



**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN  
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA  
ECONOMÍA**

**VALOR ECONÓMICO DEL AGUA EN EL DISTRITO DE RIEGO  
044 JILOTEPEC**

**ANA MÓNICA ZETINA ESPINOSA**

**T E S I S**

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

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2010**

La presente tesis titulada: **VALOR ECONÓMICO DEL AGUA EN EL DISTRITO DE RIEGO 044 JILOTEPEC**, realizada por la alumna: **ANA MÓNICA ZETINA ESPINOSA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRA EN CIENCIAS  
POSGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA  
ECONOMÍA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO

  
\_\_\_\_\_  
DR. JOSÉ SATURNINO MORA FLORES

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ DAMIÁN

ASESOR

  
\_\_\_\_\_  
DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÁ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Mayo de 2010

# **VALOR DEL ECONÓMICO DEL AGUA EN EL DISTRITO DE RIEGO 044 JILOTEPEC**

Ana Mónica Zetina Espinosa, MC.

Colegio de Postgraduados, 2010

El desperdicio de agua en la agricultura es un problema que se agrava debido a la escasez, por lo tanto, es importante determinar el precio para optimizar su uso. El objetivo de este estudio es optimizar el patrón de cultivos en el Distrito de Riego 044, Jilotepec, Estado de México, en el ciclo agrícola 2008-2009 y dar un valor económico del agua en posibles escenarios futuros, para lo cual se instrumentó un modelo de programación lineal, en el que se tomaron 37 actividades agrícolas cíclicas y perennes; se introdujeron 62 restricciones. Los resultados mostraron una diferencia de 2.2 millones de pesos entre la situación actual y el óptimo económico. Con un escenario de asignación óptima sin restricción de superficie, el maíz, principal cultivo de la región, será reemplazado por los demás cultivos, como son trigo, avena forrajera, pradera y frutales; lo anterior implica un cambio en el patrón de cultivos. El valor del producto marginal del agua obtenido, estuvo entre 0.96 y 5.72 pesos por m<sup>3</sup> en el ciclo Otoño-Invierno y entre 0.03 y 0.21 pesos por m<sup>3</sup> en Primavera-Verano. En todos los casos esos valores que representan los precios económicos del agua son superiores a las cuotas pagadas por los usuarios del DR044, por tanto un incremento gradual de las cuotas podrán optimizar el uso y mitigar el desperdicio.

Palabras clave: programación lineal, óptimo económico, escasez

## **ECONOMIC VALUE OF WATER IN THE JILOTEPEC (044) IRRIGATION DISTRICT**

Ana Mónica Zetina Espinosa, MC.

Colegio de Postgraduados, 2010

The waste water of agriculture is a problem that everyday more scarce, therefore it is important to estimate its price to optimize its use. The objective of this paper was to optimize the patterns of crops in the Jilotepec (044) Irrigation District, State of Mexico, in the agricultural cycle 2008-2009, and attaching an economic value to water under futures scenarios. To that linear programming model was designed, in this model including 37 activities and 62 restrictions. The research results indicate a 2.2 millions of pesos difference in net income between the current crop pattern and the optimized one. Under the set scenarios the corn crops, the main crop in this region, could be replaced by wheat, forage oats, prairie and fruit crops; this situation implies a change in the current patterns. The marginal value product of water was between 0.96 and 5.72 pesos by cubic meters in autumn-winter crops and between 0.03 and 0.21 pesos by cubic meters in spring-summer crops. The obtained shadow prices are higher than those charged to water users in the District, thus a slow increase to current quotas is feasible, in order to optimize its use and reduce its waste.

Keywords: linear programming, optimized, shortage.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por sufragar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, por los recursos humanos y materiales que contribuyeron a mi formación como Maestra en Ciencias.

A los miembros del Consejo Particular, Dr. José Saturnino Mora Flores, Dr. Miguel Ángel Martínez Damián y Dr. Ramón Valdivia Alcalá, por la oportunidad de trabajar con ellos, compartir sus experiencias y por sus aportaciones a esta investigación.

