &X_{1,19}+1277X_{1,20}+481X_{1,21}+1630X_{1,22}+375X_{21}+375X_{22}+460X_{23}+553X_{24}+508X_{25}+607X_{2,6} \\
 &+251X_{27}+357X_{28}+1117X_{29}+695X_{2,10}+857X_{2,11}+916X_{2,12}+500X_{2,13}+502X_{2,14}+285X_{2,15}+ \\
 &246X_{2,16}+162X_{2,17}+458X_{2,18}+1100X_{2,19}+847X_{2,20}+142X_{2,21}+1866X_{2,22}+214X_{31}+310X_{32}+ \\
 &225X_{33}+501X_{34}+471X_{35}+964X_{36}+481X_{37}+688X_{38}+1608X_{39}+1157X_{3,10}+504X_{3,11}+790 \\
 &X_{3,12}+154X_{3,13}+684X_{3,14}+342X_{3,15}+522X_{3,16}+418X_{3,17}+260X_{3,18}+963X_{3,19}+706X_{3,20}+518 \\
 &X_{3,21}+2411X_{3,22}+486X_{41}+625X_{42}+383X_{43}+942X_{44}+480X_{45}+1038X_{46}+660X_{47}+974X_{48}+ \\
 &1940X_{49}+1486X_{4,10}+180X_{4,11}+426X_{4,12}+436X_{4,13}+970X_{4,14}+557X_{4,15}+851X_{4,16}+715X_{4,17} \\
 &+407X_{4,18}+594X_{4,19}+449X_{4,20}+847X_{4,21}+2742X_{4,22}+156X_{51}+364X_{52}+310X_{53}+555X_{54}+4 \\
 &14X_{55}+520X_{56}+223X_{57}+418X_{58}+1262X_{59}+840X_{5,10}+527X_{5,11}+799X_{5,12}+297X_{5,13}+444X_{5,14} \\
 &+128X_{5,15}+337X_{5,16}+222X_{5,17}+309X_{5,18}+1024X_{5,19}+767X_{5,20}+330X_{5,21}+2012X_{5,22}+755 \\
 &X_{61}+844X_{62}+830X_{63}+535X_{64}+1011X_{65}+545X_{66}+549X_{67}+335X_{68}+758X_{69}+480X_{6,10}+1 \\
 &162X_{6,11}+1448X_{6,12}+816X_{6,13}+330X_{6,14}+658X_{6,15}+658X_{6,16}+508X_{6,17}+818X_{6,18}+1621X_{6,19} \\
 &+1365X_{6,20}+740X_{6,21}+1560X_{6,22}+211X_{71}+282X_{72}+314X_{73}+392X_{74}+416X_{75}+454X_{76}+1 \\
 &34X_{77}+351X_{78}+1262X_{79}+841X_{7,10}+529X_{7,11}+797X_{7,12}+309X_{7,13}+497X_{7,14}+102X_{7,15}+33
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&7X_{716}+132X_{717}+297X_{718}+1026X_{719}+770X_{720}+332X_{721}+2011X_{722}+321X_{81}+375X_{82}+28 \\
&5X_{83}+535X_{84}+333X_{85}+752X_{86}+400X_{87}+692X_{88}+1594X_{89}+1170X_{810}+316X_{811}+505X_{81} \\
&2+272X_{813}+737X_{814}+517X_{815}+578X_{816}+451X_{817}+232X_{818}+708X_{819}+452X_{810}+573X_{821} \\
&+2342X_{822}+131X_{91}+139X_{92}+102X_{93}+464X_{94}+343X_{95}+602X_{96}+300X_{97}+538X_{98}+1512 \\
&X_{99}+1060X_{910}+408X_{911}+700X_{912}+149X_{913}+533X_{914}+160X_{915}+425X_{916}+378X_{917}+111 \\
&X_{918}+867X_{919}+611X_{920}+421X_{921}+2316X_{922}+422X_{101}+500X_{102}+397X_{103}+297X_{104}+57 \\
&8X_{105}+442X_{106}+130X_{107}+267X_{108}+1127X_{109}+757X_{1010}+681X_{1011}+952X_{1012}+393X_{1013} \\
&+275X_{1014}+280X_{1015}+377X_{1016}+120X_{1017}+385X_{1018}+1188X_{1019}+931X_{1020}+372X_{1021}+ \\
&1875X_{1022}
\end{aligned}$$

Sujeto a restricciones de demanda y oferta:

Demanda

$$\begin{aligned}
&X_{11}+X_{21}+X_{31}+X_{41}+X_{51}+X_{61}+X_{71}+X_{81}+X_{91}+X_{101}=1247012 \\
&X_{12}+X_{22}+X_{32}+X_{42}+X_{52}+X_{62}+X_{72}+X_{82}+X_{92}+X_{102}=1116108 \\
&X_{13}+X_{23}+X_{33}+X_{43}+X_{53}+X_{63}+X_{73}+X_{83}+X_{93}+X_{103}=607997 \\
&X_{14}+X_{24}+X_{34}+X_{44}+X_{54}+X_{64}+X_{74}+X_{84}+X_{94}+X_{104}=466758 \\
&X_{15}+X_{25}+X_{35}+X_{45}+X_{55}+X_{65}+X_{75}+X_{85}+X_{95}+X_{105}=424525 \\
&X_{16}+X_{26}+X_{36}+X_{46}+X_{56}+X_{66}+X_{76}+X_{86}+X_{96}+X_{106}=332285 \\
&X_{17}+X_{27}+X_{37}+X_{47}+X_{57}+X_{67}+X_{77}+X_{87}+X_{97}+X_{107}=289349 \\
&X_{18}+X_{28}+X_{38}+X_{48}+X_{58}+X_{68}+X_{78}+X_{88}+X_{98}+X_{108}=285801 \\
&X_{19}+X_{29}+X_{39}+X_{49}+X_{59}+X_{69}+X_{79}+X_{89}+X_{99}+X_{109}=284727 \\
&X_{110}+X_{210}+X_{310}+X_{410}+X_{510}+X_{610}+X_{710}+X_{810}+X_{910}+X_{1010}=274200 \\
&X_{111}+X_{211}+X_{311}+X_{411}+X_{511}+X_{611}+X_{711}+X_{811}+X_{911}+X_{1011}=229923 \\
&X_{112}+X_{212}+X_{312}+X_{412}+X_{512}+X_{612}+X_{712}+X_{812}+X_{912}+X_{1012}=204660 \\
&X_{113}+X_{213}+X_{313}+X_{413}+X_{513}+X_{613}+X_{713}+X_{813}+X_{913}+X_{1013}=189677 \\
&X_{114}+X_{214}+X_{314}+X_{414}+X_{514}+X_{614}+X_{714}+X_{814}+X_{914}+X_{1014}=188242 \\
&X_{115}+X_{215}+X_{315}+X_{415}+X_{515}+X_{615}+X_{715}+X_{815}+X_{915}+X_{1015}=164409 \\
&X_{116}+X_{216}+X_{316}+X_{416}+X_{516}+X_{616}+X_{716}+X_{816}+X_{916}+X_{1016}=117896 \\
&X_{117}+X_{217}+X_{317}+X_{417}+X_{517}+X_{617}+X_{717}+X_{817}+X_{917}+X_{1017}=116299 \\
&X_{118}+X_{218}+X_{318}+X_{418}+X_{518}+X_{618}+X_{718}+X_{818}+X_{918}+X_{1018}=116216 \\
&X_{119}+X_{219}+X_{319}+X_{419}+X_{519}+X_{619}+X_{719}+X_{819}+X_{919}+X_{1019}=92499
\end{aligned}$$

