



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO
DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO - ADMINISTRATIVAS

**“PRODUCTIVIDAD DEL AGUA PARA RIEGO EN LA
COMUNIDAD DE SAN SIMÓN, MUNICIPIO DE TEXCOCO,
EDO MÉX.”**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA

Y DE LOS RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

DAMARIS BÁRBARA AMAYA PÉREZ

CHAPINGO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.

JULIO DE 2010



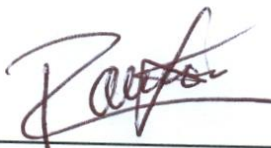
DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



**PRODUCTIVIDAD DEL AGUA PARA RIEGO EN LA COMUNIDAD DE SAN
SIMÓN MUNICIPIO DE TEXCOCO, EDO. MEX.**

Tesis realizada por el **ING. DAMARIS BÁRBARA AMAYA PÉREZ** bajo la
dirección del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como
requisito parcial para obtener el grado de:

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



DIRECTOR: DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ



ASESOR: DR. MARCOS PORTILLO VAZQUEZ



ASESOR: DR. JOSÉ LUIS ROMO LOZANO

AGRADECIMIENTOS

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (CONACYT) POR EL FINANCIAMIENTO OTORGADO PARA LA REALIZACIÓN DE UN POSGRADO.

A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO A TRAVÉS DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS Y LA DIRECCIÓN DEL POSGRADO POR BRINDARME LA OPORTUNIDAD Y LAS FACILIDADES DE OBTENER ESTE GRADO.

AL DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ POR SU GRAN AMISTAD, SU TIEMPO Y EL GRAN APOYO RECIBIDO DURANTE TODO EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL DOCUMENTO.

AL DR. MARCOS PORTILLO VAZQUEZ POR SU AMISTAD Y LOS VALIOSOS CONSEJOS Y APORTACIONES RECIBIDAS EN MI FORMACION COMO PERSONA Y COMO PROFESIONAL.

AL DR. JOSÉ LUÍS ROMO LOZANO POR SU AMISTAD Y POR EL APOYO BRINDADO PARA LA CONCLUSIÓN DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN.

A MIS COMPAÑEROS DE LA MAESTRÍA EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES.

DATOS BIOGRÁFICO

- ❖ Damaris Bárbara Amaya Pérez nació el 21 de febrero de 1985 en el municipio de Tomatlán, Jalisco.
- ❖ Realizó sus estudios de nivel medio superior en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario # 127, en el Tomatlán, Jalisco.
- ❖ En el año 2003 ingresó a chapingo donde cursó la carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Economía Agrícola.
- ❖ Ingresó a la maestría en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales en Julio de 2008.

**PRODUCTIVIDAD DEL AGUA PARA RIEGO EN LA COMUNIDAD DE SAN SIMÓN
MUNICIPIO DE TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.**

**PRODUCTIVITY OF IRRIGATION WATER IN THE COMMUNITY OF SAN SIMON,
MUNICIPALITY OF TEXCOCO, MEXICO.**

Autor tesis: Damaris Bárbara Amaya Pérez¹ Director tesis: Dr. Ramón Valdivia Alcalá¹

RESUMEN

En las últimas décadas los recursos hídricos se han convertido en bienes cada vez más escasos y caros; esto debido en gran parte a la intensificación de su uso en la agricultura, el crecimiento en la población y el aumento de las necesidades para consumo humano. El presente estudio tiene como objetivo principal estimar el valor económico del agua de riego en el ejido de San Simón, municipio de Texcoco, Mex. que sirva como guía para establecer un esquema tarifario eficiente y así se logre el aprovechamiento y la asignación óptima de este recurso. Para lo cual se utilizó un modelo de programación lineal en el que se le asignan los recursos escasos (mano de obra y agua) a las diferentes actividades (cultivos) consideradas.

Los resultados mostraron una diferencia de \$82,772.00 entre el patrón de cultivos actual y el patrón propuesto por el óptimo económico. El valor del producto marginal del agua obtenido estuvo entre 0.54 y 11.36 pesos por m³ en el análisis sin restricción de mercado y entre 1.91 y 4.43 pesos por m³ en el análisis con restricción de mercado. En ambos casos estos valores que representan los precios económicos del agua son superiores a las cuotas pagadas actualmente por los usuarios del agua de riego en el ejido, por lo que se recomienda un aumento en dichas cuotas. Con esto se espera que se haga un uso óptimo del recurso.

Palabras clave: Productividad marginal del agua, programación lineal, óptimo económico.

ABSTRACT

In recent decades, water resources have become increasingly scarce and expensive, largely due to their intensive use in agriculture, population growth and increased human consumption. The main objective of this research was to estimate the economic value of irrigation water in the community of San Simon, municipality of Texcoco, Mexico, so that it can be used as a guide for setting an efficient rate scheme and thus achieve the optimal utilization and allocation of this resource. To this end, a linear programming model was used in which scarce resources (labor and water) were assigned to different activities (crops).

The results show that there is a difference of \$82,772.0 between the current crop pattern and that proposed by the economic optimum. The marginal value product of the water obtained was between 0.54 and 11.36 pesos per m³ in the analysis without market restriction and between 1.91 and 4.43 pesos per m³ in the analysis with market restriction. In both cases these values that represent the economic prices of irrigation water are higher than the current irrigation water rates paid by farmers in the community; therefore, an increase in water rates is recommended in the hope that this will lead to an optimal use of this resource.

Keywords: Marginal water productivity, linear programming, economic optimum.

¹ Tesista. Posgrado de la División de Ciencias Económico Administrativas

¹ Profesor- Investigador de la División de Ciencias Económico Administrativas. Chapingo, México.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN	10
1.1	Planteamiento del problema.....	11
1.2	Objetivos	11
1.2.1	General:	11
1.2.2	Específicos:	12
1.3	Hipótesis.....	12
1.3.1	General:	12
1.3.2	Particulares:	12
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	13
2.1	Funciones de producción	14
2.2	Programación lineal.....	15
3	MARCO TEÓRICO	19
3.1	Programación lineal.....	19
3.1.1	Supuestos de la programación lineal.....	20
3.2	Técnicas de modelación en finca	21
3.2.1	Elección de los métodos de producción.	22
3.2.2	Factor de sustitución.	22
3.2.3	Insumo/Producto relaciones de respuesta.....	23
3.2.4	Diferencias en la calidad de los recursos.....	23
3.2.5	Estacionalidad.....	24
3.2.6	Opciones de Compra venta.	24
3.2.7	Rotación de cultivos.....	25
3.2.8	Productos intermedios.	26
3.2.9	Crédito y limitaciones del flujo de fondos.	26
3.3	Estructura del modelo de programación lineal	27
3.3.1	Variables del modelo	27
3.3.2	Función objetivo	27

3.3.3	Restricciones del modelo.....	28
3.3.4	Coeficientes del modelo	29
3.3.5	El problema primal y el dual	29
3.3.6	Interpretación económica del dual.....	33
4	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	36
4.1	Ubicación.....	36
4.2	Población.....	37
4.3	Clima	37
4.4	Orografía	38
4.5	Hidrología	38
4.6	Edafología	39
4.7	Vegetación y uso del suelo.....	39
4.8	Tenencia de la tierra.....	41
4.9	Características agrícolas	43
4.10	Características pecuarias y forestales.....	44
5	METODOLOGÍA Y DATOS UTILIZADOS	46
5.1	Actividades del modelo.....	46
5.2	Restricciones.....	47
5.3	Coeficientes técnicos.....	48
5.4	Cálculo de los precios netos.....	49
5.5	Construcción del modelo base	49
5.6	Escenarios contruidos	50
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
6.1	Modelo sin restricción de mercado	52
6.2	Modelo base vs. Situación actual	52
6.3	Valor de la función objetivo	54
6.4	Uso de los recursos.....	55

6.5	Valor del producto marginal del agua	56
6.6	Modelo con restricción de mercado.....	58
6.6.1	Modelo base vs. Situación actual	58
6.6.2	Valor de la función objetivo con restricciones de mercado	60
6.6.3	Valor del producto marginal del agua	61
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
7.1	Conclusiones.....	63
7.2	Recomendaciones.....	64
8	BIBLIOGRAFÍA	65
	ANEXO A	67
	ANEXO B.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del municipio de Texcoco.	37
Figura 2.	Uso del suelo.....	40
Figura 3.	Ocupación en el año 2000; Municipio de Texcoco	41
Figura 4.	Tenencia de la tierra	42
Figura 5.	Tenencia de la tierra	43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Interpretación del primal y del dual.....	34
Cuadro 2.	Pérdida de suelo agrícola en el Municipio de Texcoco	43
Cuadro 3.	Principales cultivos y su superficie sembrada en el Municipio (Ha)	44
Cuadro 4.	Actividades del modelo	47
Cuadro 5.	Disponibilidad mensual de recursos.	47
Cuadro 6.	Precios netos por cultivo.....	49
Cuadro 7.	Valor del producto marginal del agua (pesos por mm^3)	57
Cuadro 8.	Valor del producto marginal del agua (pesos por m^3)	57
Cuadro 9.	Valor del producto marginal del agua (pesos por mm^3)	61
Cuadro 10.	Valor del producto marginal del agua (pesos por m^3)	62

ÍNDICE DE GRAFICAS

Grafica 1. Patrón de cultivos actual (Has).....	53
Grafica 2. Patrón de cultivos propuesto (Has).....	53
Grafica 3. Valor de la función objetivo (\$)	54
Grafica 4. Consumo de agua	55
Grafica 5. Consumo de mano de obra	56
Grafica 6. Patrón de cultivos actual (Has).....	59
Grafica 7. Patrón de cultivos propuesto (Has).....	59
Grafica 8. Valor de la función objetivo (\$)	60

1 INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los recursos hídricos se han convertido en bienes cada vez más escasos y caros; esto debido en gran parte a la intensificación de su uso en la agricultura, el crecimiento en la población y el aumento de las necesidades para consumo humano. En muchos países esta escasez puede condicionar o restringir el desarrollo de las actividades productivas, crear competencia entre las diferentes actividades (consumo humano, agricultura, industria, etc) y ser fuente de conflictos entre individuos, comunidades, estados y hasta naciones.

En México, como en todas las regiones del planeta, la presencia del agua en la naturaleza es importante para mantener el equilibrio de los ecosistemas, para el consumo humano y el desarrollo de las actividades productivas agrícolas e industriales. Sin embargo, mientras esas actividades crecen aceleradamente, un tema que preocupa es el uso racional del recurso pues debido a que hay pocos incentivos para lograr un uso sabio y ahorrador de los recursos o para efectuar una asignación eficiente entre demandas alternativas varias regiones hidrológicas del país sufren problemas de disponibilidad y contaminación.

La determinación del valor económico del agua es una guía en la toma de decisiones referente a su asignación. Este valor es expresado por su precio de mercado, sin embargo, cuando éste no existe, su costo de oportunidad o precio sombra es un buen indicador (Florencio, et al 2000). Cuando las tarifas por concepto de agua son muy bajas, el precio sombra puede ser considerado como el elemento básico del cual debe partirse, para estimar hasta cuanto un usuario podría pagar por metro cúbico de agua utilizado. Es decir, los usuarios no podrán pagar más dinero por un servicio, que el valor del mínimo beneficio que

de él se pueda obtener.

La agricultura no sólo es el sector que utiliza un mayor volumen de agua; representando globalmente alrededor del 69 por ciento de toda la extracción, sino que además tiene un precio relativamente bajo y un uso ineficiente. A esta problemática no escapa la zona de riego de la comunidad de San Simón, Edo. de México. En este sentido, el presente trabajo tiene como finalidad determinar el precio sombra del agua, utilizándolo como parámetro en la determinación de tarifas que estimulen un uso racional de este líquido.

1.1 Planteamiento del problema

En México existe una falta de conocimiento del valor económico del agua destinada a la agricultura y del costo real de la prestación del servicio.

En la mayoría de los distritos de riego el costo de este líquido por m³ está muy por debajo de su costo de distribución y/o extracción, las tarifas pagadas por concepto de agua no reflejan su verdadero valor de escasez y no se determinan de acuerdo a las demandas de cada uno de los cultivos; Esto trae como consecuencia un mal aprovechamiento y una actitud derrochadora del agua por parte de los productores, situación que motiva que el agua se destine a actividades que desde el punto de vista económico no se traducen en productos con mayor valor.

1.2 Objetivos

1.2.1 General:

- Determinar el precio sombra del agua, como guía para el aprovechamiento y asignación óptima del agua de riego en la comunidad de San Simón en Texcoco, Mex.

1.2.2 Específicos:

- Determinar la productividad marginal del agua de los principales cultivos que permita establecer un esquema tarifario eficiente.
- Utilizar el concepto de precio sombra como un mecanismo para determinar la capacidad de pago de los productores por unidad de agua.

1.3 Hipótesis

1.3.1 General:

- Los precios pagados por concepto de agua en San Simón, Mpio de Texcoco están por abajo de su valor económico.

1.3.2 Particulares:

- El recurso agua en San Simón, no se está usando en las actividades más productivas económicamente.
- Con el valor marginal del agua se puede determinar un patrón de cultivos óptimo en el ejido San Simón.
- La magnitud del precio sombra del agua es superior a las tarifas que pagan los productores del ejido por este concepto.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

Un modelo de programación lineal resulta un método eficiente para determinar una decisión óptima, (o una estrategia óptima o un plan óptimo) escogida de un gran número de decisiones posibles y dado un conjunto de restricciones. Con programación lineal se han realizado diversos estudios sobre valoración del agua para riego cuyos resultados se presentan en este apartado.

Peter- Rogers (1998) señala que para estimar el valor del agua se puede partir de dos consideraciones principales: 1) evaluando los costos de suministro, en donde hay que tomar en cuenta que existen costos directos e indirectos involucrados en el suministro del agua, además de los costos ecológicos y sociales y 2) evaluando los beneficios generados por su uso, en donde se puede relacionar el valor del agua con estos beneficios obtenidos de una o varias actividades, así mismo; este beneficio se puede relacionar con la disposición de pago que los usuarios tendrían por el uso del recurso.