Al Ing. Raúl Rivas Castillo, ingeniero en Jefe de los Distritos de Riego en el Estado de México y al Ing. Juan Manuel Alfaro Gómez Jefe de Distrito de Riego de Jilotepec, por la valiosa información proporcionada para la elaboración de el presente estudio.

Al Ing. Francisco Velázquez Jefe de Distrito de Desarrollo Rural Jilotepec de la SAGARPA, al Ing. Cosme Reyes Baca, Jefe de Fomento Agropecuario del Distrito de Desarrollo Rural Jilotepec de la SAGARPA, y a la Lic. María de Jesús León Robles encargada de las estadísticas de la SAGARPA delegación Estado de México.

A los profesores del Posgrado de Socioeconomía, Estadística e Informática – Economía del Colegio de Postgraduados, quienes contribuyeron a mi formación.

A Karina Valencia Sandoval, Mercedes Borja Bravo, Joaquín Cruz Jiménez y Alejandra García Vázquez por su apoyo y recomendaciones.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, por su apoyo, cariño y amor incondicional. Gracias, porque al existir iluminan mi vida y hacen que ésta valga la pena.

A mis herman@s y sobrin@s por exhortarme a seguir adelante y darme razones para continuar.

# CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del problema .....	2
1.2. Objetivo .....	4
1.2.1. Objetivo general.....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	4
1.3. Hipótesis .....	4
1.3.1. General .....	4
1.3.2. Particular .....	5
1.4. Revisión de literatura.....	5
<b>CAPÍTULO II. VALORACIÓN DEL AGUA CON PROGRAMACIÓN LINEAL.....</b>	<b>8</b>
2.1. Valoración del agua.....	8
2.2. Métodos para la valoración de los recursos naturales.....	9
2.3. Programación lineal.....	10
2.3.1. El modelo de programación lineal .....	11
2.3.2. Variables del modelo.....	11
2.3.3. Función objetivo .....	12
2.3.4. Restricciones del modelo.....	13
2.3.5. Coeficientes del modelo .....	14
2.3.6. Supuestos de programación lineal.....	14
2.3.7. El problema primal y el dual .....	15
2.3.8. Interpretación económica del dual .....	19
<b>CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>21</b>
3.1. Localización.....	21
3.2. Patrón histórico de cultivos y rendimientos .....	22
3.3. Padrón de usuarios.....	25
3.4. Fuentes de abastecimiento de agua.....	27
3.5. Operación del Distrito de Riego.....	29
3.5.1. Distribución y administración de las aguas .....	30
3.5.2. Plan de Riegos .....	31
3.5.3. Estructura tarifaria de agua.....	32
<b>CAPÍTULO IV. FORMULACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL .....</b>	<b>37</b>
4.1. Actividades del modelo .....	37
4.2. Cuantificación de precios netos.....	38
4.3. Restricciones .....	39

4.3.1. Tierra.....	40
4.3.2. Agua.....	40
4.3.3. Mano de obra.....	41
4.3.4. Superficie máxima por cultivo .....	42
4.3.5. Uso de agua para fines no agrícolas.....	42
4.4. Coeficientes del modelo.....	43
4.4.1. Tierra.....	43
4.4.2. Agua y mano de obra.....	44
4.5. Construcción del modelo base.....	44
4.6. Escenarios construidos.....	46
<b>CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>48</b>
5.1. Modelo base vs situación actual.....	48
5.2. Valor óptimo del programa ante escenarios .....	52
5.3. Patrones de cultivo en los escenarios planteados .....	54
5.3.1. Cambios en el patrón de cultivo de maíz.....	54
5.3.2. Cambios en el patrón de cultivo de avena forrajera .....	55
5.3.3. Cambios en el patrón de cultivo de trigo.....	56
5.3.4. Cambios en el patrón de cultivos perenes .....	57
5.4. Valor del Producto Marginal del agua de riego.....	59
5.4.1 VPMg del agua de riego en el ciclo Otoño - Invierno.....	61
5.4.2 VPMg del agua de riego en el ciclo Primavera - Verano .....	63
<b>CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>67</b>
6.1. Conclusiones .....	67
6.2. Recomendaciones.....	70
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>75</b>
Anexo I. Concentrado de soluciones óptimas a los MPL real, base e iteraciones .....	75
Anexo II. Información utilizada por el MPL en el año agrícola 2008 – 2009. ....	76