$$X_{120}+X_{220}+X_{320}+X_{420}+X_{520}+X_{620}+X_{720}+X_{820}+X_{920}+X_{1020}=84476$$

$$X_{121}+X_{221}+X_{321}+X_{421}+X_{521}+X_{621}+X_{721}+X_{821}+X_{921}+X_{1021}=64164$$

$$X_{122}+X_{222}+X_{322}+X_{422}+X_{522}+X_{622}+X_{722}+X_{822}+X_{922}+X_{1022}=50618$$

Oferta

$$X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}+X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{110}+X_{111}+X_{112}+X_{113}+X_{114}+X_{115}+X_{116}+X_{117} \\ +X_{118}+X_{119}+X_{120}+X_{121}+X_{122}=4882688$$

$$X_{21}+X_{22}+X_{23}+X_{24}+X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28}+X_{29}+X_{210}+X_{211}+X_{212}+X_{213}+X_{214}+X_{215}+X_{216}+X_{217} \\ +X_{218}+X_{219}+X_{220}+X_{221}+X_{222}=1755355$$

$$X_{31}+X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35}+X_{36}+X_{37}+X_{38}+X_{39}+X_{310}+X_{311}+X_{312}+X_{313}+X_{314}+X_{315}+X_{316}+X_{317} \\ +X_{318}+X_{319}+X_{320}+X_{321}+X_{322}=752377$$

$$X_{41}+X_{42}+X_{43}+X_{44}+X_{45}+X_{46}+X_{47}+X_{48}+X_{49}+X_{410}+X_{411}+X_{412}+X_{413}+X_{414}+X_{415}+X_{416}+X_{417} \\ +X_{418}+X_{419}+X_{420}+X_{421}+X_{422}=747139$$

$$X_{51}+X_{52}+X_{53}+X_{54}+X_{55}+X_{56}+X_{57}+X_{58}+X_{59}+X_{510}+X_{511}+X_{512}+X_{513}+X_{514}+X_{515}+X_{516}+X_{517} \\ +X_{518}+X_{519}+X_{520}+X_{521}+X_{522}=673563$$

$$X_{61}+X_{62}+X_{63}+X_{64}+X_{65}+X_{66}+X_{67}+X_{68}+X_{69}+X_{610}+X_{611}+X_{612}+X_{613}+X_{614}+X_{615}+X_{616}+X_{617} \\ +X_{618}+X_{619}+X_{620}+X_{621}+X_{622}=607650$$

$$X_{71}+X_{72}+X_{73}+X_{74}+X_{75}+X_{76}+X_{77}+X_{78}+X_{79}+X_{710}+X_{711}+X_{712}+X_{713}+X_{714}+X_{715}+X_{716}+X_{717} \\ +X_{718}+X_{719}+X_{720}+X_{721}+X_{722}=265108$$

$$X_{81}+X_{82}+X_{83}+X_{84}+X_{85}+X_{86}+X_{87}+X_{88}+X_{89}+X_{810}+X_{811}+X_{812}+X_{813}+X_{814}+X_{815}+X_{816}+X_{817} \\ +X_{818}+X_{819}+X_{820}+X_{821}+X_{822}=253073$$

$$X_{91}+X_{92}+X_{93}+X_{94}+X_{95}+X_{96}+X_{97}+X_{98}+X_{99}+X_{910}+X_{911}+X_{912}+X_{913}+X_{914}+X_{915}+X_{916}+X_{917} \\ +X_{918}+X_{919}+X_{920}+X_{921}+X_{922}=235319$$

$$X_{101}+X_{102}+X_{103}+X_{104}+X_{105}+X_{106}+X_{107}+X_{108}+X_{109}+X_{1010}+X_{1011}+X_{1012}+X_{1013}+X_{1014}+X_{1015} \\ +X_{1016}+X_{1017}+X_{1018}+X_{1019}+X_{1020}+X_{1021}+X_{1022}=211719$$

De acuerdo a los datos obtenidos se presenta mayor oferta que demanda del producto, esto obliga a que las restricciones de oferta en el modelo sean menor o iguales (\leq) y las de demanda iguales ($=$) así se asegura que se satisfaga toda la demanda pero no se puede solicitar que se distribuya toda la oferta.

El primer conjunto de restricciones muestran cada una de éstas el producto total enviado de los diferentes centros productores que llega a un mismo centro consumidor. El segundo bloque de restricciones muestra el producto total enviado de cada una de las zonas productoras a los distintos centros consumidores.

3.1.3 Interpretación de resultados en una economía cerrada

Cuadro 4. Distribución de producto a costo mínimo de transporte

	ORIGEN									
DESTINO	Sinaloa	Jalisco	Guerrero	Chiapas	Michoacán	Chihuahua	Guanajuato	Veracruz	Hidalgo	Zacatecas
Estado de México	53661	345283	73806		673563		100699			
Distrito Federal		1116108								
Puebla			488894						119103	
Nuevo León	466758									
Oaxaca		35871		220057				168597		
Tamaulipas						332285				
San Luis Potosí		77630								211719
Coahuila	198678					87123				
Baja California Norte	284727									
Sonora	274200									
Tabasco				229923						
Yucatán				204660						
Morelos			189677							
Durango						188242				
Querétaro							164409			
Nayarit	117896									
Aguascalientes		116299								
Tlaxcala									116216	
Quintana Roo				92499						
Campeche								84476		
Colima		64164								
Baja California Sur	50618									
Total Distribuido	1446538	1755355	752377	747139	673563	607650	265108	253073	235319	211719
Total Ofrecido	4,882,688	1,755,355	752,377	747,139	673,563	607,650	265,108	253,073	235,319	211,719
Diferencia	3436150	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Los datos tomados para el modelo representan los excedentes de producto de cada centro oferente (la producción menos el consumo local) y se programa la distribución de estos excedentes para satisfacer la demanda requerida en los centros de consumo, restando la producción interna de cada Estado demandante.