Comenta también que indistintamente del método de estimación del valor, el ideal del uso sustentable del agua requiere que el valor y los costos deban estar balanceados; es decir, el costo total debe ser igual al valor sustentable de uso. Esto implica que los valores en usos alternativos tengan que ser estimados simultáneamente cuando el suministro de agua iguala a la demanda para distintos usuarios en el tiempo y en el espacio. Cuando existen mercados y funcionan adecuadamente estos se encargan de emparejar las demandas y los suministros y si además cuentan con un marco de regulación pueden cuidar de algunas externalidades como la afectación a terceros o daños al ecosistema. Cuando no existen mercados o no funcionan adecuadamente, las asignaciones eficientes de agua para balancear las demandas y los suministros se pueden hacer con modelos de análisis de multiperiodo y con la ayuda de análisis de sistemas (Rubiños, 2001).

La mejor manera para determinar el costo de oportunidad del agua en un distrito de riego es a través de la estimación de su valor marginal, el cual puede ser referido como el precio sombra del agua (Palacios, 1976; Gibbons, 1986; Le

Moigne, 1994; Young, 1996). El valor marginal, representa el incremento en el ingreso neto debido a una unidad adicional de insumo, y de acuerdo con la ley de los rendimientos decrecientes, eventualmente cae conforme se incrementa la cantidad usada. La eficiencia económica se alcanza cuando el valor marginal es igual al costo marginal.

El valor marginal del agua puede ser calculado para un cultivo específico o para un conjunto de cultivos, en el corto o en el largo plazo. La metodología básica para estimarlo, consiste en el análisis de funciones de producción y análisis de presupuestos. A partir de este último, se deriva la programación lineal (Young, 1996).

2.1 Funciones de producción

Para poder calcular la productividad marginal del agua de riego de un cultivo específico, y por consiguiente su valor económico, es necesario estimar su función de producción, donde la cantidad cosechada está en función de la dosis aplicada de agua y otros factores. Las funciones de producción se clasifican en: modelos de evapotranspiración y transpiración, modelos de simulación, modelos de predicción y modelos híbridos. En este trabajo se utilizan modelos de predicción para calcular la productividad marginal del agua.

Palacios y Exebio (1989), manifiestan que la productividad marginal del agua puede ser también la máxima cantidad de dinero que un usuario estaría dispuesto a pagar por tener disponible una unidad adicional del recurso en el proceso productivo, ya que en general un empresario estaría dispuesto a pagar por dicho recurso (o insumo), hasta una cantidad cuanto más igual al beneficio que produzca una unidad adicional. Florencio Cruz V. (et al 2000) estimó la productividad marginal del agua en un distrito de riego a través de programación lineal y de funciones de producción para cultivos específicos. Los cultivos analizados fueron maíz, frijol, sorgo, trigo, cebada, alfalfa, brócoli y fresa; el cálculo se realizó para cada uno de los cultivos en base a su función de

producción, relacionando el rendimiento con el consumo de agua de cada uno de los cultivos.

De Mastro, citado por Caballer y Guadalajara (1998), realizó un estudio para calcular el valor económico del agua en función de su productividad. Para ello estima una función de producción para el cultivo de algodón, donde la producción depende de la dosis de riego y de la densidad de población. Vuelvas (1997) estimó una función de rendimiento para el cultivo del trigo en la región del bajío, en la cual relaciona el rendimiento en función de la dosis aplicada de agua y del intervalo de riego a la floración.

2.2 Programación lineal

El precio sombra también se puede obtener mediante técnicas de programación lineal. La ventaja de esta metodología es que no solo permite calcular el precio sombra del agua, si no también determina el patrón de cultivos óptimo que maximiza el ingreso neto de los productores dado un conjunto de restricciones.

Palacios (1976) a través de un modelo de programación lineal sujeto a un conjunto de restricciones (tierra, agua, mano de obra y capital), maximiza el ingreso neto de los productores en un distrito de riego en México, obtiene el patrón de cultivos óptimo a sembrar y estima la productividad marginal del agua (precio sombra). De igual forma, mediante un análisis de sensibilidad, el autor señala que el modelo de programación lineal y el precio sombra del agua, son altamente sensibles a variaciones de los factores, tales como: la disponibilidad de agua, los coeficientes de la función objetivo (precios netos) y la eficiencia de conducción del agua.

Bowen y Young (1985) estiman el beneficio total, promedio y marginal del agua en un distrito de riego en Egipto. Los modelos de programación lineal son formulados considerando cambios en la disponibilidad de agua, número de riegos aplicados, fechas de plantación y mejoras en la eficiencia de riego a nivel parcelario. Los presupuestos se elaboraron utilizando precios privados y precios

económicos. Los resultados mostraron que el agua de riego en la región de estudio tiene un beneficio neto promedio alto, pero un beneficio marginal (precio sombra) bajo. Así mismo, cuando la evaluación se hace a precios económicos, el beneficio total, promedio y marginal; es mayor, que cuando se hace a precios privados.

Gisser et al (1979), estiman el impacto de la transferencia de agua del sector agrícola al sector hidroeléctrico en cuatro condados de los Estados Unidos. Para ello hace uso de modelos de programación lineal, que simulan reducciones en la disponibilidad de agua, entre 10 y 40%. El cambio en los precios sombra del agua, el ingreso del productor y el nivel de empleo, son los indicadores que se utilizaron para medir el impacto que estos cambios tienen en la economía regional. En el caso específico del precio sombra del agua, es utilizado como el precio de venta de una unidad de agua al sector eléctrico. El trabajo concluye afirmando que los agricultores comerciales (con capacidad financiera) están en condiciones de vender agua al sector eléctrico, mediante la reconversión de sus sistemas de riego, de un sistema de riego por inundación a un sistema de riego por goteo.

A. Garrido (2000), realiza tres modelos para analizar el comportamiento económico de los productores con respecto al uso del agua y sus diferentes mercados. El modelo a nivel de producción es usado para determinar la función individual de demanda de agua de los productores los otros dos modelos simulan escenarios de mercado usando las demandas de agua obtenidas en el primer modelo. En el análisis de sus resultados este autor concluye que el mercado de agua asignaría precios significativamente diferentes en los diferentes distritos, incluso cuando los distritos tienen patrones similares en su agricultura de riego.

Godínez M. L. et al (2007), Realizaron un estudio para obtener el valor económico del agua para riego de bombeo y gravedad en la Comarca Lagunera en donde hace uso de dos modelos: Un modelo de programación lineal que asigna recursos escasos (mano de obra, tierra y agua) entre distintas actividades y una función de producción que relaciona el beneficio neto de la producción

agrícola con el volumen de agua de bombeo y gravedad. Los resultados del modelo de asignación de recursos en este estudio arrojó un precio sombra de \$0.646m³ de agua de bombeo y de \$0.582 m³ de agua de gravedad. Para un volumen promedio de 738.97 millones de m³ de agua de bombeo, la productividad marginal se estimó en \$0.73 m³, mientras que, para un volumen promedio de 376.99 millones de m³ de agua de gravedad, la productividad marginal fue \$0.25 m³. Debido a que los valores encontrados fueron mayores a la cuota que los productores agrícolas pagan por el uso del agua en el distrito, en dicho estudio se recomienda un aumento en la cuota pagada por los productores agrícolas de la región.

Rubiños P. *et al* (2007) Realizan un estudio donde presentan una metodología para estimar el valor económico del agua en módulos y distritos de riego, y un análisis de las transmisiones de derechos de agua entre módulos de riego. La investigación se aplicó para los Distritos de Riego (DR) 011AltoRío Lerma, Guanajuato, y 017 Región Lagunera, Coahuila y Durango. Se estimó el valor económico del agua, evaluando su productividad marginal; para esto, se plantearon modelos matemáticos relacionando el beneficio neto agregado de los módulos de riego con factores de la producción, como volumen de agua, superficie y jornales utilizados. Los autores probaron las funciones Cobb-Douglas, Mitscherlich-Spillman y polinomiales. El beneficio neto se agregó, con base en el índice de agregación de Fisher, para las cantidades de producción, precios y costos de los cultivos en los distritos de riego estudiados. En el análisis de las transmisiones, se planteó un esquema de simulación para analizar la disposición de los módulos a adquirir volúmenes en función del precio, la superficie y los jornales. En los resultados de este estudio se demostró que las funciones tipo Cobb-Douglas relacionan mejor el beneficio neto agregado con los factores utilizados; los valores del agua estimados en los DR fueron de \$173 y \$279 por 1000 m³, respectivamente; valores superiores a cuotas por servicio de riego y precios de agua (transmisión) de 2003. En cuanto a las transmisiones, el esquema de simulación planteado permitió identificar módulos que tienen mayor disposición a adquirir volúmenes de agua, como los módulos de Salvatierra,

Cortázar y Salamanca en el DR 011 en intervalos de 3 a 12 millones de m³; y Vergel, Coyote y La Marinera en el DR 017, en intervalos de 4 a 22 millones de m³.

Zetina E. (2010) Mediante un modelo de programación lineal lleva a cabo un estudio cuyo objetivo es optimizar el patrón de cultivos en el distrito de riego 044, Jilotepec, Estado de México y dar un valor económico del agua en posibles escenarios futuros. En este modelo de programación lineal se toman en cuenta 37 actividades agrícolas cíclicas y perenes con 62 restricciones. De acuerdo con sus resultados obtenidos se muestra una diferencia de 2.2 millones de pesos entre la situación actual y el óptimo económico obtenido y se obtiene un valor del producto marginal del agua entre 0.96 y 5.72 pesos por m³ en el ciclo Otoño-Invierno y entre 0.03 y 0.21 en el ciclo Primavera-Verano. De acuerdo con estos resultados se concluye en la investigación que un incremento gradual de las cuotas podrá optimizar el uso del recurso y mitigar el desperdicio.

3 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrollan algunos de los conceptos teóricos más importantes de la programación lineal y de las técnicas de modelación en fincas que sirvieron de base para el presente trabajo.

3.1 Programación lineal

La programación lineal es una herramienta útil en la solución de problemas en ingeniería agrícola, ya que se puede utilizar para determinar el uso óptimo de los recursos disponibles en una unidad de producción. De igual forma se utiliza para realizar la planeación de actividades en las unidades de producción, en el uso y combinación de recursos entre distintas actividades alternativas para cumplir con un objetivo de optimización (Bueno, 1988). Muchos sistemas de producción pueden ser representados por un modelo de programación lineal, el cual permite conocer los valores de las variables, o actividades en el proceso de producción, que optimizan (maximizan o minimizan) el funcionamiento del sistema (Palacios y Exebio, 1989). La teoría de la programación lineal, se ha desarrollado para facilitar la búsqueda de una respuesta al problema de elegir entre formas alternativas de producción, para lograr el uso más eficiente de los recursos. Con respecto a la solución de problemas agrícolas, se puede utilizar para determinar planes óptimos de cultivos sobre la base de niveles determinados de recursos (Bueno, 1988).

Un modelo de programación lineal, esto es, la optimización de una función lineal sujeta a restricciones lineales puede llegar a considerarse sencillo en su estructura matemática, pero es muy poderoso en su adaptabilidad a un amplio rango de aplicaciones. En el modelo de programación lineal los términos clave son los recursos y las actividades o variables. Existen distintos tipos de recursos que una misma actividad puede ocupar, algunos ejemplos son capital, maquinaria, equipo, tierra, agua y mano de obra. Las actividades incluyen la inversión en proyectos específicos, tales como cultivos alternativos, contratación

y adquisición de recursos, industrialización, entre otros. Cada modelo es adaptado para representar la asignación óptima del agua y de otros recursos, así como para maximizar las ganancias, sujeto a un conjunto de restricciones sobre la disponibilidad de recursos (Young, 1996. Citado por Florencio, 2000).

En este sentido, una alternativa de solución al problema de determinar la superficie regable y el patrón de cultivos que maximizan los ingresos netos de los productores de un distrito de riego, puede ser el uso de la programación lineal.

El problema primal de programación lineal puede ayudar a un agricultor para decidir cuáles de sus actividades agrícolas seleccionar, y qué cantidad de cada una producir si desea maximizar su margen bruto total. Nuevos incrementos en el margen bruto total sólo son posibles si el agricultor puede adquirir unidades adicionales de los recursos fijos. Esto plantea una pregunta importante ¿cuánto debe el agricultor estar dispuesto a pagar para alquilar una unidad adicional de cada recurso? claramente que se quiere evitar pagar demasiado ya que entonces perderían dinero. Por el otro, si subvalora los recursos podría conducirlo a alquilar menos recursos de lo que puede utilizar provechosamente. Si las unidades adicionales de los recursos fijos se utilizan de tal forma que se maximicen las ganancias, entonces no debe ser un valor único de alquiler que se puede asignar a cada recurso. De la teoría económica, sabemos que este valor es el valor del producto marginal. En la literatura de programación lineal, estos valores se denominan **precios sombra** (Hazell y Norton, 1986).

3.1.1 Supuestos de la programación lineal.

De acuerdo con Hazell y Norton (1986), en un modelo de programación lineal están implícitos una serie de supuestos sobre la naturaleza del proceso de producción, los recursos y las actividades; estos supuestos son:

- 1. Optimización.** En este supuesto se asume que una función objetivo siempre va a ser maximizada o minimizada.
- 2. Fijeza.** Por lo menos una de las restricciones tiene un valor distinto de cero en los coeficientes del lado derecho.

3. **Finitud.** Se supone que solo hay un número finito de las actividades y restricciones a considerar y de donde se seleccionará la solución óptima.
4. **Determinismo.** Todos los coeficientes del modelo (precios, actividades y restricciones) son constantes conocidas.
5. **Continuidad.** Se supone que los recursos que se pueden utilizar y las actividades producidas pueden ser unidades fraccionarias.
6. **Homogeneidad.** Todas las unidades de un mismo recurso o actividad son idénticos.
7. **Aditividad.** Señala que la cantidad total de recursos usados en todos los procesos es igual a la suma de los recursos usados en cada proceso.
8. **Proporcionalidad.** El margen bruto y las necesidades de recursos por unidad de actividad se asume como una constante, independientemente del nivel de la actividad. Un margen bruto constante por unidad de actividad supone una curva de demanda perfectamente elástica para el producto, y los suministros de cualquier insumos variables que se pueden utilizar.