## Listado de gráficas

Gráfica 3.1. Evolución de los rendimientos de los principales cultivos en el DR044 .....	24
Gráfica 3.2. Proporción de usuarios por tipo de tenencia de la tierra .....	26
Gráfico 3.3. Derechos de riego por tipo de tenencia de la tierra.....	26
Gráfica 3.4. Superficie regada por tipo de tenencia de la tierra.....	27
Gráfico 3.5. Volumen almacenado, programado y extraído de la presa Danxho .....	28
Gráfica 4.1. Consumo total de agua por mes durante el año agrícola 2008 – 2009.....	40
Gráfica 4.2. Consumo de agua en abrevadero por mes .....	43
Gráfica 5.1. Patrón de cultivo de maíz. Situación actual vs modelo base .....	49
Gráfica 5.2. Patrón de cultivo de avena forrajera. Situación actual vs modelo base .....	49
Gráfica 5.3. Patrón de cultivo de trigo. Situación actual vs modelo base .....	50
Gráfica 5.4. Patrón de cultivo de pasto y pradera. Situación actual vs modelo base .....	51
Gráfica 5.5. Valor Óptimo de los escenarios establecidos. ....	52
Gráfica 5.6. Patrón de cultivo de maíz. Escenarios establecidos. ....	55
Gráfica 5.7. Patrón de cultivo de avena forrajera. Escenarios establecidos. ....	56
Gráfica 5.8. Patrón de cultivo de trigo para grano. Escenarios establecidos.....	57
Gráfica 5.9. Patrón de cultivo de pasto y pradera. Escenarios establecidos. ....	58
Gráfica 5.10. Patrón de cultivo de frutales. Escenarios establecidos. ....	59
Gráfica 5.11. Valor del Producto Marginal del agua de riego en Diciembre. Escenarios establecidos. 62	
Gráfica 5.12. Valor del Producto Marginal del agua de riego en Abril. Escenarios establecidos. ....	64
Gráfica 5.13. Valor del Producto Marginal del agua de riego en Mayo. Escenarios establecidos. ....	66

## Listado de cuadros

Cuadro 2.1. Interpretación económica del MPL.....	12
Cuadro 2.2. Interpretación del primal y el dual .....	18
Cuadro 3.1. Patrón histórico de cultivos en el DR044.....	23
Cuadro 3.2. Superficies del patrón histórico de cultivos en el DR044 .....	24
Cuadro 3.3. Superficie de Riego por tipo de tenencia de la tierra y Municipio.....	25
Cuadro 3.4. Puntos de Control del DR044, Jilotepec .....	30
Cuadro 3.5. Evolución de Cuotas de Riego en el DR044 .....	34
Cuadro 3.6. Evolución de la cuota de Riego en el Módulo.....	36
Cuadro 4.1. Actividades del modelo de programación lineal, por ciclo y perenes.....	38
Cuadro 4.2. Precios netos de las actividades de cultivo del modelo.....	39
Cuadro 4.3. Disponibilidad mensual de recursos.....	41
Cuadro 4.4. Promedio de superficies mínimas y máximas por cultivo en los últimos cuatro años agrícolas .....	42
Cuadro 5.1. Ingreso Neto per cápita en el DR044 bajo los escenarios propuestos.....	53
Cuadro 5.2. Valor del Producto Marginal del agua de riego. (Pesos por mm3).....	60
Cuadro 5.3. Valor del Producto Marginal del agua de riego. (Pesos por m3).....	60
Cuadro 5.4. Cuotas reales pagados por del agua de riego en el DR044. (Pesos por mm3).....	61
Cuadro 5.5. Distribución del precio sombra del MPLBase en el ciclo O-I por cultivos (precio en pesos) .....	63
Cuadro 5.6. Distribución del precio sombra del MPLBase en el ciclo P-V por cultivos y otros usos (precio en pesos) .....	65