En el cuadro cuatro, se explica los lugares de donde debe llegar el producto de cada uno de los centros de origen a los lugares de destino mejor ubicados, lo que quiere decir, que en las rutas seleccionadas se da una distribución óptima de las cantidades de producción que se mandan minimizando el costo de transportación de las zonas productoras a los centros consumidores.

Sinaloa distribuye 53,661 toneladas de maíz blanco hacia el Estado de México, 284727 toneladas hacia Baja California Norte y envía la mayor cantidad de su excedente hacia Nuevo León, 466,758 toneladas de maíz.

Sinaloa es el principal Estado productor de maíz blanco a nivel nacional, y después de enviar las cantidades recomendadas por el modelo, quedaría en origen una parte de producto excedente de este estado que puede considerarse una producción exportable de 3,436,150 toneladas de maíz o programar una industria procesadora de ese grano en Sinaloa para darle salida al producto con valor agregado.

3.2 Modelo de economía abierta de maíz blanco

Una economía abierta posee relaciones con el resto del mundo, lo cual existe una demanda de importaciones o exportaciones. Es éste caso el modelo de maíz blanco en economía cerrada arrojó un excedente de producción debido a que internamente la producción fue distribuida al mínimo costo de transporte hacia las zonas donde presentaba un faltante por el cual se va a programar su exportación con el objetivo de incrementar las ventas de los productores con exceso de producto en México. (ver cuadro 5)

Al igual que en economía cerrada, se toman las mismas zonas productoras (ver cuadro N° 1), y se añade al modelo 5 destinos como puntos frontera; Cd. Juárez, Matamoros, Mazatlán, Tuxpan y Acapulco, propios para exportar la producción de maíz blanco de 3, 436,150 toneladas excedentes en el Estado de Sinaloa que arrojó como resultado el modelo cerrado, después de satisfacer la demanda nacional.

Los costos de transporte de igual forma fueron calculados en base a los datos obtenidos por PUNTO A PUNTO de la distancia que recorre el producto de cada ciudad de origen a cada punto frontera.

Cuadro 5. Puntos frontera de exportación para el maíz blanco

ORIGEN	DESTINO				
	CD JUÁREZ	MATAMOROS	MAZATLÁN	TUXPAN	ACAPULCO
SINALOA (CULIACAN)	784.98	781.46	160.35	798.5	855
GUADALAJARA (ZONA URBANA)	642.85	535.71	331.82	427.21	443.5
GUERRERO (CHILPANCINGO)	1112.67	705.53	673.92	430	118.07
CHIAPAS (TUXTLA GUTIERREZ)	1398.85	827.67	1002.85	464.28	613.39
MICHOACAN (MORELIA)	814.71	604.28	417.32	402.14	678.57
CHIHUAHUA (CHIH)	250.71	594.10	535.71	911.07	985.17
GUANAJUATO (IRAPUATO)	748.10	450.39	418	391	351.5
VERACRUZ (VER)	1088.57	532.5	769.82	204.67	355.5
HIDALGO (PACHUCA)	962.57	651.42	577.5	176.42	350
ZACATECAS (ZAC.)	592.67	398.57	437.14	413	502.5

Fuente: Elaboración propia con datos de PUNTO A PUNTO de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes

El modelo fue elaborado de la siguiente manera:

Los puntos frontera fueron planteados como; (23) Cd Juárez, (24) Matamoros, (25) Mazatlán, (26) Tuxpan y (27) Acapulco.

Se incorporo en la función objetivo los 5 puntos frontera, como por ejemplo 160X125 el cual indica el costo involucrado al enviar toneladas de maíz blanco de Sinaloa a Mazatlán. Y 706X324 costo de enviar toneladas de maíz de Guerrero (Chilpancingo) a Tuxpan.

MIN

$$633X_{11}+734X_{12}+742X_{13}+615X_{14}+924X_{15}+732X_{16}+577X_{17}+419X_{18}+827X_{19}+376X_{10}+1075X_{111}+1361X_{112}+733X_{113}+415X_{114}+577X_{115}+361X_{116}+607X_{117}+742X_{118}+1534X_{119}+1277X_{120}+481X_{121}+1630X_{122}+785X_{123}+781X_{124}+160X_{125}+799X_{126}+855X_{127}+375X_{21}+375X_{22}+460X_{23}+553X_{24}+508X_{25}+607X_{26}+251X_{27}+357X_{28}+1117X_{29}+695X_{210}+857X_{211}+916X_{212}+500X_{213}+502X_{214}+285X_{215}+246X_{216}+162X_{217}+458X_{218}+1100X_{219}+847X_{220}+142X_{221}+1866X_{222}+643X_{223}+536X_{224}+332X_{225}+427X_{226}+444X_{227}+214X_{31}+310X_{32}+225X_{33}+501X_{34}+471X_{35}+964X_{36}+481X_{37}+688X_{38}+1608X_{39}+1157X_{310}+50$$