3.2 Técnicas de modelación en finca

Los problemas de planificación en la producción agrícola son mucho más complejos de lo que parecieran. Los agricultores no sólo producen diferentes cultivos y productos pecuarios, por lo general también tienen que escoger entre una variedad de maneras de producirlas. Por ejemplo, la producción de cultivos puede incluir las opciones sobre las variedades, fechas de siembra, fertilizantes y tratamientos fitosanitarios, y el tipo de mecanización, en su caso, utilizados para las diversas labores en los cultivos. Los recursos fijos, tales como la tierra y el trabajo pueden ser de diferentes calidades, parte de la tierra puede ser de dos tipos de riego (gravedad o de pozo) mientras que otras solo se pueden utilizar de temporal y con cultivos menos productivos. Algunos trabajadores pueden estar más capacitados que otros, y tienen menos restricciones en el rango de tareas que puede realizar. El agricultor puede tener opciones para aumentar su oferta

de recursos. Estas podrían incluir la renta de la tierra, la contratación de trabajadores temporales o de día, o invertir en nuevas máquinas, edificios, etc. Por otra parte, las opciones de producción de un agricultor pueden estar restringidas por la necesidad de observar las buenas prácticas de cría, como la rotación de cultivos, o por su deseo de evitar riesgos innecesarios. La programación lineal ha demostrado ser una herramienta muy flexible para el modelado de estos y otros tipos de complejidades. Sin embargo, todo el poder del enfoque depende del conocimiento de una serie de técnicas de modelización que a continuación se comentan (Hazell y Norton, 1986).

3.2.1 Elección de los métodos de producción.

Un modelo de finca puede incluir una amplia gama de actividades de producción que representan no sólo los diferentes cultivos o productos animales, sino también las diferentes maneras de producirlas. Algunas de estas diferencias en las tecnologías alternativas, se define en el sentido de que las relaciones de insumo-producto en una función de producción, para el cultivo o animal, son diferentes para cada método utilizado. Estas opciones pueden incluir diversas variedades de cultivos y razas de animales, o riego en comparación con los cultivos de temporal. Este tipo de decisiones se incorporan en un modelo de programación lineal mediante el tratamiento de cada tecnología alternativa como si fuera un tipo diferente de cultivo. Así por ejemplo, la respuesta del rendimiento del maíz al nitrógeno va a depender de si este cultivo es de temporal o de riego y cada uno de ellos va a representar una función de producción diferente y por tanto, en el modelo se considerará como si fueran dos cultivos diferentes.

3.2.2 Factor de sustitución.

Suponiendo que un agricultor puede elegir entre escardar su maíz a mano o con la ayuda de una yunta. El uso de la yunta reduce la necesidad de mano de obra total por hectárea pero aumenta la necesidad total de mulas. Es evidente que las mulas y el trabajo son sustitutos parciales en esta formulación, y la elección de la técnica en una solución óptima dependerá de los costos relativos de las mulas y el trabajo; entonces en un modelo de programación estas dos técnicas

alternativas se van a registrar como factores de producción distintos aun cuando se les pueda utilizar para el mismo fin.

3.2.3 Insumo/Producto relaciones de respuesta.

Frecuentemente es necesario modelar la relación entre el rendimiento o la productividad de un cultivo o animal y la tasa de aplicación de un insumo. Por ejemplo la respuesta del rendimiento de maíz a la tasa de aplicación de nitrógeno, la respuesta del rendimiento de un cultivo al trabajo de deshierbe, aplicación de plaguicidas, o el agua de riego, y la relación entre la producción de leche de una vaca y su consumo de concentrados. Al incluir estas relaciones en modelos de finca, tanto a nivel de la actividad productiva (hectáreas de maíz) y el insumo (nitrógeno por hectárea) determinadas conjuntamente se aumenta considerablemente la capacidad de un modelo realista para ajustarse a los cambios en los precios relativos.

3.2.4 Diferencias en la calidad de los recursos.

Las diferencias en la calidad de los recursos se pueden incorporar en los modelos de programación lineal mediante el tratamiento de cada calidad de los recursos como un recurso diferente con su propio conjunto de requisitos de actividad y de restricciones. Por ejemplo, si una finca tiene áreas de riego y de temporal, entonces en el modelo se va a diferenciar la tierra de esa manera; las actividades de cultivo también tienen que ser diferenciadas de acuerdo con si son de riego o temporal ya que esto puede dar diferencias en los rendimientos y los requisitos de otros recursos. Las diferencias en las competencias laborales también son comúnmente reconocidas en los modelos de explotación, porque no todos los trabajadores son igualmente capaces de realizar algunas tareas. Por ejemplo, sólo algunos de los trabajadores pueden tener habilidades de manejo del tractor, entonces los trabajadores con este tipo de características los vamos a considerar en los meses en que de acuerdo con el calendario de actividades del cultivo se necesite utilizar un tractor. Actividades de transferencia de este tipo son muy útiles en la construcción de modelos de finca.

3.2.5 Estacionalidad.

La mayoría de las actividades de cultivo son de temporada y se limitan a los períodos del año cuando la temperatura y la humedad son propicias para el crecimiento de las plantas. En temporadas de cultivo, las labores del cultivo también se realizan en un período relativamente corto de tiempo (la siembra se realiza generalmente en uno o dos días dentro de un campo para que el cultivo crezca y madure uniformemente). Estas características le dan a la agricultura un patrón estacional en el uso de los recursos, y de las disponibilidades de tierra, trabajo y otros factores fijos. Lo recomendable en la modelación es que se haga una distribución mensual de las necesidades de los recursos (mano de obra, agua, maquinaria) para cada uno de los cultivos. La estacionalidad en el uso de los recursos es fácil de incorporar en un modelo de programación lineal mediante la adición de más filas, el problema es idéntico al tratamiento de las diferencias de calidad de los factores.

Es importante incluir también en las opciones del modelo que el agricultor ha de reducir los cuellos de botella estacionales en el uso de recursos. Una de estas opciones para el agricultor es escalonar las fechas de siembra de sus cultivos y / o suavizar sus exigencias salariales totales mensuales. Limitaciones mensuales durante los momentos más intensos del año suelen ser muy realista, en parte porque los agricultores suelen tener una cierta flexibilidad en la programación de las fechas para cada cultivo y la explotación, y también porque un cuello de botella muy temporal a menudo se puede superar mediante el trabajo más duro o más horas. Si las restricciones diarias o semanales se definen en un modelo, entonces es imperativo incluir todas las opciones abiertas a los agricultores en el cumplimiento de los cuellos de botella temporal, de lo contrario la solución del modelo puede ser poco realista, ya que es excesivamente limitado.

3.2.6 Opciones de Compra venta.

Muchos de los recursos disponibles de los agricultores no son estrictamente fijos, ya que pueden ser complementados mediante la contratación o el alquiler de unidades adicionales. Si la oferta fija de mano de obra familiar es fundamental,

por ejemplo, el agricultor puede contratar trabajadores adicionales. De modo similar, el área de tierras de propiedad podría complementarse con la renta de tierras adicionales. Este tipo de opciones se han incorporado en los modelos de programación lineal a través de actividades de compra. Estas actividades suelen tener una entrada negativa en los modelos de la función objetivo que representa el salario o paga de alquiler, y una entrada de -1 en la fila de los recursos pertinentes. La entrada -1 indica el suministro de una unidad adicional del recurso, es equivalente a añadir una unidad a la parte derecha de esa fila. La contrapartida de una actividad de compra es una actividad de venta. Si un agricultor tiene más tierra de la que en forma rentable puede usar, puede ser capaz de alquilar o ceder esta tierra. De modo similar, puede estar dispuesto a trabajar en otras granjas si no hay trabajo suficiente en su propia explotación, o de alquilar su mula o el tractor de forma temporal. Actividades de venta se pueden incluir en un modelo para reflejar estas opciones que por lo general tienen una entrada positiva en la función objetivo que representa la renta o el salario recibido, y un coeficiente de +1 en la fila de los recursos pertinentes.

3.2.7 Rotación de cultivos.

Las rotaciones de cultivo pueden ser importantes para control de plagas y enfermedades y para mantener la fertilidad del suelo. Hay dos posibles formas de aplicar una rotación de cultivos. Un método consiste en plantar la finca entera con un solo cultivo al año, pero este enfoque no se practica comúnmente, particularmente donde las máquinas o equipos especiales son necesarios para cada cultivo, o donde el ganado están involucrados en la rotación. También es un enfoque de riesgo, pues los agricultores dependen por completo de la producción y el precio de una sola cosecha al año. El segundo enfoque consiste en dividir la finca en partes aproximadamente iguales, y rotar los cultivos dentro de cada parte, de tal manera que la superficie total de cada cultivo producido en la granja es casi constante cada año. Esta es la práctica seguida por la mayoría de los agricultores que adoptan una rotación.

Los modelos de programación lineal se adecuan más a la simulación de este último enfoque, porque la solución del modelo proporciona el modelo de cultivo de un solo año. Sin embargo, siempre es posible interpretar una solución como la media del patrón de cultivos a ser practicado durante muchos años. Esto es menos satisfactorio, ya que es necesario asumir que la solución sigue siendo óptima por muchos años. La técnica para la incorporación de rotación de cultivos en los modelos de programación lineal es relativamente sencilla. Además de la rotación muchas empresas agrícolas producen más de un producto. Por ejemplo, los cereales proporcionan paja, así como granos, que pueden ser valiosos para la alimentación del ganado o ropa de cama. Las vacas lecheras producen terneros y el estiércol, en relación con la leche, y después de su jubilación, la carne también. En algunos casos, dos o más cultivos pueden crecer juntos intercalados, a menudo con efectos beneficiosos en el rendimiento y tolerancia a la sequía. Conjunto de relaciones de este tipo puede ser modelada en la programación lineal mediante la incorporación de actividades de interior y que, utilizando la misma cantidad de recursos, producen dos o más salidas en proporciones fijas.

3.2.8 Productos intermedios.

No todos los productos agrícolas son producidos para la venta o el consumo familiar. Algunas, como las semillas, forraje, y los terneros, se obtienen como productos intermedios que se utilizan en las actividades de producción adicional en la granja. Estos productos deben ser incluidos en un modelo de explotación buscando asegurar un equilibrio adecuado entre su oferta y se demanda. La semilla de maíz por ejemplo, exige que el importe total de las semillas compradas o retenidas de la producción propia deba superar como mínimo el importe total de la venta del maíz o su uso para las semillas.

3.2.9 Crédito y limitaciones del flujo de fondos.

El capital disponible para financiar la compra de semillas, fertilizantes, mano de obra contratada, y otros insumos directos puede ser una limitación importante para el plan agrícola. Algún capital disponible para invertir en la granja pueden

ser los propios ahorros familiares, pero con frecuencia esto se puede complementar con préstamos. La forma más sencilla de introducir capital de trabajo en un modelo de explotación consiste en añadir una limitación anual de capital de trabajo. Si el dinero invertido se está pidiendo prestado entonces se agrega una tasa de interés y este capital entra como $-(1+i)$.

3.3 Estructura del modelo de programación lineal

Para elaborar un modelo de programación lineal se deben considerar sus variables, su función objetivo, sus coeficientes y sus restricciones.

3.3.1 Variables del modelo

En un modelo de programación lineal se observan tres tipos de variables: las de decisión, las de holgura y las ficticias (Valdovinos 1995).

Las variables de decisión son las que identifican las actividades reales y alternativas a realizar, y en términos generales los fines alternativos entre los cuales se distribuirán los recursos escasos.

Las variables de holgura se utilizan para compensar el desajuste entre requerimientos y disponibilidad de los recursos en las restricciones. De acuerdo al problema de optimización las variables de holgura pueden ser variables déficit cuando corresponde a un problema de maximización o variables exceso cuando corresponden a un problema de minimización.

Las variables ficticias se usan para los casos en que no se cuenta con una solución básica factible inicial.

3.3.2 Función objetivo

En el modelo de programación lineal la función objetivo, minimizar o maximizar se expresa por medio de una ecuación lineal explícita:

$$Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j$$

Donde:

$X_1, X_2, \dots, X_m$, son las variables desconocidas y corresponden a las actividades en el modelo.

$C_1, C_2, \dots, C_m$, son los coeficientes conocidos y corresponden a los precios netos de cada actividad.

Z es el valor de la función objetivo.

3.3.3 Restricciones del modelo

La función objetivo está sujeta a la disponibilidad de recursos. Estas restricciones se representan por medio de un conjunto de inecuaciones lineales simultáneas. Las restricciones del modelo se agrupan en dos conjuntos las funcionales y las de no negatividad y toman la forma siguiente:

No negatividad $x_j \geq 0$

Funcional ($\leq$) $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i$

Funcional ($=$) $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i$

Funcional ($\geq$) $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i$

Donde:

a_{ij} Es la cantidad del recurso i consumida por cada unidad de actividad j y corresponden a los coeficientes de insumo producto.

b_i Es la cantidad disponible del recurso i para ser empleado en las actividades, es el valor que toman las restricciones.

Cuando la función objetivo corresponde a un máximo, las restricciones se expresan en forma de sistema indeterminado de desigualdad ($\leq$) que especifican la cantidad fija mayor que se puede usar de los recursos disponibles; estas restricciones marcan el máximo que se puede usar del recurso.

Cuando la función objetivo corresponde a un mínimo, las restricciones se expresan en un sistema indeterminado de desigualdad ($\geq$), que especifica el mínimo para cumplir con las necesidades de la función objetivo.

En las restricciones de no negatividad se especifica que la solución optima para el sistema de inecuaciones lineales debe ser positiva ($x_j \geq 0$).

3.3.4 Coeficientes del modelo

Los coeficientes especifican la medida en que se ve influenciada la magnitud de una restricción por el incremento de una unidad de cada actividad en el modelo. En otras palabras el coeficiente refleja la demanda que una cantidad de actividad provoca en el recurso, representado por la fila en la cual aparece el coeficiente (Beneke, 1984).

3.3.5 El problema primal y el dual

Uno de los descubrimientos más importantes al principio del desarrollo de la programación lineal fue el concepto de dualidad; la dualidad indica que asociado con un problema primal existe siempre un problema dual y que estos dos problemas poseen varias características que los relacionan. Una de ellas es que

uno de los problemas tiene solución óptima si y solo si el otro también la tiene, y en ese caso ambos óptimos son iguales.

El disponer de las soluciones tanto del programa original como de su dual da un mayor grado de flexibilidad en la toma de decisiones. Además de saber la forma de lograr la máxima utilidad con los recursos disponibles, se puede saber también como incrementar esas utilidades adquiriendo más unidades de ciertos recursos. Este análisis revela también que tanto afecta a la solución final un cambio en los datos.