## Siglas

\$/ha/rgo	Pesos por hectárea por riego
\$/mm <sup>3</sup>	Pesos por millar de metros cúbicos
A.C.	Asociación Civil
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
DR	Distrito de Riego
DR044	Distrito de Riesgo 044 Jilotepec, Estado de México
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
Has	Hectáreas
INT	Ingreso Neto Total
Km	Kilometro
LAN	Ley de Aguas Nacionales
m <sup>3</sup>	Metros cúbicos
MKm <sup>3</sup>	Millones de kilómetros cúbicos
Mm <sup>3</sup>	Millones de metros cúbicos
mm <sup>3</sup>	Miles de metros cúbicos
MPL	Modelo de Programación Lineal
MXN/RS	Peso Mexicano / Rupias de Pakistan
O-I	Ciclo Otoño-Invierno
ONG	Organización No Gubernamental
P-V	Ciclo Primavera-Verano
Q	Cantidad
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SHyCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público de México
	Sumatoria
t/ha	Toneladas por hectárea
ton	Toneladas
UACH	Universidad Autónoma Chapingo
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
VPMg	Valor del Producto Marginal
WG	Meridiano de Greenwich
WinQSB	Aplicación para resolver y automatizar cálculos lineales y otros problemas de investigación de operaciones

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

El agua dulce es el recurso natural que ha cobrado especial importancia en las últimas décadas debido a su escasez en el planeta. El 70 por ciento de la superficie de la tierra está cubierto de agua. Sin embargo, el 97.5 por ciento (1,365 Mkm<sup>3</sup>) es salada y el 2.5 por ciento (35Mkm<sup>3</sup>) es dulce. De esta última, 68.9 por ciento está almacenado en los glaciares, 30.8 por ciento es agua contenida en el suelo y 0.3 en lagos y ríos. Al final, sólo el 0.26 por ciento es agua dulce accesible para el consumo que se encuentra en ríos, lagos y acuíferos a poca profundidad (CONAGUA, 2008). Al mismo tiempo, la contaminación se ha acentuado en años recientes, por ende, estudiarla desde el punto de vista económico permite facilitar la toma de decisiones en lo referente a su suministro a los distintos sectores productivos y no productivos.

Muchas regiones del planeta tienen baja y muy baja disponibilidad de agua dulce debido a la heterogeneidad natural en la distribución y la sobreexplotación. Sobreexplotación causada, básicamente, por el incremento poblacional y el aumento en el nivel de vida de los habitantes.

De acuerdo con Postel (1992), citado por la ONG Intermón Oxfam “A escala mundial, se dispone de 14,000 Mm<sup>3</sup> de agua (14,000 km<sup>3</sup>) por año para uso humano. Esto representa unos 7,400 m<sup>3</sup> por persona por año”. Así mismo, estima con información de UNESCO-Paris (1999,) que para el año 2025 la disponibilidad global de agua dulce per cápita descenderá a 5,100 m<sup>3</sup> por año, ya que se sumarán unos 2,000 millones de habitantes a la población del mundo. Aún entonces, si el agua estuviese distribuida por igual en todas las partes del mundo seguiría habiendo suficiente agua para satisfacer las necesidades humanas.

El desarrollo de la vida y de las actividades humanas requiere del suministro de agua dulce en el uso doméstico, agrícola e industrial. La agricultura es el sector que consume más agua, representando globalmente alrededor del 69 por ciento de toda la extracción, el consumo doméstico alcanza aproximadamente 10 por ciento y la industria 21 por ciento (FAO 2002).