$4X_{311}+790X_{312}+154X_{313}+684X_{314}+342X_{315}+522X_{316}+418X_{317}+260X_{318}+963X_{319}+70$
 $6X_{320}+518X_{321}+2411X_{322}+1113X_{323}+706X_{324}+674X_{325}+430X_{326}+118X_{327}+486X_{41}+6$
 $25X_{42}+383X_{43}+942X_{44}+480X_{45}+1038X_{46}+660X_{47}+974X_{48}+1940X_{49}+1486X_{410}+180X$
 $411+426X_{412}+436X_{413}+970X_{414}+557X_{415}+851X_{416}+715X_{417}+407X_{418}+594X_{419}+449X_{4}$
 $20+847X_{421}+2742X_{422}+1399X_{423}+828X_{424}+1003X_{425}+464X_{426}+613X_{427}+156X_{51}+364$
 $X_{52}+310X_{53}+555X_{54}+414X_{55}+520X_{56}+223X_{57}+418X_{58}+1262X_{59}+840X_{510}+527X_{511}+7$
 $99X_{512}+297X_{513}+444X_{514}+128X_{515}+337X_{516}+222X_{517}+309X_{518}+1024X_{519}+767X_{520}+$
 $330X_{521}+2012X_{522}+815X_{523}+604X_{524}+417X_{525}+402X_{526}+679X_{527}+755X_{61}+844X_{62}+8$
 $30X_{63}+535X_{64}+1011X_{65}+545X_{66}+549X_{67}+335X_{68}+758X_{69}+480X_{610}+1162X_{611}+1448$
 $X_{612}+816X_{613}+330X_{614}+658X_{615}+658X_{616}+508X_{617}+818X_{618}+1621X_{619}+1365X_{620}+7$
 $40X_{621}+1560X_{622}+251X_{623}+594X_{624}+536X_{625}+911X_{626}+985X_{627}+211X_{71}+282X_{72}+31$
 $4X_{73}+392X_{74}+416X_{75}+454X_{76}+134X_{77}+351X_{78}+1262X_{79}+841X_{710}+529X_{711}+797X_{712}$
 $+309X_{713}+497X_{714}+102X_{715}+337X_{716}+132X_{717}+297X_{718}+1026X_{719}+770X_{720}+332X_{72}$
 $1+2011X_{722}+748X_{723}+450X_{724}+418X_{725}+391X_{726}+352X_{727}+321X_{81}+375X_{82}+285X_{83}+$
 $535X_{84}+333X_{85}+752X_{86}+400X_{87}+692X_{88}+1594X_{89}+1170X_{810}+316X_{811}+505X_{812}+27$
 $2X_{813}+737X_{814}+517X_{815}+578X_{816}+451X_{817}+232X_{818}+708X_{819}+452X_{810}+573X_{821}+23$
 $42X_{822}+1089X_{823}+533X_{824}+770X_{825}+205X_{826}+356X_{827}+131X_{91}+139X_{92}+102X_{93}+46$
 $4X_{94}+343X_{95}+602X_{96}+300X_{97}+538X_{98}+1512X_{99}+1060X_{910}+408X_{911}+700X_{912}+149X_{9}$
 $13+533X_{914}+160X_{915}+425X_{916}+378X_{917}+111X_{918}+867X_{919}+611X_{920}+421X_{921}+2316X$
 $922+963X_{923}+651X_{924}+578X_{925}+176X_{926}+350X_{927}+422X_{101}+500X_{102}+397X_{103}+297X_{1}$
 $04+578X_{105}+442X_{106}+130X_{107}+267X_{108}+1127X_{109}+757X_{1010}+681X_{1011}+952X_{1012}+39$
 $3X_{1013}+275X_{1014}+280X_{1015}+377X_{1016}+120X_{1017}+385X_{1018}+1188X_{1019}+931X_{1020}+372$
 $X_{1021}+1875X_{1022}+593X_{1023}+399X_{1024}+437X_{1025}+413X_{1026}+503X_{1027}$

Sujeto a restricciones de Oferta y Demanda

Demanda:

$$X_{11}+X_{21}+X_{31}+X_{41}+X_{51}+X_{61}+X_{71}+X_{81}+X_{91}+X_{101}=1247012$$

$$X_{12}+X_{22}+X_{32}+X_{42}+X_{52}+X_{62}+X_{72}+X_{82}+X_{92}+X_{102}=1116108$$

$$X_{13}+X_{23}+X_{33}+X_{43}+X_{53}+X_{63}+X_{73}+X_{83}+X_{93}+X_{103}=607997$$

$$X_{14}+X_{24}+X_{34}+X_{44}+X_{54}+X_{64}+X_{74}+X_{84}+X_{94}+X_{104}=466758$$

$$X_{15}+X_{25}+X_{35}+X_{45}+X_{55}+X_{65}+X_{75}+X_{85}+X_{95}+X_{105}=424525$$

$$X_{16}+X_{26}+X_{36}+X_{46}+X_{56}+X_{66}+X_{76}+X_{86}+X_{96}+X_{106}=332285$$

$$X_{17}+X_{27}+X_{37}+X_{47}+X_{57}+X_{67}+X_{77}+X_{87}+X_{97}+X_{107}=289349$$

$$X_{18}+X_{28}+X_{38}+X_{48}+X_{58}+X_{68}+X_{78}+X_{88}+X_{98}+X_{108}=285801$$

$$X_{19}+X_{29}+X_{39}+X_{49}+X_{59}+X_{69}+X_{79}+X_{89}+X_{99}+X_{109}=284727$$

$$X_{110}+X_{210}+X_{310}+X_{410}+X_{510}+X_{610}+X_{710}+X_{810}+X_{910}+X_{1010}=274200$$

$$X_{111}+X_{211}+X_{311}+X_{411}+X_{511}+X_{611}+X_{711}+X_{811}+X_{911}+X_{1011}=229923$$

$$X_{112}+X_{212}+X_{312}+X_{412}+X_{512}+X_{612}+X_{712}+X_{812}+X_{912}+X_{1012}=204660$$

$$X_{113}+X_{213}+X_{313}+X_{413}+X_{513}+X_{613}+X_{713}+X_{813}+X_{913}+X_{1013}=189677$$

$$X_{114}+X_{214}+X_{314}+X_{414}+X_{514}+X_{614}+X_{714}+X_{814}+X_{914}+X_{1014}=188242$$

$$X_{115}+X_{215}+X_{315}+X_{415}+X_{515}+X_{615}+X_{715}+X_{815}+X_{915}+X_{1015}=164409$$

$$X_{116}+X_{216}+X_{316}+X_{416}+X_{516}+X_{616}+X_{716}+X_{816}+X_{916}+X_{1016}=117896$$

$$X_{117}+X_{217}+X_{317}+X_{417}+X_{517}+X_{617}+X_{717}+X_{817}+X_{917}+X_{1017}=116299$$

$$X_{118}+X_{218}+X_{318}+X_{418}+X_{518}+X_{618}+X_{718}+X_{818}+X_{918}+X_{1018}=116216$$

$$X_{119}+X_{219}+X_{319}+X_{419}+X_{519}+X_{619}+X_{719}+X_{819}+X_{919}+X_{1019}=92499$$

$$X_{120}+X_{220}+X_{320}+X_{420}+X_{520}+X_{620}+X_{720}+X_{820}+X_{920}+X_{1020}=84476$$

$$X_{121}+X_{221}+X_{321}+X_{421}+X_{521}+X_{621}+X_{721}+X_{821}+X_{921}+X_{1021}=64164$$

$$X_{122}+X_{222}+X_{322}+X_{422}+X_{522}+X_{622}+X_{722}+X_{822}+X_{922}+X_{1022}=50618$$

$$X_{123}+X_{223}+X_{323}+X_{423}+X_{523}+X_{623}+X_{723}+X_{823}+X_{923}+X_{1023}+X_{124}+X_{224}+X_{324}+X_{424}+X_{524}+X_{624}+X_{724}+X_{824}+X_{924}+X_{1024}+X_{125}+X_{225}+X_{325}+X_{425}+X_{525}+X_{625}+X_{725}+X_{825}+X_{925}+X_{1025}+X_{12}$$

$$6+X_{226}+X_{326}+X_{426}+X_{526}+X_{626}+X_{726}+X_{826}+X_{926}+X_{1026}+X_{127}+X_{227}+X_{327}+X_{427}+X_{527}+X_{627}+X_{727}+X_{827}+X_{927}+X_{1027}=3436150$$