Así para cada problema de maximización (primal) existe un problema de minimización asociado llamado dual y viceversa. Por tanto, dado un problema primal:

$$\text{Max} \quad Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{Sujeto a} \quad \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \text{ para todo } i=1, 2, 3, \dots, n$$

$$\text{Con} \quad x_j \geq 0 \text{ para todo } j=1, 2, 3, \dots, n$$

El problema dual relacionado sería:

$$\text{Min} \quad W = \sum_{i=1}^m b_i y_i$$

$$\text{Sujeto a} \quad \sum_{i=1}^m a_{ij} y_i \geq c_j, \text{ para } j=1, 2, 3, \dots, n$$

$$\text{Con} \quad y_i \geq 0, \text{ para } i=1, 2, 3, \dots, m$$

Los pasos que se deben tomar en cuenta para formular un problema dual a partir de un problema primal son:

- 1) Se invierte la dirección de la optimización. La maximización en el problema primal se convierte en minimización en el dual y viceversa.
- 2) Los signos de desigualdad de las restricciones técnicas se invierten; pero la restricción de no negatividad sobre las variables de decisión, se mantiene siempre.
- 3) Las hileras (renglones) de la matriz de coeficientes de las restricciones en el problema primal se transponen en columnas para la matriz de coeficientes de restricciones en el dual.
- 4) El vector de hileras de coeficientes en la función objetivo del primal se transpone a un vector de columna sobre el valor de las restricciones del dual.
- 5) El vector columna del valor de las restricciones del primal se transpone a un vector de hilera de coeficientes para la función objetivo del dual.
- 6) Las variables de decisión del primal se reemplazan con variables de decisión del dual.

En forma algebraica desarrollada, la transformación del primal al dual se expresa de la siguiente forma:

Primal

$$\text{Max.} \quad Z = \sum_{j=1}^n C_j X_j = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n$$

Sujeto a las restricciones:

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

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

$$\cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot$$

$$\begin{array}{cccc} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{array}$$

$$a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \dots + a_{kn}x_n \leq b_k$$

Condición de no negatividad:

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

Dual

$$\text{Min. } Z = \sum_{j=1}^n b_j y_j = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_n y_n$$

Sujeto a las restricciones:

$$a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \dots + a_{1n}y_n \leq c_1$$

$$a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{2n}y_n \leq c_2$$

$$\begin{array}{cccc} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{array}$$

$$a_{k1}y_1 + a_{k2}y_2 + \dots + a_{kn}y_n \leq c_k$$

Condición de no negatividad:

$$y_1, y_2, \dots, y_n \geq 0$$

Existen dos teoremas que sustentan la dualidad en la programación lineal y que son de gran importancia, estos indican que:

Teorema I. La condición necesaria y suficiente para que exista solución óptima del primal (x^*), es que exista una solución óptima para el dual (λ^*); de tal forma que, el valor de la función objetivo de ambos programas sea igual, es decir $c^T x^* =$

λ^*b . En otras palabras, el valor óptimo de la función objetivo del primal es siempre igual al valor de la función objetivo del dual, a condición de que exista una solución óptima factible.

Teorema II. Si en la solución óptima una variable de decisión en el programa primal tiene un valor distinto de cero, entonces la variable de holgura correspondiente en el programa dual tendrá un valor igual a cero y si una variable de holgura del primal es cero, la correspondiente variable de decisión del dual tendrá un valor distinto de cero (Hazell y Norton, 1986).

3.3.6 Interpretación económica del dual

En la programación lineal va implícito el problema de la valorización de los recursos que la empresa emplea para la producción. La importancia de esta consideración radica en que se amplían las áreas de contacto entre la programación lineal y el análisis económico, al mostrar que el problema de la asignación se encuentra íntimamente ligado con la valorización de los recursos. Al plantear y resolver el modelo de programación lineal, con un conjunto de recursos que generan los máximos ingresos netos a que se puede aspirar, y después volver a plantearlo con la misma serie de recursos, excepto que la cantidad de uno de ellos se ha disminuido en una unidad, se podrá ver que en el segundo caso se obtendrán ingresos menores que en el primero. Esta disminución del ingreso neto, es el valor del producto marginal del recurso cuya cantidad ha sido reducida. De esta forma el fin primordial del problema dual, consiste en encontrar los valores unitarios de los recursos, bajo la condición de que el ingreso neto total, sea igual a la suma de los ingresos netos correspondientes a las actividades empleadas.

Las variables “y” expresan el valor del producto marginal, para cada recurso, o sea el incremento de una unidad adicional de recurso; por lo tanto la incógnita “y” representa a el precio sombra de los recursos, precio que refleja los valores de sus productos marginales. Así; en un problema de producción, el primal maximiza el ingreso neto y su correspondiente dual el costo total imputado al uso

de los recursos en el proceso de producción; las variables del primero es el nivel de las actividades y del dual el valor imputado a una unidad de insumo de tal forma, que cada uno de los elementos tales como los coeficientes de la función, los coeficientes técnicos y los recursos tienen siempre su contraparte en el dual.

El problema primal de programación lineal siempre satisface el teorema de Euler que dice que el valor de la producción debe ser igual a la suma de los valores de todos los insumos, cuando los insumos se valoran a su costo de oportunidad verdadera; De ello se deduce que si los recursos fijos se valoran a su valor del producto marginal (o su precio sombra), el valor total de la renta asignada a las entradas de la granja exactamente debe agotar la producción total (margen bruto). Dando la solución óptima tanto para el problema primal como para el dual (Hazell y Norton, 1986).

Cuadro 1. Interpretación del primal y del dual.

	Primal	Dual
Función objetivo	Maximiza el ingreso neto sobre costos variables generados por la combinación de actividades.	Minimiza el costo total imputado al uso de los recursos disponibles en el proceso productivo.
Variables de elección	Nivel en que deben llevarse a cabo las actividades ó solución optima del modelo.	El valor imputado a una unidad de cada insumo ó solución óptima del modelo.
Coeficientes de la función objetivo	Utilidad que genera una unidad de actividad	Disponibilidad u oferta de insumos o restricciones
Coeficientes de recursos	Cantidad requerida de cada recurso para generar una unidad de actividad	Cantidad del costo total de una unidad de recurso que es imputable al precio de la actividad.
Coeficientes técnicos de las restricciones	Disponibilidad u oferta de los recursos disponibles	Utilidad que genera una unidad de actividad en términos monetarios

Fuente: Notas de modelos de programación lineal. García Salazar J.A. (2006)

En resumen; debido a que las restricciones del problema primal considera como restricciones a la disponibilidad de recursos, el problema dual es utilizado para imputar un valor (precio sombra) a dichos recursos, cuando hay escasez. Si el nivel de requerimiento de una restricción estuvo satisfecho, entonces se le imputa un valor mayor a cero a esta restricción, representando con esto que es un recurso escaso. Por el contrario, si en la restricción hubo sobrante o faltante, entonces se le imputa un valor igual a cero a esta restricción, representando con esto un recurso abundante.

El valor que toma el precio sombra está en función del precio neto de la actividad en el modelo. Así; precios netos más altos llevarán a un precio sombra mayor, dado que el agua será escasa para fines alternativos más rentables (Zetina E., 2010).

4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El ejido de San Simón se encuentra en el área conurbada del estado de Texcoco, en este apartado analizaremos la ubicación y características de este municipio. Dichas características incluyen al ejido donde se lleva a cabo el estudio.

4.1 Ubicación

El municipio de Texcoco se localiza en la porción oriente del Estado de México a 26 kilómetros del distrito federal y colinda al norte con los municipios de Atenco, Chiconcuac, Chiautla, Tepetlaoxtoc, y Papalotla; al sur con los municipios de Netzahualcóyotl, Chimalhuacán, Ixtapaluca, y Chicoloapan; al oriente con el Estado de Puebla, y al poniente con el municipio de Netzahualcóyotl.

Sus coordenadas geográficas extremas son las siguientes:

Al norte 19° 34´,

Al sur 19° 22´ de latitud norte,

Al este 98° 38´,

Al poniente 98° 56´ de longitud poniente.

Cuenta con una superficie de 41 869.41 ha, se encuentra organizado política y administrativamente por la cabecera municipal denominada Texcoco de Mora y 56 localidades urbanas más, entre las que destacan Texcoco, San Miguel Coatlinchán y Santiago Cuautlalpan.

Figura 1. Ubicación del municipio de Texcoco.



Fuente: [www.monografias del Estado de México.com](http://www.monografiasdelEstadodeMexico.com)

4.2 Población

De acuerdo con INEGI para el 2005 en Texcoco se registró una población de 209,308 habitantes de los cuales el 49.4% son hombres y el restante 50.6% mujeres. La Población Económicamente Activa (PEA) es de 144,754 habitantes, que respecto a la población total representa el 69%. La rama de actividades más importante es el sector servicios (terciario) que ocupa el 61.42% de la PEA; en segundo lugar el sector industrial (secundario) con el 27.19% de la PEA y en las actividades agropecuarias solo se encuentra el 6.8% de la PEA.

4.3 Clima

Presenta 5 tipos climáticos (de acuerdo con la clasificación de García, 1978): en las zonas más bajas templado semiseco, en áreas planas y lomeríos templados subhúmedos y en la región montañosa un semifrío subhúmedo. Los fenómenos meteorológicos que más afectan el territorio son las heladas y granizadas con una frecuencia que va de 40 a 120 días al año.

4.4 Orografía

El distrito se localiza dentro de la subprovincia de lagos y volcanes del Anáhuac, la cual pertenece a la provincia del eje neovolcánico. Esta subprovincia se caracteriza por presentar grandes sierras volcánicas que se alternan con los vasos lacustres de Texcoco, Chalco, Xochimilco y Zumpango; colinda al norte con los municipios de Atenco, Chiconcuac, Papalotla y Tepetlaoxtoc; al sur con Chimalhuacán, San Vicente Chicoloapan e Ixtapaluca, al oriente con el estado de Puebla y al poniente con los municipios de Netzahualcóyotl y Ecatepec. La región donde se ubica el municipio de Texcoco muestra una orografía muy accidentada compuesta por sierra (36% de la sup.) zona de lomeríos (26%) llanura (22%) y planicie lacustre (16%).

4.5 Hidrología

Los recursos hidrológicos con que cuenta el municipio comprenden manantiales, aguas superficiales y del subsuelo, las corrientes superficiales corresponden a los ríos Jalapango, Coatscacolaco, Texcoco, Chapingo, San Bernardino y Coatlinchan. Los cuerpos de aguas superficiales son treinta y tres y ocupan una extensión de 246.4 ha. Las aguas subterráneas se obtienen mediante 437 pozos con una producción media de 25 lt/seg y profundidades que varían de 80 a 190 m.; el distrito cuenta con una hidrología superficial con 88, 992, 000 m³ disponibles, de los cuales se utilizan 87, 527, 000 m³, a la producción agrícola se destinan 83, 693,000 m³ y a la pecuaria 29, 300 m³. Cuenta con una hidrología subterránea de 1,796 pozos con un volumen anual extraído de 412,426,000 m³, de los cuales se utilizan 104,852,000 m³ para uso agrícola y 1,437,000 m³ para uso pecuario.

4.6 Edafología

En la planicie lacustre se presentan suelos salino sódicos, en la llanura en general se localizan los mejores suelos; en los lomeríos, los suelos son someros (de 10 a 50 cm.) y es frecuentemente la floración de tepetates. En la sierra los suelos son profundos y sus limitaciones para el uso agrícola son sus pronunciadas pendientes y el consecuente riesgo de erosión. Las texturas dominantes en la planicie y llanura son las finas (arcillosas) y en los lomeríos y sierra son los de textura media.

4.7 Vegetación y uso del suelo

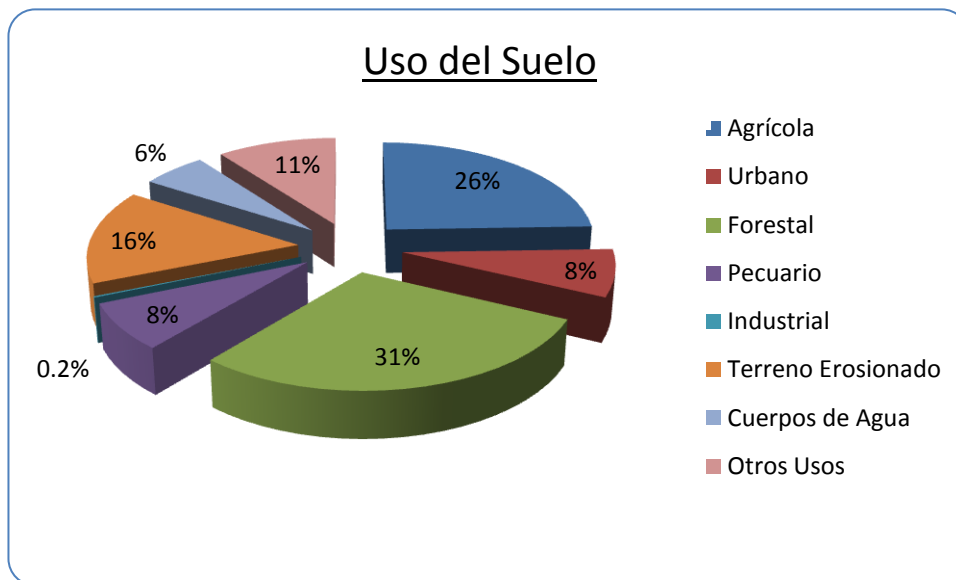
El municipio de Texcoco abarca 11 tipos distintos de vegetación que incluyen: bosques de oyamel, pino encino, bosque cultivado, matorral, pastizal inducido, pastizal halófilo, vegetación halófila y pradera de alta montaña.

Su distribución y su uso actual es la siguiente: en la planicie lacustre domina el pastizal halófilo (80%) y en sus orillas colindando con la llanura, pequeñas áreas agrícolas tanto de temporal como de riego; en la llanura en un 80% la agricultura es de riego y en un 20% de temporal; en los lomeríos la agricultura de temporal ocupa un 60%, los bosques (reforestados y naturales) un 20%, los pastizales inducidos un 15% y junto con matorrales y una pequeña área de riego el 5% restante, en la sierra un 85% corresponde a bosques, un 10% a pastizales inducidos y un 5% a praderas de alta montaña (Ortiz Solorio Carlos, 2006).