A pesar de que la agricultura es el sector que consume más agua en el mundo en términos de volumen, el uso del agua es de bajo valor económico, poco eficiente y subvencionado, los

estudios realizados a lo largo de los años ochenta revelan que los derechos que se pagan por el riego representan menos del 8 por ciento del valor de los beneficios que la agricultura aporta (Martín de Santa Olalla M. F. 2005). En la agricultura de riego es donde se encuentra el mayor despilfarro de agua, puesto que en el riego por gravedad se desperdicia (en filtración y evaporación) hasta el 50 por ciento del agua regada en la parcela. En contrapartida se tiene a la agricultura por hidroponía, en donde el aprovechamiento del agua es del 99 por ciento.

### **1.1. Planteamiento del problema**

En el caso de México, el principal uso del agua es el agrícola, básicamente para el riego de cultivos. México está organizado en 112 Distritos de Riego, los cuales son proyectos hidroagrícolas desarrollados por el Gobierno Federal a partir de 1926, para la distribución de agua para uso agrícola. Los distritos de riego buscan modernizar y rehabilitar la infraestructura hidroagrícola para llevar un control en lo referente a la extracción, conducción, distribución y entrega a los usuarios de riego, así como para tecnificar el sistema de riego y, con ello reducir el consumo de agua parcelario (CONAGUA, 2008).

Los Distritos de Riego en México presentan ineficiencias desde que iniciaron sus operaciones. Fueron diseñados para la distribución de agua con la tecnología de riego por gravedad, la cual se sigue aplicando en la mayoría de los Distritos de Riego, sin embargo, esta tecnología es de bajo impacto en la producción agrícola y el aprovechamiento del líquido se ve altamente disminuido.

México ocupa el sexto lugar mundial en términos de superficie con infraestructura de riego, debido a que cuenta con 6.46 millones de hectáreas y presenta serios problemas en cuanto al uso del agua dulce en los diversos sectores productivos; problemas surgidos en parte dado la aparente abundancia del recurso en ciertas zonas del país, lo que a su vez no ha permitido establecer un mecanismo eficiente y justo de cobro, ni mucho menos una valoración económica eficiente. En contraste, países como Israel han superado a México en la optimización de sus recursos hídricos, debido a que tiene un clima árido y semiárido y la escasez de agua es una limitante importante.

El problema de México estriba en que en las organizaciones, oficiales y las de productores encaminadas a promover el uso eficiente del agua de riego, no fomentan su uso óptimo en zonas donde hay escasez, muchas de ellas de gran importancia en la producción de alimentos; menos en Distritos de Riego cuya superficie de cultivo es relativamente pequeña y el problema de la escasez es algo latente, tal es el caso del Distrito de Riego 044, Jilotepec, en donde se desarrolla la presente investigación.

En este Distrito se evidencia un problema en la forma de establecer las **cuotas** por uso de agua, cuotas que solo incluyen el costo de entregar el agua en las parcelas y el mantenimiento estrictamente necesario, dejando de lado otras obras de mantenimiento y conservación de la infraestructura. Además existe un control deficiente en su distribución y en su aplicación a las actividades agrícolas, ya que los productores pueden disponer del agua que consideren “necesaria” para sus actividades con el único requisito de cubrir su cuota. Además, las actividades agrícolas carecen de planeación y optimización económica, lo que ha llevado a un problema de mal uso y desperdicio dado la falta de valor económico del agua, bajo la creencia de que el recurso es aparentemente abundante en este distrito. La dilapidación de agua en las actividades agrícolas muestra la falta de un apropiado valor económico. Además, no es considerado como un insumo comerciable en el proceso productivo.