Oferta:

$$X_{11}+X_{12}+X_{13}+X_{14}+X_{15}+X_{16}+X_{17}+X_{18}+X_{19}+X_{110}+X_{111}+X_{112}+X_{113}+X_{114}+X_{115}+X_{116}+X_{117}+X_{118}+X_{119}+X_{120}+X_{121}+X_{122}+X_{123}+X_{124}+X_{125}+X_{126}+X_{127}=4882688$$

$$X_{21}+X_{22}+X_{23}+X_{24}+X_{25}+X_{26}+X_{27}+X_{28}+X_{29}+X_{210}+X_{211}+X_{212}+X_{213}+X_{214}+X_{215}+X_{216}+X_{217}+X_{218}+X_{219}+X_{220}+X_{221}+X_{222}+X_{223}+X_{224}+X_{225}+X_{226}+X_{227}=1755355$$

$$X_{31}+X_{32}+X_{33}+X_{34}+X_{35}+X_{36}+X_{37}+X_{38}+X_{39}+X_{310}+X_{311}+X_{312}+X_{313}+X_{314}+X_{315}+X_{316}+X_{317}+X_{318}+X_{319}+X_{320}+X_{321}+X_{322}+X_{323}+X_{324}+X_{325}+X_{326}+X_{327}=752377$$

$$X_{41}+X_{42}+X_{43}+X_{44}+X_{45}+X_{46}+X_{47}+X_{48}+X_{49}+X_{410}+X_{411}+X_{412}+X_{413}+X_{414}+X_{415}+X_{416}+X_{417}+X_{418}+X_{419}+X_{420}+X_{421}+X_{422}+X_{423}+X_{424}+X_{425}+X_{426}+X_{427}=747139$$

$$X_{51}+X_{52}+X_{53}+X_{54}+X_{55}+X_{56}+X_{57}+X_{58}+X_{59}+X_{510}+X_{511}+X_{512}+X_{513}+X_{514}+X_{515}+X_{516}+X_{517}+X_{518}+X_{519}+X_{520}+X_{521}+X_{522}+X_{523}+X_{524}+X_{525}+X_{526}+X_{527}=673563$$

$$X_{61}+X_{62}+X_{63}+X_{64}+X_{65}+X_{66}+X_{67}+X_{68}+X_{69}+X_{610}+X_{611}+X_{612}+X_{613}+X_{614}+X_{615}+X_{616}+X_{617}+X_{618}+X_{619}+X_{620}+X_{621}+X_{622}+X_{623}+X_{624}+X_{625}+X_{626}+X_{627}=607650$$

$$X_{71}+X_{72}+X_{73}+X_{74}+X_{75}+X_{76}+X_{77}+X_{78}+X_{79}+X_{710}+X_{711}+X_{712}+X_{713}+X_{714}+X_{715}+X_{716}+X_{717}+X_{718}+X_{719}+X_{720}+X_{721}+X_{722}+X_{723}+X_{724}+X_{725}+X_{726}+X_{727}=265108$$

$$X_{81}+X_{82}+X_{83}+X_{84}+X_{85}+X_{86}+X_{87}+X_{88}+X_{89}+X_{810}+X_{811}+X_{812}+X_{813}+X_{814}+X_{815}+X_{816}+X_{817}+X_{818}+X_{819}+X_{820}+X_{821}+X_{822}+X_{823}+X_{824}+X_{825}+X_{826}+X_{827}=253073$$

$$X_{91}+X_{92}+X_{93}+X_{94}+X_{95}+X_{96}+X_{97}+X_{98}+X_{99}+X_{910}+X_{911}+X_{912}+X_{913}+X_{914}+X_{915}+X_{916}+X_{917}+X_{918}+X_{919}+X_{920}+X_{921}+X_{922}+X_{923}+X_{924}+X_{925}+X_{926}+X_{927}=235319$$

$$X_{101}+X_{102}+X_{103}+X_{104}+X_{105}+X_{106}+X_{107}+X_{108}+X_{109}+X_{1010}+X_{1011}+X_{1012}+X_{1013}+X_{1014}+X_{1015}+X_{1016}+X_{1017}+X_{1018}+X_{1019}+X_{1020}+X_{1021}+X_{1022}+X_{1023}+X_{1024}+X_{1025}+X_{1026}+X_{1027}=211719$$

En la demanda se incluyo el envío de los 10 orígenes a cada uno de los puntos frontera igualando la restricción a 3, 436,150 toneladas de producto sobrante en Sinaloa con la finalidad de que el modelo envíe solo el excedente a puntos estratégicos para su exportación.

3.2.1 Interpretación de resultados en economía abierta

Cuadro 6. Distribución de producto a costo mínimo de transporte

DESTINO	ORIGEN									
	Sinaloa	Jalisco	Guerrero	Chiapas	Michoacán	Chihuahua	Guanajuato	Veracruz	Hidalgo	Zacatecas
Estado de México	53661	345283	73806		673563		100699			
Distrito Federal		1116108								
Puebla			488894						119103	
Nuevo León	466758									
Oaxaca		35871		220057				168597		
Tamaulipas						332285				
San Luis Potosí		77630								211719
Coahuila	198678					87123				
Baja California Norte	284727									
Sonora	274200									
Tabasco				229923						
Yucatán				204660						
Morelos			189677							
Durango						188242				
Querétaro							164409			
Nayarit	117896									
Aguascalientes		116299								
Tlaxcala									116216	
Quintana Roo				92499						
Campeche								84476		
Colima		64164								
Baja California Sur	50618									
Cd. Juárez										
Matamoros										
Mazatlán	3436150									
Tuxpan										
Acapulco										
Total Distribuido	4882688	1755355	752377	747139	673563	607650	265108	253073	235319	211719
Total Ofrecido	4,882,688	1,755,355	752,377	747,139	673,563	607,650	265,108	253,073	235,319	211,719
Diferencia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelo, la distribución en el mercado cerrado queda exactamente igual a la cantidad requerida internamente y el producto excedente en Sinaloa es enviado a Mazatlán donde incurre en costos mínimos de transporte.