La superficie total del municipio es de 418.69 km² (1.95%/Mex), dentro de las cuales la agricultura Texcocana se realiza en aproximadamente 11, 000 ha, en donde el 38% es de riego y el restante de temporal; la ganadería se destina 3347 ha y 13556 son forestales, siendo esta de mayor magnitud; sumando un total de 65% del territorio municipal; en cuanto al uso urbano se destinan 3400ha que equivalen al 8% de la superficie de Texcoco; 90.8 ha de uso industrial, 7023.4 ha

de terrenos erosionados en el pie de monte y la sierra, 25.4 ha de cuerpos de agua y 4598 de otros usos (Plan Municipal de Desarrollo, 2006-2009).

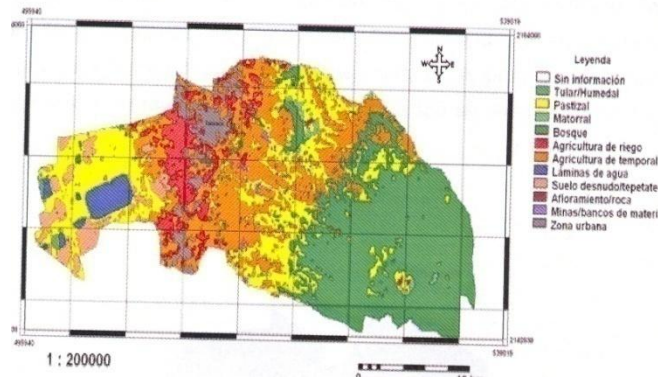
Figura 2. Uso del suelo



Fuente: Tesis. Cambio del uso de tierra agrícola ante la urbanización en el municipio de Texcoco. De la O Nava J. (2008).

El sector agrícola y forestal representan poco más del 50% de la superficie del municipio; para el caso del sector agrícola, gran parte de la agricultura que se encuentra bajo el sistema de riego, se concentra en la parte céntrica, donde se tiene acceso a la mayoría de los servicios, este sector privilegiado solo representa el 38% de la agricultura, en cambio el resto se encuentra disperso dentro del territorio de Texcoco, a expensas de las condiciones del medio ambiente.

Figura 3. Ocupación en el año 2000; Municipio de Texcoco

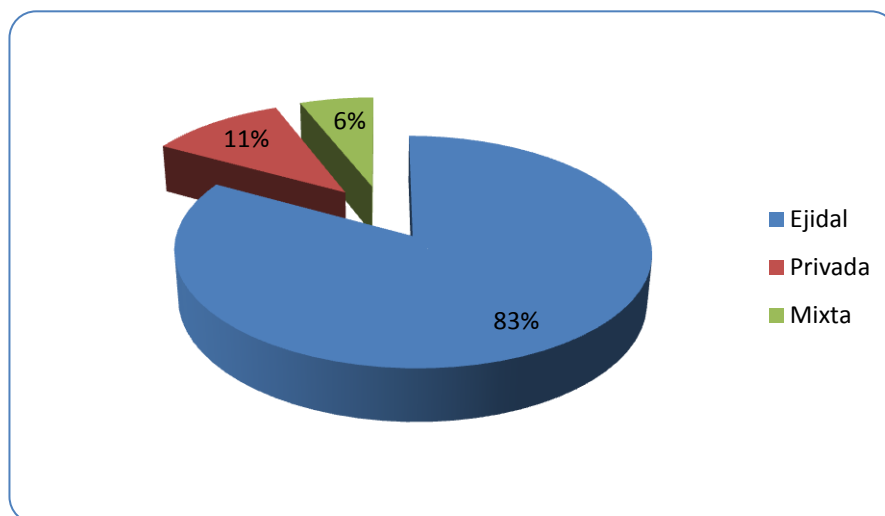


Fuente: Tesis. Cambio del uso de tierra agrícola ante la urbanización en el municipio de Texcoco. De la O Nava J. (2008).

4.8 Tenencia de la tierra

En Texcoco como en la mayor parte del país las tierras de la propiedad social, ejidales y comunales se encuentran en gran proporción en condiciones ambientales menos favorables para la agricultura, en cambio las propiedades privadas se ubican en los terrenos planos y profundos de la zona urbano rural, vecina a las poblaciones importantes del municipio donde la infraestructura urbana ha crecido y que además es la que tiene mayor posibilidades de cambiar de uso agrícola a urbano. Texcoco cuenta con 5,974 unidades de producción agropecuaria (UPA), en donde la propiedad privada integra 685 del total de las unidades de producción, a diferencia de los de propiedad ejidal que representan 4,933 y 356 se destinan a la propiedad mixta.

Figura 4. Tenencia de la tierra

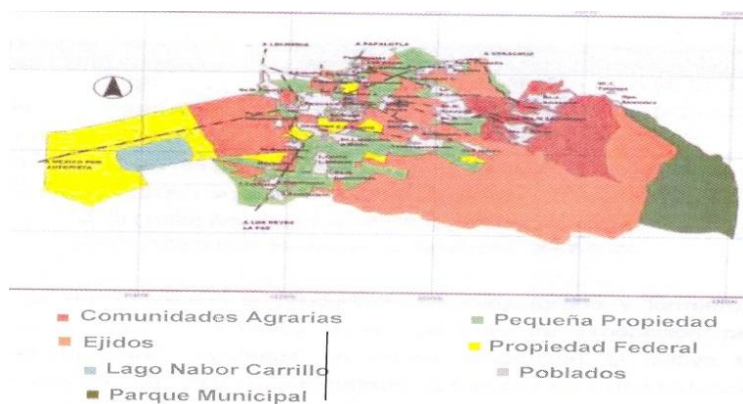


Fuente: Tesis. Cambio del uso de tierra agrícola ante la urbanización en el municipio de Texcoco. De la O Nava J. (2008).

En los terrenos ejidales, a pesar de que la organización social, sobre todo en la montaña y en la zona a pie de monte, han impedido que el crecimiento urbano del municipio sea mucho más dinámico, con todo y sus expresiones públicas abiertas en contra de la venta de tierras, establecimiento de cooperaciones civiles y religiosas, negando servicios, multas muy elevadas, faenas o trabajo comunitario, el crecimiento urbano se compensa en las tierras ejidales de las dos planicies.

Sin embargo en la lacustre es donde se han incrementado en mayor proporción los asentamientos irregulares mientras mayor cantidad de tierras ejidales dedicadas a la actividad agropecuaria se concentra en la zona urbana rural, el grueso de los terrenos comunales dedicados a la actividad agropecuaria se concentra en la zona serrana, en condiciones ambientales mucho más restrictivas.

Figura 5. Tenencia de la tierra



Fuente: Tesis. Cambio del uso de tierra agrícola ante la urbanización en el municipio de Texcoco. De la O Nava J. (2008).

4.9 Características agrícolas

La agricultura texcocana ha perdido terreno de manera acelerada frente a las actividades comerciales y de servicios, pasando a ser una actividad secundaria, con agricultores de edades avanzadas, combinando algún tipo de empleo formal o fijo con la agricultura, los campesinos dueños de tierras agrícolas, presionados por la falta de recursos económicos, tienden a vender las tierras para fines habitacionales.

Cuadro 2. Pérdida de suelo agrícola en el Municipio de Texcoco

Superficie Agrícola 1978 (has)	Superficie Agrícola 1999 (has)	Superficie Agrícola 2007 (has)	Dif. Sup. 1999-2007	Dif. Sup. 1978-2007
29,519.49	12,487.56	11,000	1,487.57	9,519.49

Fuente: Tesis. Cambio del uso de tierra agrícola ante la urbanización en el municipio de Texcoco. De la O Nava J. (2008).

Pese a ello se ha mantenido la producción de maíz (grano y forrajero), avena forrajera, trigo y alfalfa, vinculados a las cadenas de producción pecuarias, principalmente de carne, siguiendo en menor proporción el cultivo de frijol, calabacita, tomate de cascara y otras hortalizas, la mayoría de esta producción

se da cerca de la cabecera municipal, en donde los predios son de origen ejidal o privada, los cuales mantienen todavía una distancia en relación a la mancha urbana.

Cuadro 3. Principales cultivos y su superficie sembrada en el Municipio (Ha)

Cultivo	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Maíz grano	3,764.35	3,200.00	3,300.00	3,236.00	3,100.00	2,466.00
Maíz forrajero	2,000.00	1,950.00	1,550.00	850	850	1,150.00
Trigo grano	1,394.00	1,100.00	1,100.00	1,100.00	159.5	47
Alfalfa verde	500	500	660	660	660	660
Frijol	500	500	500	158	116	194
Avena forrajera	478	688	540	1,207.00	1,156.50	2,007.00
Haba grano	300	250	250	254	107	95
Calabacita	55	50	50	80	60	42
Tomate verde	48	50	50	50	27	40
Girasol flor(Gruesa)	45	40	40	25	20	20
TOTAL	9,680.35	8,718.50	8,461.00	8,163.50	7,356.00	7,507.50

Fuente: SIAP-SAGARPA (2010)

En el cuadro anterior se puede ver claramente la perdida de tierras destinadas a la agricultura, ya que del 2003 al 2008 la pérdida fue de 2,172 Has; las cuales en su mayoría son destinadas para el desarrollo urbano.

4.10 Características pecuarias y forestales

Texcoco hasta los años 70 fue una importante cuenca lechera, actualmente se le da mayor prioridad a la ganadería de carne, especialmente la engorda de vacunos; en la zona serrana permanece la ganadería de ovinos y caprinos, alimentándolos con pastos que suceden a las zonas de bosque abiertas al cultivos.

La segunda actividad ganadera en importancia es la porcícola, le sigue la avicultura la cual se compone de la producción de pollos, guajolotes, gansos, patos y hasta codornices, tanto la actividad ganaderas como la porcícola cuentan con la característica de ser de traspatio, por ultimo destacan la cunicultura y la apicultura, las cuales son netamente familiares.

La actividad forestal se practica primordialmente en la zona serrana. A pesar de ser la actividad de mayor magnitud, fundándose en los resultados planteados por Escalona, la superficie forestal ha disminuido desde 1978 a 1994 aproximadamente 19.88%, lo que es equivalente en promedio a 47 ha de la zona boscosa por año. Actualmente continúa la pérdida de hectáreas, debido a la tala clandestina, los incendios forestales, las plagas y las enfermedades, reflejando la ausencia de planes de manejo.

5 METODOLOGÍA Y DATOS UTILIZADOS

Los datos utilizados para la presente investigación se obtuvieron de diferentes fuentes, se realizaron entrevistas al comisariado ejidal del Ejido de San Simón para obtener los datos acerca del costo de producción de los cultivos, de las actividades realizadas y las fechas en que éstas se realizan dentro del proceso de producción; también se le preguntó acerca de los precios y rendimientos de sus cultivos. En una segunda fase se realizó una revisión de estadísticas y documentos generados por instituciones como la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Con los datos obtenidos se diseñó un modelo de programación lineal (MPL) con la técnica de modelación en finca que se describe en el marco teórico. El modelo se resolvió con el programa LINDO que permite resolver problemas tanto de programación lineal como de programación no lineal.

5.1 Actividades del modelo

Las actividades incluidas en el modelo se seleccionaron de acuerdo a su importancia económica y a la superficie sembrada en el ejido durante un periodo de cinco años. Estos cultivos fueron divididos por ciclos agrícolas de acuerdo a la disponibilidad de agua y suelo en cada ciclo, de tal forma que para Otoño-Invierno solamente se consideró a la avena; Para Primavera-Verano los cultivos seleccionados son: La avena, el maíz, la calabacita, el frijol y el girasol, y finalmente dentro de los perenes se encuentra la alfalfa.

Se utilizó lo establecido por las técnicas de modelación en finca para desagregar y diferenciar las varias actividades y tipos de restricciones, dando lo siguiente:

Cuadro 4. Actividades del modelo

Ciclo	Actividades
Otoño - Invierno	Cultivo y cosecha de avena de noviembre
	Cultivo y cosecha de avena de diciembre
	Cultivo y cosecha de avena de enero
Ciclo	Actividades
Primavera-Verano	Cultivo y cosecha de avena de abril
	Cultivo y cosecha de Maíz de febrero
	Cultivo y cosecha de Maíz de marzo
	Cultivo y cosecha de Calabacita de febrero
	Cultivo y cosecha de Calabacita de marzo
	Cultivo y cosecha de frijol de febrero
	Cultivo y cosecha de Girasol de marzo
Ciclo	Actividades
Perenes	Cultivo y cosecha de Alfalfa

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por los productores.

5.2 Restricciones

Uno de los componentes del modelo son las restricciones, el valor (máximo o mínimo) de estas indica una obligación mínima a cumplir o una máxima disponibilidad de recurso y su respectivo aprovechamiento. Las restricciones que conforman este modelo son: la disponibilidad mensual de tierra, agua y mano de obra.

Cuadro 5. Disponibilidad mensual de recursos.

Mes	Tierra(ha)	Agua (mm3)	Mano de obra (jornal)
Enero	94.5	40.59	1,296
Febrero	94.5	40.59	1,296
Marzo	94.5	40.59	1,296
Abril	94.5	40.59	1,296
Mayo	94.5	40.59	1,296
Junio	94.5	40.59	1,296
Julio	94.5	40.59	1,296
Agosto	94.5	40.59	1,296
Septiembre	94.5	40.59	1,296
Octubre	94.5	40.59	1,296
Noviembre	94.5	40.59	1,296
Diciembre	94.5	40.59	1,296

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por los productores.

Tierra

La disponibilidad total de tierra cultivable fue estimada en 94. 5 Hectáreas, esto dado que existe una dotación de tierra de 1.75 hectáreas para cada uno de los 54 ejidatarios.

Agua

Se consideró como agua disponible en el modelo al volumen total extraído y consumido durante el 2009, esta fue alrededor de 40.59 mm^3 por mes.

Mano de obra

Para conocer la disponibilidad de mano de obra en el ejido primeramente se consideró el número total de usuarios. Suponiendo que cada uno de los usuarios trabaje 24 días al mes, es decir 6 días a la semana (4 semanas por mes). Entonces se multiplican los 54 usuarios por 24 y da como resultado una disponibilidad mensual de mano de obra de 1,296 jornales.