Ante la problemática descrita, la presente investigación tiene como objetivo determinar el precio privado del agua de uso agrícola a través de la determinación del Valor de su Producto Marginal, y a su vez optimizar el patrón de cultivos en el DR044 que permita un uso eficiente del recurso en cultivos con rentabilidad alta que maximicen el ingreso neto total del Distrito. Con el primero se tendrá un parámetro del valor bajo escenarios de escasez y las bases para impulsar un mercado de agua dado el potencial del DR de convertirse en un proveedor de agua para zonas urbanas e industriales en su área de influencia en el corto y largo plazo, incluido el Distrito Federal y la zona metropolitana, que actualmente sufre de serios problemas de escasez del vital líquido. Con el segundo se analizará el ingreso neto total del Distrito y su valor óptimo bajo diversos escenarios que permitan modelar las actividades agrícolas susceptibles de ser establecidas, dado que ofrecen un mayor valor económico con relación a la situación actual.

El conocimiento del valor económico del agua en el Distrito no implica necesariamente que este deba cobrarse a precios de mercado, sin embargo, establece la base para mejorar el esquema de cobro de la misma, a un precio que refleje su escasez, y establecer un mecanismo que lleve a su optimización y a su valoración económica en las actividades agrícolas de la región. Además, es una forma de fomentar el reconocimiento social de la importancia del agua y mitigar su derroche y mal uso. Otra aplicación del precio sombra es que serviría de base para la implementación, en el mediano o largo plazo, de un mercado de agua dentro de la zona, y de esta forma aprovechar la relativa abundancia del agua en la región.

## **1.2. Objetivo**

### **1.2.1. Objetivo general**

Establecer el Valor del Producto Marginal (VPMg) de agua de riego en el DR044 a través de la determinación de un patrón óptimo de cultivos que maximice el valor de la producción del Distrito.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

1. Cuantificar el precio sombra de agua de riego en condiciones de escases que permita establecer un esquema tarifario eficiente.
2. Establecer un patrón óptimo de cultivos en el DR044 que maximice su valor económico y los ingresos de los productores.

## **1.3. Hipótesis**

### **1.3.1. General**

La optimización de patrón actual de cultivos en el DR044 permite maximizar la ganancia total del mismo y valorar económicamente el agua como un recurso escaso.

### **1.3.2. Particular**

1. Las tarifas que se cobran por concepto de uso de agua de riego en la región no reflejan su valor de escasez
2. El patrón real de cultivos en el Distrito de Riego no maximiza su valor potencial ya que no se realiza bajo un escenario óptimo

### **1.4. Revisión de literatura**

Los modelos de programación lineal permiten obtener el precio sombra de los recursos utilizados en los procesos productivos y, a su vez, muestra el patrón de cultivos óptimos que maximiza el ingreso neto de las actividades productivas dado un conjunto de restricciones. Con esta metodología se han realizado diversos estudios en relación a la valoración del agua de riego, algunos de los hallazgos de estos estudios se presentan a continuación.

Liu, Cheng y Wang (2007), realizaron un estudio para estimar el precio sombra del agua de uso industrial y productivo, comparándolos con el precio real, usando un modelo de programación lineal. Y presentan dos modelos no lineales para predecir el precio sombra en el año 2020 y 2030. En sus resultados señalan que tanto el agua industrial como el productivo arrojan precios sombras diferentes para las diferentes cuencas hidrológicas. Estos valores van desde 0.02 hasta 0.725 dólares por m<sup>3</sup> para el agua industrial y de 0.06 a 0.331 para el de uso productivo. Sin embargo, los precios reales cobrados a la industria oscilan entre 0.020 y 0.212 dólares por m<sup>3</sup>. Sus modelos no lineales señalan el incremento del precio sombra para los años 2020 y 2030, sin embargo, el incremento en el agua de uso industrial es relativamente mayor al productivo. En el primer caso los precios predichos para el agua industrial oscilan entre 0.270 y 1.132 dólares por m<sup>3</sup>, y para el agua de uso productivo de 0.072 a 0.519. Para el segundo caso, el industrial oscila entre 0.396 a 1.412, y el productivo 0.110 a 0.629 dólares por m<sup>3</sup>.