Para este modelo resulto fácil la distribución del producto dado que el excedente en el Estado de Sinaloa cuenta con un punto frontera, por el cual, era previsto el envío hacia éste punto óptimo de mínimo costo de transporte, además de representar para este estado un mayor ingreso e incentivo de promover e impulsar la producción debido a la ubicación geográfica apta para su exportación.

De esta manera queda concluida la distribución a mínimo costo de transporte del producto tanto a nivel nacional como en el exterior.

CONCLUSIONES

En base a la metodología planteada en el proceso de esta investigación, se logró obtener información para un análisis económico en la distribución de maíz blanco de los centros productores a los centros consumidores al interior y exterior del país.

Considerando los objetivos planteados, la sistematización de la información y los datos recabados se consiguió obtener una solución óptima de minimización de la distancia recorrida para el problema de transporte. Mediante la Programación Lineal se obtuvo un programa óptimo de distribución hacia los centros demandantes a un costo mínimo.

En México se produce en los 32 estados, de los cuales sólo 10 tienen la capacidad de abastecer la demanda local, Sinaloa, Jalisco y Guerrero producen el 70% de la demanda requerida, 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.

En base a las rutas seleccionadas en la solución del modelo se ubicó en su totalidad la producción demandada internamente, excepto 3,436,150 toneladas de Culiacán Sinaloa, siendo la cantidad sobrante de la producción total nacional.

Se plantearon 5 puntos fronterizos para exportar el excedente de producción, debido a que Sinaloa cuenta con un punto fronterizo resulto fácil demostrar que el producto sería dirigido hacia el puerto de Mazatlán y con ello concluir en su totalidad la distribución óptima del maíz blanco.

RECOMENDACIONES

Como el maíz blanco es un cultivo básico fundamental en la alimentación de los Mexicanos, se debe impulsar por aumento 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 a 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 (industria cervecera), 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.

Como segundo punto el excedente de producción en el Estado de Sinaloa se recomienda sea exportado por el puerto marítimo de Mazatlán con que cuenta el estado de Sinaloa incurriendo en un costo mínimo de transporte ya que no es costoso distribuir dicho sobrante en otros centros demandantes debido a su lejanía por vía carretera.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Anderson, Sweeney D, Williams T, "Introducción a los métodos cuantitativos" Iberoamérica, México, 1993.
2. Dettman, J. "Introducción al algebra lineal y a las ecuaciones diferenciales" Ed. Mc Graw Hill Interamericana, México, D.F, 1975.
3. Gallagher, Ch. Watson H.J. "Métodos cuantitativos para la toma de decisiones" Mc Graw Hill Interamericana, México 1995.
4. Gómez Gómez Alma Alicia. "Una aplicación de programación lineal para el uso óptimo de maquinaria agrícola". México, D.F. 1980.
5. Jesús S. Arreola Risa, Antonio Arreola Risa. "Programación Lineal una introducción a la toma de decisiones cuantitativa" Mc Graw Hill, México, 2003.
6. Medina, S.V., Raya, K. y Contreras, M. R. (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, número 002. México.
7. Raymond R. Beneke. "Programación lineal. Aplicación a la agricultura" Editorial. Aedos Barcelona, 1984.
8. Taha, H.A. 1988. Investigación de Operaciones una Introducción. Segunda Edición. Representaciones y Servicios de Ingeniería, S. A. México. p. 118-140

9. Páginas web:

<http://www.slideshare.net/renevive/manual-programacion-lineal-julio-20>.

Consulta el día 20 de Julio de 2010

<http://www.conapo.gob.mx>.

Consulta el día 10 de Abril de 2011

<http://e-visitantes.e-mexico.gob.mx/rutas-de-punto-a-punto/e-visitantes/herramientas-e-visitantes/informacion-geografica/rutas-de-punto-a-punto.html>

Consulta el día 5 de Octubre de 2010

<http://www.siap.gob.mx/>

Consulta el día 15 Agosto de 2010

V. ANEXOS

LINDO

LINDO Systems - Optimization Software: Integer Programming, Linear Programming, Nonlinear Programming, Stochastic Programming, Global Optimization
Version 6.1