5.3 Coeficientes técnicos

Los coeficientes técnicos se obtuvieron para los tres recursos analizados, éstos son tierra, mano de obra y agua. Dichos coeficientes se determinan por mes y por unidades de superficie.

Tierra

El coeficiente técnico para la tierra se definió como una hectárea.

Agua

Los coeficientes de agua corresponden al volumen consumido por cultivo por mes. El volumen de agua consumida varia por cultivo entre 0.6 hasta 2.7 mm^3 por mes.

Mano de obra

Este coeficiente está conformado por el número de jornales necesarios para producir una hectárea de un cultivo determinado. La unidad considerada es un jornal de ocho horas.

5.4 Cálculo de los precios netos

Los precios netos se calcularon en función de los costos de producción de cada cultivo, de los rendimientos y de sus precios de mercado; es decir, se obtienen como resultado de restar el ingreso bruto a los costos totales de producción. El primero se obtiene de multiplicar el rendimiento del cultivo por su precio de mercado, el segundo se obtiene de sumar todos los costos del proceso de producción (preparación del terreno, siembra, fertilización, labores culturales, riego y cosecha).

Cuadro 6. Precios netos por cultivo

Actividad	Rendimiento (Ton-pacas)	Precio (\$)	Ingreso bruto (\$)	Costo de producción (\$)	Ingreso neto (\$)
Cultivo y cosecha de avena de o-i	22.5	650.00	14,625.00	10,199.30	4,425.70
Cultivo y cosecha de avena de p-v	37	595.00	22,015.00	10,199.30	11,815.70
Cultivo y cosecha de Maíz	4.5	2,600.00	11,700.00	10,387.41	1,312.59
Cultivo y cosecha de Calabacita	11	3,550.00	39,050.00	18,755.00	20,295.00
Cultivo y cosecha de fríjol	1.6	8,500.00	13,600.00	5,682.41	7,917.59
Cultivo y cosecha de Girasol	201	325.00	65,325.00	51,404.00	13,921.00
Cultivo y cosecha de Alfalfa	88.5	355.00	31,417.50	12,714.69	18,702.81

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por los productores e información de SIAP-SAGARPA.

5.5 Construcción del modelo base

Una vez obtenida toda la información anteriormente descrita se procedió a formular el modelo de programación lineal, el cual consiste en una función objetivo sujeto a un conjunto de restricciones relacionadas con la disponibilidad de agua, tierra y mano de obra y además restricciones de máximos y mínimos de superficie por cultivo.

El modelo incluye j (1,2,...,J) actividades productivas para el ciclo Otoño-Invierno, k (1,2,...,K) para el ciclo Primavera-Verano y l (1,2,...,L) para cultivos perenes. El

objetivo es maximizar el ingreso neto de los productores y obtener la productividad marginal del agua.

Matemáticamente el modelo de programación lineal quedaría:

$$\text{Max INT} = \sum_{j=1}^J O-I C_j X_j + \sum_{k=1}^K P-V C_k X_k + \sum_{l=1}^L PER C_l X_l$$

Donde:

C_j, C_k, C_l Ingreso neto de las actividades j, k y l
 X_j, X_k y X_l Cantidades óptimas en superficie para cada actividad en el modelo.

La función objetivo está sujeta a:

$$\sum_{j=1}^J O-I a_j X_j + \sum_{k=1}^K P-V a_k X_k + \sum_{l=1}^L PER a_l X_l \leq A_t$$

$$\sum_{j=1}^J O-I b_j X_j + \sum_{k=1}^K P-V b_k X_k + \sum_{l=1}^L PER b_l X_l \leq B_t$$

$$\sum_{j=1}^J O-I d_j X_j + \sum_{k=1}^K P-V d_k X_k + \sum_{l=1}^L PER d_l X_l \leq D_t$$

Donde:

a_j, b_j, d_j Coeficientes de tierra (a), agua (b) y mano de obra (d) para los cultivos de O-I.
 a_k, b_k, d_k Coeficientes de tierra (a), agua (b) y mano de obra (d) para los cultivos de P-V.
 a_l, b_l, d_l Coeficientes de tierra (a), agua (b) y mano de obra (d) para los cultivos de Perenes.
 A_t, B_t, D_t Disponibilidad total mensual de recurso tierra, agua y mano de obra

5.6 Escenarios contruidos

De acuerdo con la información recabada se definió la situación real del patrón de cultivos (modelo real), a partir del cual se formuló el modelo de programación lineal con sus restricciones y se obtuvo un patrón de cultivos que se consideró como el patrón óptimo. A partir de este modelo óptimo (modelo base) se plantearon seis escenarios adicionales, en los cuales se simulaban incrementos y decrementos en el volumen del recurso agua.

La construcción de estos escenarios tiene como finalidad conocer en qué medida la reducción en la disponibilidad de agua o el incremento en la misma impactan sobre el ingreso neto, el patrón de cultivos y el precio sobra del agua. Los escenarios planteados son:

Modelo 1 Aumento en la disponibilidad de agua del 10%

Modelo 2 Aumento en la disponibilidad de agua del 20%

Modelo 3 Aumento en la disponibilidad de agua del 30%

Modelo 4 Disminución en la disponibilidad de agua del 10%

Modelo 5 Disminución en la disponibilidad de agua del 20%

Modelo 6 Disminución en la disponibilidad de agua del 30%

Por un lado, los incrementos en el recurso agua se hacen pensando en la implementación de una tecnología que logre una conducción más eficiente del agua de riego a los cultivos y por otro lado las reducciones en el recurso se hacen pensando que la disponibilidad actual se reduzca debido a la creciente urbanización de la zona que obligará a los productores a transferir un porcentaje del agua actualmente usada en la agricultura para el consumo en el sector domestico e industrial.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de los resultados estos se van a dividir en dos partes, en una primera parte se va analizar el modelo óptimo propuesto sin restricciones de mercado y en una segunda parte se analizará el modelo óptimo con restricciones de mercado.

6.1 Modelo sin restricción de mercado

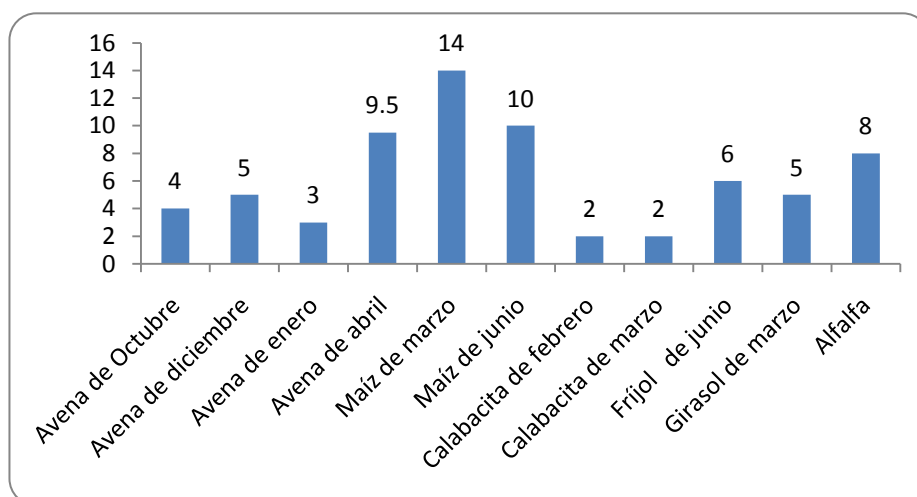
Estos resultados se dividen en cuatro partes, en la primera parte se expondrá la situación del patrón actual de cultivos contra los resultados del modelo base, en una segunda parte se expone el valor de la función objetivo en el modelo base y en cada uno de los escenarios propuestos, en la tercera se analiza el uso de los recursos y finalmente en una cuarta se hace referencia a el valor del producto marginal del agua, que es el objetivo principal de esta investigación.

6.2 Modelo base vs. Situación actual

El modelo base (modelo óptimo) es el modelo con el cual se obtiene el máximo ingreso de acuerdo con la disponibilidad actual de recursos (agua, tierra, mano de obra). En este apartado vamos a comparar el patrón de cultivos propuesto por el modelo base obtenido contra el patrón de cultivos que se tiene actualmente (modelo real).

De acuerdo con lo que se observa en las graficas 1 y 2, los cultivos de maíz, girasol y alfalfa no se encuentran en el modelo óptimo, esto debido principalmente a los bajos precios netos que tienen estos cultivos.

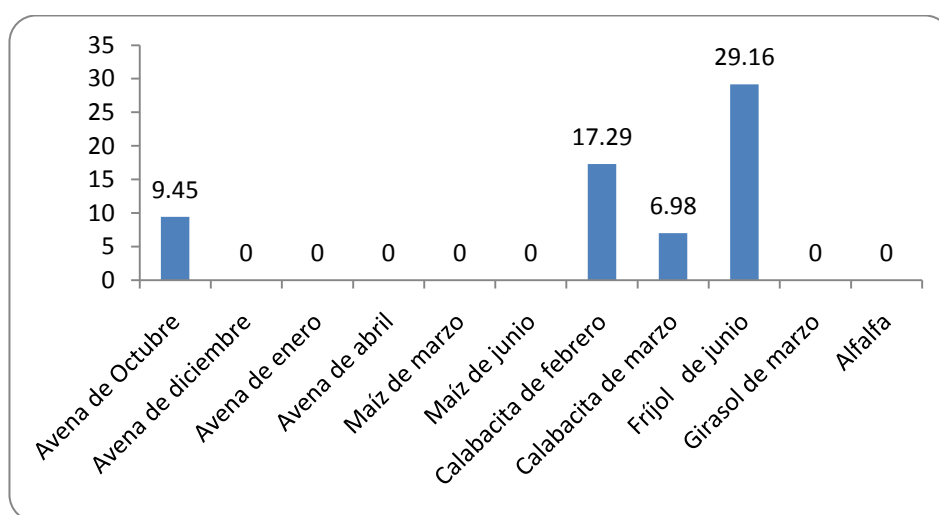
Grafica 1. Patrón de cultivos actual (Has)



Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

Otro de los cambios que se pueden notar en las graficas es que la avena que actualmente se siembra en octubre, diciembre, enero y abril; en el escenario óptimo se propone sembrarla en octubre y solamente 9.5 has. El cultivo de la calabacita por tener un precio neto relativamente alto se propone aumentar sus has sembradas de 5 a 24 has. Solo que en este caso surge un problema de mercado que lo analizaremos a modo de restricción más adelante.

Grafica 2. Patrón de cultivos propuesto (Has)



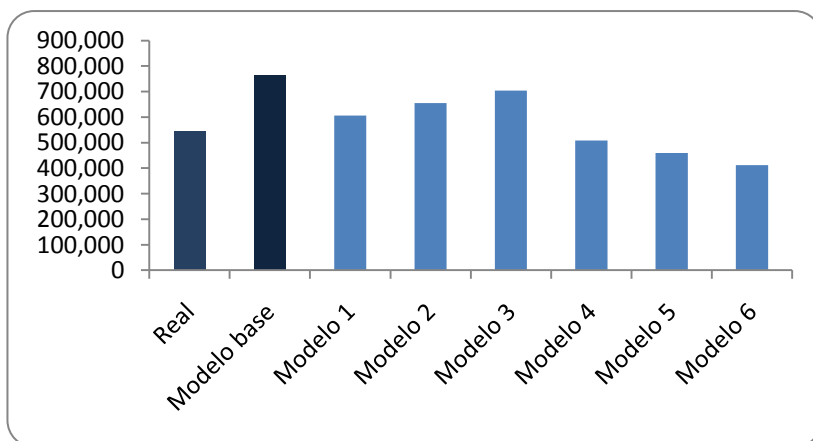
Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

En el caso del frijol de junio en el modelo actual solo se siembran 8 has y se recomienda que se aumenten a 29 las has sembradas, esto debido a que este producto tiene un buen precio neto y en los meses de su siembra y cosecha no compite por los recursos con un producto que tenga un precio neto mayor como es el caso de la calabacita. Se puede ver en las graficas que la superficie cultivada total pasó de 86 has en el patrón actual a 62.5 has en el patrón óptimo y que los cultivos disminuyeron de 11 en el patrón actual a 4 en el escenario óptimo en seguida analizaremos como estos cambios repercutieron en el ingreso neto total.

6.3 Valor de la función objetivo

El valor de la función objetivo es el ingreso neto total obtenido por los productores ante cada uno de los escenarios de producción de acuerdo con sus recursos disponibles. En la grafica 3 podemos ver que el ingreso neto del modelo real es menor al ingreso neto con el modelo base, lo cual nos indica que actualmente los productores no están aprovechando sus recursos disponibles de una forma económicamente óptima. Al abandonar su patrón de cultivos actual y adoptar el patrón propuesto por el modelo óptimo los productores podrían aumentar su ingreso neto en \$220,921.00.

Grafica 3. Valor de la función objetivo (\$)



Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

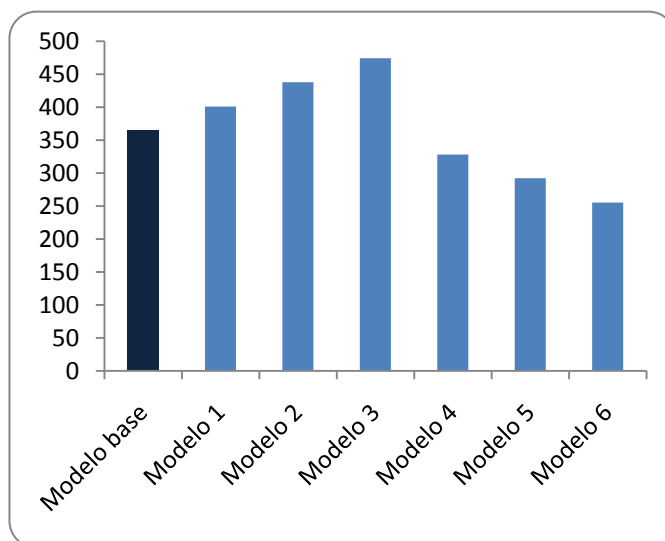
Analizando los diferentes escenarios se puede ver que ante una mayor disponibilidad de agua el valor de la función objetivo aumenta de tal forma que el máximo ingreso se tiene ante un mayor aumento en el agua y lo contrario ocurre ante una disminución de la misma lo que también nos indica que el agua si es un recurso escaso en la zona. Lo interesante de este análisis es el tener una visión de los cambios que podría experimentar el ingreso de los productores como consecuencia de un cambio que implicara el aumento o disminución del recurso agua.