Cuadro 4. Corrida del modelo en economía cerrada

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 51
 OBJECTIVE FUNCTION VALUE
 2449945000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	53661	0.000000
X12	0.000000	101.000000
X13	0.000000	98.000000
X14	466758	0.000000
X15	0.000000	158.000000
X16	0.000000	103.000000
X17	0.000000	68.000000
X18	198678	0.000000
X19	284727	0.000000
X110	274200	0.000000
X111	0.000000	609.000000
X112	0.000000	649.000000
X113	0.000000	160.000000
X114	0.000000	1.000000
X115	0.000000	53.000000
X116	117896	0.000000
X117	0.000000	187.000000
X118	0.000000	89.000000
X119	0.000000	654.000000
X120	0.000000	844.000000
X121	0.000000	81.000000
X122	50618	0.000000
X21	345283	0.000000
X22	1116108	0.000000
X23	0.000000	74.000000
X24	0.000000	196.000000
X25	35871	0.000000
X26	0.000000	236.000000
X27	77630	0.000000
X28	0.000000	196.000000
X29	0.000000	548.000000
X210	0.000000	577.000000
X211	0.000000	649.000000
X212	0.000000	462.000000
X213	0.000000	185.000000
X214	0.000000	346.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X215	0.000000	19.000000
X216	0.000000	143.000000
X217	116299	0.000000
X218	0.000000	63.000000
X219	0.000000	478.000000
X220	0.000000	672.000000
X221	64164	0.000000
X222	0.000000	494.000000
X31	73806	0.000000
X32	0.000000	96.000000
X33	488894	0.000000
X34	0.000000	305.000000
X35	0.000000	124.000000
X36	0.000000	754.000000
X37	0.000000	391.000000
X38	0.000000	688.000000
X39	0.000000	1200.000000
X310	0.000000	1200.000000
X311	0.000000	457.000000
X312	0.000000	497.000000
X313	189677	0.000000
X314	0.000000	689.000000
X315	0.000000	237.000000
X316	0.000000	580.000000
X317	0.000000	417.000000
X318	0.000000	26.000000
X319	0.000000	502.000000
X320	0.000000	692.000000
X321	0.000000	537.000000
X322	0.000000	1200.000000
X41	0.000000	139.000000
X42	0.000000	278.000000
X43	0.000000	25.000000
X44	0.000000	613.000000
X45	220057	0.000000
X46	0.000000	695.000000
X47	0.000000	437.000000
X48	0.000000	841.000000
X49	0.000000	1399.000000
X410	0.000000	1396.000000
X411	229923	0.000000
X412	204660	0.000000
X413	0.000000	149.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X414	0.000000	842.000000
X415	0.000000	319.000000
X416	0.000000	776.000000
X417	0.000000	581.000000
X418	0.000000	40.000000
X419	92499	0.000000
X420	0.000000	302.000000
X421	0.000000	733.000000
X422	0.000000	1398.000000
X51	673563	0.000000
X52	0.000000	208.000000
X53	0.000000	143.000000
X54	0.000000	417.000000
X55	0.000000	125.000000
X56	0.000000	368.000000
X57	0.000000	191.000000
X58	0.000000	476.000000
X59	0.000000	912.000000
X510	0.000000	941.000000
X511	0.000000	538.000000
X512	0.000000	564.000000
X513	0.000000	201.000000
X514	0.000000	507.000000
X515	0.000000	81.000000
X516	0.000000	453.000000
X517	0.000000	279.000000
X518	0.000000	133.000000
X519	0.000000	621.000000
X520	0.000000	811.000000
X521	0.000000	407.000000
X522	0.000000	859.000000
X61	0.000000	206.000000
X62	0.000000	295.000000
X63	0.000000	270.000000
X64	0.000000	4.000000
X65	0.000000	329.000000
X66	332285	0.000000
X67	0.000000	124.000000
X68	87123	0.000000
X69	0.000000	15.000000
X610	0.000000	188.000000
X611	0.000000	780.000000
X612	0.000000	820.000000
X613	0.000000	327.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X614	188242	0.000000
X615	0.000000	218.000000
X616	0.000000	381.000000
X617	0.000000	172.000000
X618	0.000000	249.000000
X619	0.000000	825.000000
X620	0.000000	1016.000000
X621	0.000000	424.000000
X622	0.000000	14.000000
X71	100699	0.000000
X72	0.000000	71.000000
X73	0.000000	92.000000
X74	0.000000	199.000000
X75	0.000000	72.000000
X76	0.000000	247.000000
X77	0.000000	47.000000
X78	0.000000	354.000000
X79	0.000000	857.000000
X710	0.000000	887.000000
X711	0.000000	485.000000
X712	0.000000	507.000000
X713	0.000000	158.000000
X714	0.000000	505.000000
X715	164409	0.000000
X716	0.000000	398.000000
X717	0.000000	134.000000
X718	0.000000	66.000000
X719	0.000000	568.000000
X720	0.000000	759.000000
X721	0.000000	354.000000
X722	0.000000	803.000000
X81	0.000000	121.000000
X82	0.000000	175.000000
X83	0.000000	74.000000
X84	0.000000	353.000000
X85	168597	0.000000
X86	0.000000	556.000000
X87	0.000000	324.000000
X88	0.000000	706.000000
X89	0.000000	1200.000000
X810	0.000000	1679.000000
X811	0.000000	283.000000
X812	0.000000	226.000000
X813	0.000000	132.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X814	0.000000	756.000000
X815	0.000000	426.000000
X816	0.000000	650.000000
X817	0.000000	464.000000
X818	0.000000	12.000000
X819	0.000000	261.000000
X821	0.000000	606.000000
X822	0.000000	1145.000000
X91	0.000000	40.000000
X92	0.000000	48.000000
X93	119103	0.000000
X94	0.000000	391.000000
X95	0.000000	119.000000
X96	0.000000	515.000000
X97	0.000000	333.000000
X98	0.000000	661.000000
X99	0.000000	1227.000000
X910	0.000000	1226.000000
X911	0.000000	484.000000
X912	0.000000	530.000000
X913	0.000000	118.000000
X914	0.000000	661.000000
X915	0.000000	178.000000
X916	0.000000	606.000000
X917	0.000000	500.000000
X918	116216	0.000000
X919	0.000000	529.000000
X920	0.000000	720.000000
X921	0.000000	563.000000
X922	0.000000	1228.000000
X101	0.000000	168.000000
X102	0.000000	246.000000
X103	0.000000	132.000000
X104	0.000000	61.000000
X105	0.000000	191.000000
X106	0.000000	192.000000
X107	211719	0.000000
X108	0.000000	227.000000
X109	0.000000	679.000000
X1010	0.000000	760.000000
X1011	0.000000	594.000000
X1012	0.000000	619.000000
X1013	0.000000	199.000000
X1014	0.000000	240.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1015	0.000000	135.000000
X1016	0.000000	395.000000
X1017	0.000000	79.000000
X1018	0.000000	111.000000
X1019	0.000000	687.000000
X1020	0.000000	877.000000
X1021	0.000000	351.000000
X1022	0.000000	624.000000
X820	84476	0.000000