6.4 Uso de los recursos

El nivel de uso de los recursos tiene una relación directa con la superficie cultivada, es decir ante una mayor superficie cultivada el uso de los recursos agua y mano de obra también será mayor. Esto se puede ver claramente en las graficas 4 y 5.

Primero analizamos el consumo del agua el cual coincide, como ya se mencionó antes con la superficie cultivada, de tal manera que ante un aumento del 30% en la superficie cultivada el aumento en el consumo del agua resulta ser también del 30%.

Grafica 4. Consumo de agua

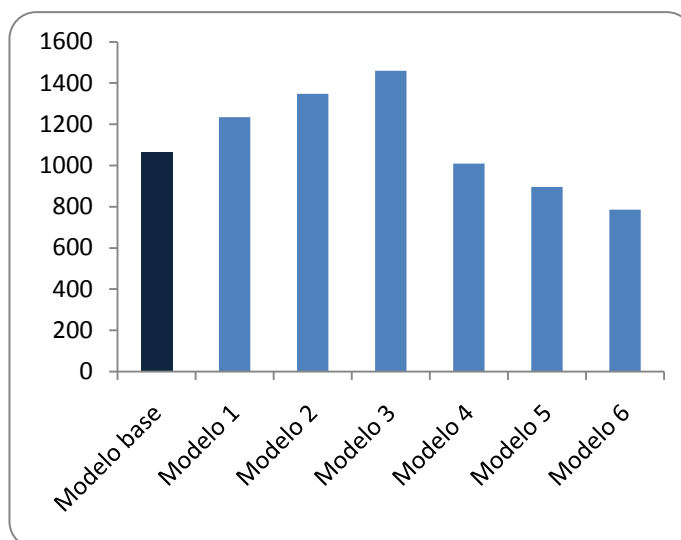


Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

Cabe aclarar que la disponibilidad de agua no necesariamente coincide con el volumen consumido, esto debido a que en algunos meses se tuvo sobrantes de este recurso y por tanto en estos meses el agua no tiene un precio sombra.

En el caso del consumo de mano de obra, esta tiene la misma tendencia que el uso del recurso agua, comparando las graficas se puede ver que en los escenarios donde el recurso agua se utiliza más también la mano de obra es más utilizada.

Grafica 5. Consumo de mano de obra



Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

En el caso de este modelo, la mano de obra no resultó ser un recurso restrictivo para la producción en ninguno de los escenarios ya que en cada uno de ellos este recurso fue abundante (no tiene precio sombra).

6.5 Valor del producto marginal del agua

El valor del producto marginal de un recurso es igual a su precio sombra. En el caso del agua, su precio sombra lo podemos considerar como el precio máximo que un productor estaría dispuesto a pagar por una unidad extra de este recurso, cuando el agua es abundante su precio sombra es cero.

El valor que va a tomar el precio sombra va a estar directamente relacionado con el precio neto de los cultivos analizados; de tal forma que, a precios netos más altos el valor del precio sombra del agua será mayor, dado que el agua será escasa para fines alternativos más rentables.

En el cuadro 7 se puede observar que solo se obtuvo precio sombra para el agua en cuatro meses del año los cuales son: febrero, abril, junio y octubre. Esto nos refleja que solo en estos meses se sufre escasez de la misma. El mayor precio sombra del agua se obtiene en el mes de abril y esto se asocia con el hecho de que en este mes se produce calabacita y este cultivo es el que tiene el mayor precio neto de todos los cultivos analizados.

Cuadro 7. Valor del producto marginal del agua (pesos por mm³)

	Modelo base	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Agua de febrero	542.26	542.26	542.26	542.26	542.26	542.26	542.26
Agua de abril	11364.07	11364.07	11364.07	11364.07	11364.07	11364.07	11364.07
Agua de junio	2640.60	2640.60	2640.60	2640.60	2640.60	2640.60	2640.60
Agua de octubre	4317.15	4317.15	4317.15	4317.15	4317.15	4317.15	4317.15

Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

De acuerdo con los cálculos realizados el precio sombra del agua en cada uno de estos meses oscila entre 0.54 y 11.36 pesos por m³ (cuadro 8).

Cuadro 8. Valor del producto marginal del agua (pesos por m³)

	Modelo base	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Agua de febrero	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54
Agua de abril	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36	11.36
Agua de junio	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
Agua de octubre	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32	4.32

Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

Si comparamos estos precios sombra con las cuotas pagadas actualmente por los productores, las cuales oscilan entre 0.042 y 0.18 pesos por m³ observamos que el precio que actualmente pagan los productores por el uso de esta agua de riego es considerablemente menor a su precio sombra. Esto confirma que las

tarifas pagadas por los productores en el ejido de San Simón, Municipio de Texcoco no representan su verdadero costo de oportunidad.

6.6 Modelo con restricción de mercado

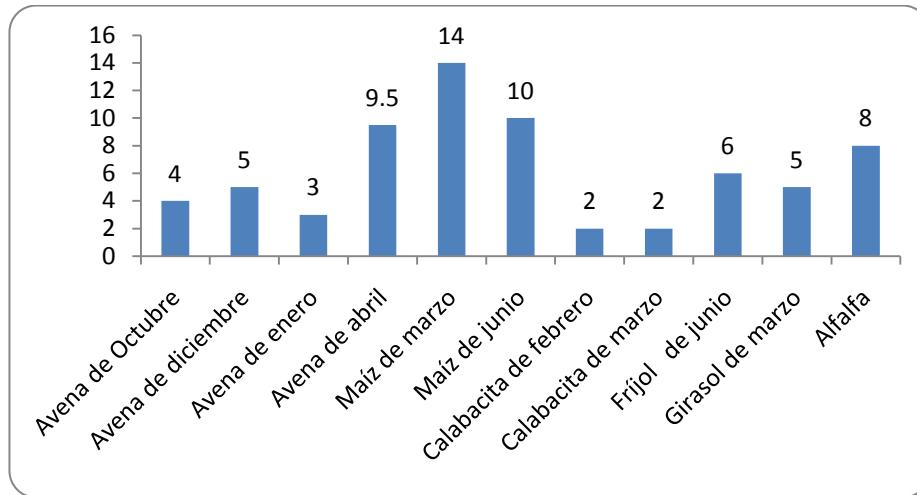
En el apartado anterior se analizó un modelo base (óptimo) sin restricciones de mercado, sin embargo y con el fin de hacer un modelo más realista se hace este segundo apartado en el cual se agregan restricciones de mercado para la producción de calabacita, en el modelo óptimo anterior se puede ver que se nos sugiere aumentar la producción de esta hortaliza de 5 a 24 has. Pero en la realidad los productores no tienen un mercado para vender toda esa producción por tanto en este análisis le pondremos una restricción a la calabacita de febrero y marzo de 3 has para cada una, es decir producir solamente 6 has por ciclo.

En este caso, los resultados se dividen en tres partes, en la primera parte se expondrá la situación del patrón actual de cultivos contra los resultados del modelo base, en una segunda parte se expone el valor de la función objetivo en el modelo base y en cada uno de los escenarios propuestos y en la tercera se hace referencia a el valor del producto marginal del agua. En este apartado ya no se analiza el uso de los recursos porque su comportamiento es similar al del apartado anterior.

6.6.1 Modelo base vs. Situación actual

En este caso ya se pusieron las restricciones para la producción de calabacita, por tanto y como se puede ver en la grafica 6, la producción de este cultivo tanto de febrero como de marzo solo es de 3 has. Aun con esto los cultivos de maíz, girasol y alfalfa siguen sin aparecer en el modelo óptimo.

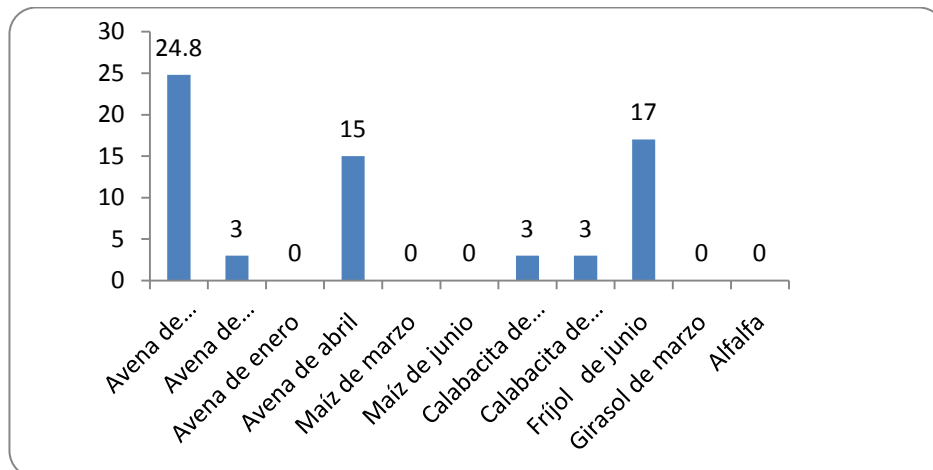
Grafica 6. Patrón de cultivos actual (Has)



Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

Otro de los cambios que se pueden notar en las graficas es que la avena que actualmente se siembra en octubre, diciembre, enero y abril; en el escenario óptimo se propone sembrarla en octubre y ahora también en diciembre y abril. Las has que se propone cultivar son 42.8 has.

Grafica 7. Patrón de cultivos propuesto (Has)



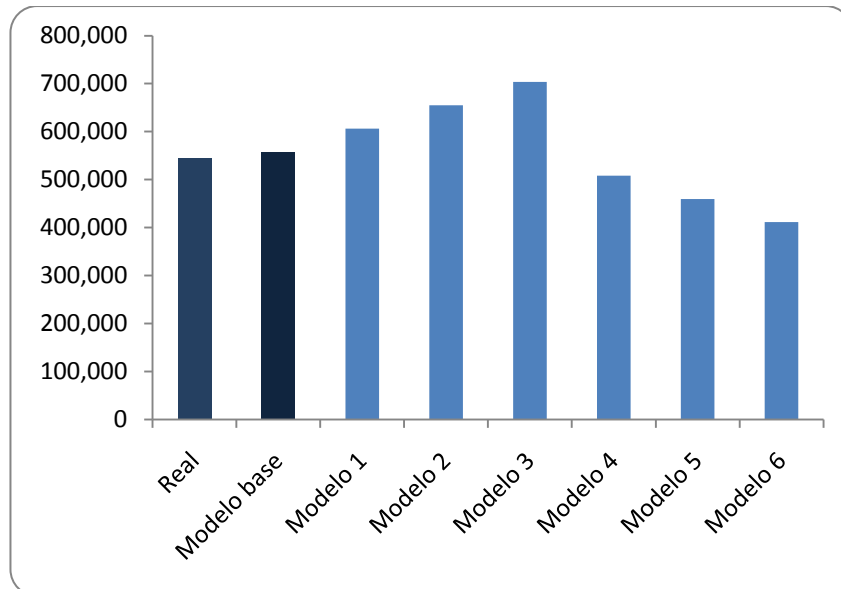
Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

En el caso del frijol de junio en el modelo actual solo se siembran 8 has se sigue manteniendo en este modelo con restricciones pero solo 17 has de las 29 consideradas en el modelo sin restricciones.

6.6.2 Valor de la función objetivo con restricciones de mercado

En la grafica 8, podemos ver que el ingreso neto del modelo base es mayor al ingreso neto con el modelo actual, pero en una menor cantidad que en el análisis anterior sin restricción de mercado. Lo cual nos indica que la restricción de mercado impuesta a la calabacita obliga al programa a meter cultivos menos rentables al modelo óptimo, lo que ocasiona que el valor de la función objetivo baje considerablemente pero sin llegar a ser menor al ingreso obtenido con el patrón de cultivos actual. Al abandonar su patrón de cultivos actual y adoptar el patrón propuesto por el modelo óptimo con restricción de mercado, los productores podrían ver aumentado su ingreso neto en \$12, 768.00.

Grafica 8. Valor de la función objetivo (\$)



Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

En el análisis de los escenarios ocurre exactamente lo mismo que cuando no teníamos restricciones de mercado, es decir, ante una mayor disponibilidad de agua el valor de la función objetivo aumenta de tal forma que el máximo ingreso

se tiene ante un mayor aumento en el agua y lo contrario ocurre ante una disminución de la misma lo que también nos indica que el agua si es un recurso escaso en la zona.

6.6.3 Valor del producto marginal del agua

En el cuadro 9 se puede observar que en este caso también solo se obtuvo precio sombra para el agua en cuatro meses del año los cuales son: abril, junio, octubre y noviembre. Esto nos refleja que solo en estos meses se sufre escasez de la misma. El mayor precio sombra del agua se obtiene en el mes de abril y el menor en el mes de octubre, esto nos indica que ante este escenario, un productor está dispuesto a pagar una mayor cantidad de dinero por utilizar el agua en abril que en cualquier otro mes del año.

Cuadro 9. Valor del producto marginal del agua (pesos por mm³)

	Modelo base	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Agua de abril	4427.70	4427.70	4427.70	4427.70	4427.70	4427.70	4427.70
Agua de junio	3204.87	3204.87	3204.87	3204.87	3204.87	3204.87	3204.87
Agua de octubre	1911.77	1911.77	1911.77	1911.77	1911.77	1911.77	1911.77
Agua de noviembre	2461.01	2461.01	2461.01	2461.01	2461.01	2461.01	2461.01

Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

De acuerdo con los cálculos realizados el precio sombra del agua en cada uno de estos meses oscila entre 1.91 y 4.43 pesos por m³ (cuadro 10). Si comparamos con los precios sombra obtenidos en el análisis anterior nos daremos cuenta que los precios sombra obtenidos anteriormente eran mayores, esto porque en el patrón de cultivos óptimo anterior se consideraban cultivos con un precio neto mayor.

Cuadro 10. Valor del producto marginal del agua (pesos por m³)

	Modelo base	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 5	Modelo 6
Agua de abril	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43	4.43
Agua de junio	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
Agua de octubre	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91	1.91
Agua de noviembre	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46

Fuente: Elaboración propia con base en las salidas de LINDO

Si comparamos esto precios sombra con las cuotas pagadas actualmente por los productores, las cuales oscilan entre 0.042 y 0.18 pesos por m³ observamos que el precio que actualmente pagan los productores por el uso de esta agua de riego aun con este escenario sigue siendo considerablemente menor a su precio sombra. Así los productores deberían estar dispuestos a pagar hasta el valor del precio sombra calculado por hacer uso del recurso agua.

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez descritos los resultados obtenidos con el modelo de programación lineal a continuación se describen las principales conclusiones y recomendaciones que se obtuvieron en el análisis.

7.1 Conclusiones

El valor de la función objetivo del modelo base sugiere que los productores no están trabajando bajo un óptimo económico, una mejor asignación de sus recursos por medio de un patrón de cultivos óptimo les permitiría maximizar sus ingresos.

Aun cuando en el patrón actual de cultivos se considera el cultivo del maíz como uno de los más importantes en ninguno de los escenarios planteados se le considera como viable para su cultivo, debido principalmente a su bajo precio neto. No se vio la necesidad de considerar una superficie mínima para su cultivo ya que para la zona de estudio no se considera como un cultivo de subsistencia.

De acuerdo con los resultados de la investigación se demuestra que la magnitud del precio sombra es mayor que las cuotas pagadas actualmente por los productores, por tanto dichas cuotas no reflejan el valor económico del recurso agua.

Debido al alto valor resultante del precio sombra se puede asegurar que si es factible un aumento en las cuotas pagadas actualmente por los productores de la zona, esto con el fin de garantizar un uso más eficiente del recurso agua.

En general una mayor disponibilidad de agua tiene efectos positivos sobre el ingreso neto total y, sucede lo contrario ante una menor disponibilidad de agua.

7.2 Recomendaciones

Es necesario que los productores identifiquen un mercado para aquellos productos que tienen altos precios netos como es el caso de la calabacita porque con la producción de estos cultivos sus ingresos se verán aumentados de forma importante.

Se debe considerar por parte de los productores el dejar de producir cultivos tradicionales como el maíz para dedicar las tierras al cultivo de otros productos más rentables.

Se recomienda a los productores ser más eficientes en el uso del agua, ya que su zona de producción se está urbanizando cada vez más por lo que seguramente les surgirá competencia para hacer uso de este recurso (para consumo domestico o industrial). Si se logra eficientar su uso entonces podrán producir más o mantener el nivel de producción recomendado por el patrón de cultivos óptimo con una cantidad cada vez menor de este recurso.

8 BIBLIOGRAFÍA

- ❖ Caballer Vicente y Guadalajara Natividad, 1998. valoración económica del agua de riego, ediciones Mundi-Prensa, Madrid España.
- ❖ Calatrava, J. y Garrido, A. 2001. Análisis del efecto de los mercados de agua sobre el beneficio de las explotaciones, la contaminación por nitratos y el empleo eventual agrario. *Economía Agraria y Recursos Naturales*.
- ❖ Florencio, C. V.; Valdivia, A. R. y Scott, C. A. 2002. Productividad del agua en el distrito 011 Alto Río Lerma. *Agrociencia*. 36-004:483-493.
- ❖ García, S. J. 2006. Apuntes de modelos de equilibrio parcial e intertemporal. Colegio de postgraduados. México.
- ❖ Garrido, A.; Iglesias, E. y Blanco, M. 1996. Análisis de la actitud de los regantes ante el establecimiento de políticas de precios públicos y de mercados de agua. *Revista Española de Economía Agraria*.
- ❖ Garrido, A. 2000. A mathematical programming model applied to the study of water markets within the Spanish agricultural sector. *Annals of Operations Research*, 94.
- ❖ Gibbons, Diana. 1986. The economic value of water. Resources for the future. Washington, D.C.
- ❖ Godínez, M. L. et al 2007. Valor económico del agua en el sector agrícola de la comarca lagunera. *Terra Latinoamericana*. Vol. 25:0187-5779.
- ❖ Hazel, P. B. R. y Norton, R. D. 1986: *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. MacMillan Publishing Company, New York.
- ❖ Le Moigne, G., S. Ashok, X. Mei, and G. Sandra. 1994. A Guide to the Formulation of Water Resources Strategy. The World Bank. Washington, D. C. 102 p.
- ❖ Palacios Vélez, Enrique. 1981. Introducción a la teoría de la operación de distritos y sistemas de riego. Colegio de Posgraduados.

- ❖ Palacios, E. 1976. Strategies to improve water management in Mexican irrigation districts: a case study in Sonora. Ph. D. dissertation. The University of Arizona. Tucson, Arizona. 196 p.
- ❖ Rubiños, P. J. *et al.* 2007. Valor económico del agua y análisis de las transmisiones de derechos de agua en distritos de riego de México. Terra Latinoamericana. Vol. 25:0187-5779.
- ❖ Valdovinos, Ch. V. R. 1995. Elementos de Programación Matemática. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- ❖ Young, Robert. 1996. Measuring Economic Benefits for Water Investment and Policies. The World Bank. Washington, D. C. 118 p.
- ❖ Zetina, E. A. M. 2010. Valor económico del agua en el distrito de riego 044 Jilotepec. Colegio de postgraduados, México.

<http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral>.

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

<http://redalyc.uaemex.mx/>

ANEXO A

COSTOS DE PRODUCCIÓN

Cuadro A.1. Costo de producción de maíz (Pesos/ha)

Actividad o labor	Forma de aplicación	Unidad de medida	Cantidad aplicada	Precio U.	Importe total
Preparación del terreno					
Barbecho	Mecanizado	Ha.	1	400	400
Rastreo	Mecanizado	Ha.	2	400	800
Siembra o plantación					
Semilla		Kg.	25	66.5	1,663
Siembra	Mecanizado	Ha.	1	500	500
Fertilización					
Fertilizante		Kg.	300	10	3,000
Fertilizante 2		Kg.	150	8.90	1,335
Labores culturales					
Escardas o cultivos	Mecanizado	Ha.	2	500	1,000
Herbicida		Kg/Lt	3	280	840
Cosecha					
Pizca					
Desgrane	Mecanizado	Ton	5	100	500
Costo de Producción					\$10,037

Fuente: Elaboración propia con información de productores y SIAP-SAGARPA.

Cuadro A.2. Costo de producción de avena (Pesos/ha)

Actividad o labor	Forma de aplicación	Unidad de medida	Cantidad aplicada	Precio U.	Importe total
Preparación del terreno					
Barbecho	Mecanizado	Ha.	1	400	400
Rastreo	Mecanizado	Ha.	2	400	800
Siembra o plantación					
Semilla		Kg.	120	15	1800
Siembra	Mecanizado	Ha.	1	200	200
Tapa	Mecanizado	Ha.	1	350	350
Fertilización					
Fertilizante		Kg.	650	4.27	2778.295
Fertilizante 2		Kg.	250	3.5	875
Labores culturales					
Herbicida		Kg/Lt	2	98	196
Cosecha					
Corte y empacado	Mecanizado	Ha.	1	2800	2800
Costo de Producción					\$10,199.3

Fuente: Elaboración propia con información de productores y SIAP-SAGARPA.

Cuadro A.3. Costo de producción de Alfalfa (Pesos/ha)

Actividad o labor	Forma de aplicación	Unidad de medida	Cantidad aplicada	Precio U.	Importe total
Empareje	Mecanizado		1	400	400
Barbecho	Mecanizado		1	400	400
Melgueo	Mecanizado		1	400	400
Rastreo simple	Mecanizado		1	400	400
Aporque	Mecanizado		1	400	400
Fórmula NPK		Kg	347	5.37	1864.69
Basudín granulado		Kg	50	9	450
Semilla mejorada		Kg	50	168	8400
Costo de Producción					\$12,714.69

Fuente: Elaboración propia con información de productores y SIAP-SAGARPA.

Cuadro A.4. Costo de producción de Girasol (Pesos/ha)

Actividad o labor	Forma de aplicación	Unidad de medida	Cantidad aplicada	Precio U.	Importe total
Barbecho	Mecanizado		1	400	400
Rastreo simple	Mecanizado		2	400	800
Surcado	Mecanizado		1	400	400
Fosfato diamónico (18-46-00)		Kg	100	3.8	380
Nitrato de potasio		Kg	150	7.8	1170
Nitrato de calcio		Kg	100	6.7	670
Captan		Kg	1	90	90
Shogun		Lt	0.25	180	45
Bavistin		Kg	0.5	200	100
Gramoxone		Lt	2	130	260
Folimat		Lt	0.5	330	165
Inex		Lt	4	70	280
Lannate		Lt	1	260	260
Sevin		Kg	1	50	50
Cinta de polietileno		Mt	12500	1.8	22500
Rafia		Kg	5	40	200
Botes		Pza	20	120	2400
Semilla mejorada		Pza	70000	0.30	21234.43

Costo de Producción

\$51,404

Fuente: Elaboración propia con información de productores y SIAP-SAGARPA.

Cuadro A.5. Costo de producción de calabacita (Pesos/ha)

Actividad o labor	Forma de aplicación	Unidad de medida	Cantidad aplicada	Precio U.	Importe total
Nivelación	Mecanizado		1	400	400
Barbecho	Mecanizado		1	400	400
Rastreo simple	Mecanizado		1	400	400
Surcado	Mecanizado		1	400	400
Fosfato diamónico (18-46-00)		Kg	100	3.8	380
Dimetoato		Lt	2	300	600
Guacales		Pza	420	37	15594.18
Semilla mejorada		Kg	1.816	320	581.12

Costo de Producción

\$18,755

Fuente: Elaboración propia con información de productores y SIAP-SAGARPA.

Cuadro A.6. Costo de producción de Fríjol (Pesos/ha)

Actividad o labor	Forma de aplicación	Unidad de medida	Cantidad aplicada	Precio U.	Importe total
Barbecho	Mecanizado		1	400	400
Rastreo	Mecanizado		2	400	800
Nitrato de amonio		Kg	100	6.3	630
Nitrato de potasio		Kg	100	7.8	780
Cloruro de potasio		Kg	100	5.5	550
DMA-amina 6		Lt	1	283	283
Costo de Producción					3,443

Fuente: Elaboración propia con información de productores y SIAP-SAGARPA.

ANEXO B

SALIDAS MODELO DE PROGRAMACION LINEAL

SALIDA DEL PROGRAMA PARA EL MODELO BASE SIN RESTRICCIÓN DE MERCADO

Cuadro B.1. Valor de la función objetivo en el modelo base srm.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

765,693.50

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

Cuadro B.2. Actividades a producir en el modelo base srm. (ha)

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	9.453568	0
X2	0	7478.637207
X3	0	9645.345703
X4	0	11808.35547
X5	0	23157.87305
X6	0	9601.849609
X7	17.298018	0
X8	6.989606	0
X9	29.165262	0
X10	0	17313.68164
X11	0	22610.94336

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

Uso mensual de los recursos en el Modelo Base sin restricción de mercado

Cuadro B.3. Uso mensual del recurso tierra.

TIERRA		
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
Enero	85.046432	0
Febrero	67.748413	0
Marzo	70.212379	0
Abril	70.212379	0
Mayo	70.212379	0
Junio	58.345131	0
Julio	65.33474	0
Agosto	65.33474	0
Septiembre	65.33474	0
Octubre	55.881168	0
Noviembre	55.881168	0
Diciembre	85.046432	0

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

Cuadro B.4. Uso mensual del recurso mano de obra.

MANO DE OBRA		
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
Enero	1267.639282	0
Febrero	1215.745239	0
Marzo	1240.435181	0
Abril	1195.53064	0
Mayo	1191.859863	0
Junio	1151.380493	0
Julio	1208.504272	0
Agosto	1208.504272	0
Septiembre	1208.504272	0
Octubre	1151.782837	0
Noviembre	1121.812988	0
Diciembre	1267.639282	0

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

Cuadro B.5. Uso mensual del recurso agua.

AGUA		
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
Enero	30.191074	0
Febrero	0	542.263977
Marzo	0.331881	0
Abril	0	11364.07324
Mayo	14.869255	0
Junio	0	2640.603027
Julio	17.25779	0
Agosto	20.174316	0
Septiembre	2.675159	0
Octubre	0	4317.151367
Noviembre	6.858865	0
Diciembre	30.191074	0

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

SALIDA DEL PROGRAMA PARA EL MODELO BASE CON RESTRICCIÓN DE MERCADO

Cuadro B.1. Valor de la función objetivo en el modelo base crm.

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

557,540.9

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

Cuadro B.2. Actividades a producir en el modelo base crm (ha)

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	24.851021	0
X2	3.226224	0
X3	0	2563.893066
X4	15.257653	0
X5	0	9343.446289
X6	0	9621.443359
X7	3	0
X8	3	0
X9	16.567347	0
X10	0	1512.780396
X11	0	7042.625

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

Uso mensual de los recursos en el Modelo Base con restricción de mercado

Cuadro B.3. Uso mensual del recurso tierra.

TIERRA		
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
Enero	66.422752	0
Febrero	63.422756	0
Marzo	85.273773	0
Abril	70.016121	0
Mayo	70.016121	0
Junio	59.674999	0
Julio	62.674999	0
Agosto	62.674999	0
Septiembre	62.674999	0
Octubre	53.081635	0
Noviembre	53.081635	0
Diciembre	66.422752	0

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

Cuadro B.4. Uso mensual del recurso mano de obra.

MANO DE OBRA		
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
Enero	1211.768311	0
Febrero	1202.768311	0
Marzo	1274.547607	0
Abril	1173.775391	0
Mayo	1213.54834	0
Junio	1171.957642	0
Julio	1215.782593	0
Agosto	1215.782593	0
Septiembre	1200.525024	0
Octubre	1097.191895	0
Noviembre	1138.610229	0
Diciembre	1202.0896	0

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.

Cuadro B.5. Uso mensual del recurso agua.

AGUA		
ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
Enero	9.70503	0
Febrero	7.112755	0
Marzo	27.163776	0
Abril	0	4427.700195
Mayo	4.57101	0
Junio	0	3204.866699
Julio	15.13	0
Agosto	18.3125	0
Septiembre	11.423622	0
Octubre	0	1911.765259
Noviembre	0	2461.010254
Diciembre	9.70503	0

Fuente: Elaboración propia con salida del programa.