Cuadro 4. Corrida del modelo en economía abierta

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 47
 OBJECTIVE FUNCTION VALUE
 2999729000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	53661	0.000000
X12	0.000000	101.000000
X13	0.000000	98.000000
X14	466758	0.000000
X15	0.000000	158.000000
X16	0.000000	103.000000
X17	0.000000	68.000000
X18	198678	0.000000
X19	284727	0.000000
X110	274200	0.000000
X111	0.000000	609.000000
X112	0.000000	649.000000
X113	0.000000	160.000000
X114	0.000000	1.000000
X115	0.000000	53.000000
X116	117896	0.000000
X117	0.000000	187.000000
X118	0.000000	89.000000
X119	0.000000	654.000000
X120	0.000000	844.000000
X121	0.000000	81.000000
X122	50618	0.000000
X123	0.000000	625.000000
X124	0.000000	621.000000
X125	3436150	0.000000
X126	0.000000	639.000000
X127	0.000000	695.000000
X21	345283	0.000000
X22	1116108	0.000000
X23	0.000000	74.000000
X24	0.000000	196.000000
X25	35871	0.000000
X26	0.000000	236.000000
X27	77630	0.000000
X28	0.000000	196.000000
X29	0.000000	548.000000
X210	0.000000	577.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X211	0.000000	649.000000
X212	0.000000	462.000000
X213	0.000000	185.000000
X214	0.000000	346.000000
X215	0.000000	19.000000
X216	0.000000	143.000000
X217	116299	0.000000
X218	0.000000	63.000000
X219	0.000000	478.000000
X220	0.000000	672.000000
X221	64164	0.000000
X222	0.000000	494.000000
X223	0.000000	741.000000
X224	0.000000	634.000000
X225	0.000000	430.000000
X226	0.000000	525.000000
X227	0.000000	542.000000
X31	73806	0.000000
X32	0.000000	96.000000
X33	488894	0.000000
X34	0.000000	305.000000
X35	0.000000	124.000000
X36	0.000000	754.000000
X37	0.000000	391.000000
X38	0.000000	688.000000
X39	0.000000	1200.000000
X310	0.000000	1200.000000
X311	0.000000	457.000000
X312	0.000000	497.000000
X313	189677	0.000000
X314	0.000000	689.000000
X315	0.000000	237.000000
X316	0.000000	580.000000
X317	0.000000	417.000000
X318	0.000000	26.000000
X319	0.000000	502.000000
X320	0.000000	692.000000
X321	0.000000	537.000000
X322	0.000000	1200.000000
X323	0.000000	1372.000000
X324	0.000000	965.000000
X325	0.000000	933.000000
X326	0.000000	689.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X327	0.000000	377.000000
X41	0.000000	139.000000
X42	0.000000	278.000000
X43	0.000000	25.000000
X44	0.000000	613.000000
X45	220057	0.000000
X46	0.000000	695.000000
X47	0.000000	437.000000
X48	0.000000	841.000000
X49	0.000000	1399.000000
X410	0.000000	1396.000000
X411	229923	0.000000
X412	204660	0.000000
X413	0.000000	149.000000
X414	0.000000	842.000000
X415	0.000000	319.000000
X416	0.000000	776.000000
X417	0.000000	581.000000
X418	0.000000	40.000000
X419	92499	0.000000
X420	0.000000	302.000000
X421	0.000000	733.000000
X422	0.000000	1398.000000
X423	0.000000	1525.000000
X424	0.000000	954.000000
X425	0.000000	1129.000000
X426	0.000000	2060.000000
X427	0.000000	739.000000
X51	673563	0.000000
X52	0.000000	208.000000
X53	0.000000	143.000000
X54	0.000000	417.000000
X55	0.000000	125.000000
X56	0.000000	368.000000
X57	0.000000	191.000000
X58	0.000000	476.000000
X59	0.000000	912.000000
X510	0.000000	941.000000
X511	0.000000	538.000000
X512	0.000000	564.000000
X513	0.000000	201.000000
X514	0.000000	507.000000
X515	0.000000	81.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X516	0.000000	453.000000
X517	0.000000	279.000000
X518	0.000000	133.000000
X519	0.000000	621.000000
X520	0.000000	811.000000
X521	0.000000	407.000000
X522	0.000000	859.000000
X523	0.000000	1132.000000
X524	0.000000	921.000000
X525	0.000000	734.000000
X526	0.000000	719.000000
X527	0.000000	996.000000
X61	0.000000	206.000000
X62	0.000000	295.000000
X63	0.000000	270.000000
X64	0.000000	4.000000
X65	0.000000	329.000000
X66	332285	0.000000
X67	0.000000	124.000000
X68	87123	0.000000
X69	0.000000	15.000000
X610	0.000000	188.000000
X611	0.000000	780.000000
X612	0.000000	820.000000
X613	0.000000	327.000000
X614	188242	0.000000
X615	0.000000	218.000000
X616	0.000000	381.000000
X617	0.000000	172.000000
X618	0.000000	249.000000
X619	0.000000	825.000000
X620	0.000000	1016.000000
X621	0.000000	424.000000
X622	0.000000	14.000000
X623	0.000000	175.000000
X624	0.000000	518.000000
X625	0.000000	460.000000
X626	0.000000	835.000000
X627	0.000000	909.000000
X71	100699	0.000000
X72	0.000000	71.000000
X73	0.000000	92.000000
X74	0.000000	199.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X75	0.000000	72.000000
X76	0.000000	247.000000
X77	0.000000	47.000000
X78	0.000000	354.000000
X79	0.000000	857.000000
X710	0.000000	887.000000
X711	0.000000	485.000000
X712	0.000000	507.000000
X713	0.000000	158.000000
X714	0.000000	505.000000
X715	164409	0.000000
X716	0.000000	398.000000
X717	0.000000	134.000000
X718	0.000000	66.000000
X719	0.000000	568.000000
X720	0.000000	759.000000
X721	0.000000	354.000000
X722	0.000000	803.000000
X723	0.000000	1010.000000
X724	0.000000	712.000000
X725	0.000000	680.000000
X726	0.000000	653.000000
X727	0.000000	614.000000
X81	0.000000	121.000000
X82	0.000000	175.000000
X83	0.000000	74.000000
X84	0.000000	353.000000
X85	168597	0.000000
X86	0.000000	556.000000
X87	0.000000	324.000000
X88	0.000000	706.000000
X89	0.000000	1200.000000
X810	0.000000	1679.000000
X811	0.000000	283.000000
X812	0.000000	226.000000
X813	0.000000	132.000000
X814	0.000000	756.000000
X815	0.000000	426.000000
X816	0.000000	650.000000
X817	0.000000	464.000000
X818	0.000000	12.000000
X819	0.000000	261.000000
X820	84476	0.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X821	0.000000	606.000000
X822	0.000000	1145.000000
X823	0.000000	1362.000000
X824	0.000000	806.000000
X825	0.000000	1043.000000
X826	0.000000	478.000000
X827	0.000000	629.000000
X91	0.000000	40.000000
X92	0.000000	48.000000
X93	119103	0.000000
X94	0.000000	391.000000
X95	0.000000	119.000000
X96	0.000000	515.000000
X97	0.000000	333.000000
X98	0.000000	661.000000
X99	0.000000	1227.000000
X910	0.000000	1226.000000
X911	0.000000	484.000000
X912	0.000000	530.000000
X913	0.000000	118.000000
X914	0.000000	661.000000
X915	0.000000	178.000000
X916	0.000000	606.000000
X917	0.000000	500.000000
X918	116216	0.000000
X919	0.000000	529.000000
X920	0.000000	720.000000
X921	0.000000	563.000000
X922	0.000000	1228.000000
X923	0.000000	1345.000000
X924	0.000000	1033.000000
X925	0.000000	960.000000
X926	0.000000	558.000000
X927	0.000000	732.000000
X101	0.000000	168.000000
X102	0.000000	246.000000
X103	0.000000	132.000000
X104	0.000000	61.000000
X105	0.000000	191.000000
X106	0.000000	192.000000
X107	211719	0.000000
X108	0.000000	227.000000
X109	0.000000	679.000000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1010	0.000000	760.000000
X1011	0.000000	594.000000
X1012	0.000000	619.000000
X1013	0.000000	199.000000
X1014	0.000000	240.000000
X1015	0.000000	135.000000
X1016	0.000000	395.000000
X1017	0.000000	79.000000
X1018	0.000000	111.000000
X1019	0.000000	687.000000
X1020	0.000000	877.000000
X1021	0.000000	351.000000
X1022	0.000000	624.000000
X1023	0.000000	812.000000
X1024	0.000000	618.000000
X1025	0.000000	656.000000
X1026	0.000000	632.000000
X1027	0.000000	722.000000