Ashfaq M. *et. al.* (2006), publicaron un estudio con el objetivo principal del trabajo fue estimar el valor marginal del agua de riego mediante un modelo de programación lineal, para el caso de Pakistan. Formularon tres modelos basados en tamaño de las granjas (pequeñas, medianas y

grandes) y con ello se predijo el impacto que tiene el agua en los diferentes cultivos del modelo, la intensidad del cultivo y la ganancia neta de las granjas. Los resultados mostraron que el precio sombra del agua varía a lo largo de los meses. El valor del agua va de 0.0689 a 0.2006 pesos<sup>1</sup> (0.45 a 1.31 rupias) en pequeñas granjas, 0.1317 a 0.2511 pesos (0.86 a 1.64 rupias) en granjas medianas y 0.1454 a 0.2817 pesos (0.95 a 1.84 rupias) en granjas grandes. Los resultados revelan que la escasez de agua afecta la intensidad del cultivo y la ganancia neta de las granjas.

Godínez M. L. (2005), determinó el valor económico del agua para riego de bombeo y de gravedad a través del cálculo de su precio sombra y la productividad marginal. Su hipótesis dice que la escasez de agua se ha agudizado por la baja eficiencia en el uso del recurso, debido a la baja valoración. Para contrastar su hipótesis utilizó tres modelos: uno de programación lineal para determinar el precio sombra del agua; un modelo lineal de distribución de agua igualmente para determinar el precio sombra del agua en cada una de las regiones consumidoras; el último modelo corresponde a una función que relaciona el beneficio neto en función del volumen de agua utilizado por los principales cultivos, para determinar la productividad marginal neta del agua como referencia del precio sombra. Del primer modelo obtiene un precio sombra de \$0.646/m<sup>3</sup> de agua de bombeo y de \$0.582/m<sup>3</sup> de agua de gravedad. Del segundo modelo obtiene un precio sombra de \$1.99/m<sup>3</sup> en las zonas de consumo. Los resultados del tercer modelo muestran que para un volumen de 738.97 Mm<sup>3</sup> de agua de bombeo, la productividad marginal económica neta fue de \$0.73/m<sup>3</sup>.

Florencio C. V. (2000), realizó un estudio el cual tuvo como finalidad estimar el valor económico del agua (superficial y de pozo) mediante la utilización del precio sombra y la productividad marginal del agua. La hipótesis que plantea es que las tarifas pagadas por concepto de agua en el área de estudio no reflejan su verdadero valor de escasez. Para el logro de sus objetivos y comprobación de hipótesis modeló escenarios mediante el uso de programación lineal, con particular atención en la posibilidad de reducir la disponibilidad de agua en 18 y 24 por ciento. La tierra, el agua, la mano de obra y la maquinaria agrícola fueron empleadas para las restricciones en el modelo. Los beneficios netos (precios netos) fueron definidos como la diferencia entre el

---

<sup>1</sup> Al tipo de cambio 0.1531 MXN/RS consultado el día, 24 de diciembre de 2009, en <http://finance.yahoo.com/currency-converter#from=PKR;to=MXN>

ingreso bruto y el costo de producción. Los resultados se basan en el precio del producto correspondiente a 1999 y el estimado para el 2010. El ingreso marginal lo utilizó como precio sombra del agua de riego, el cual osciló entre 0.54 y \$2.28/m<sup>3</sup> del agua superficial y entre 0.66 y \$125/m<sup>3</sup> de agua subterránea. La modelización a través de funciones de producción la utilizó para calcular el valor del producto marginal del agua. Los cultivos que analizó fueron brócoli, cebada, maíz y trigo. Los resultados dados a través de este procedimiento fueron interpretados como el valor económico del agua de riego, la cual es de \$7.2/m<sup>3</sup> en brócoli, \$1/m<sup>3</sup> en cebada, \$5/m<sup>3</sup> en maíz y \$0.8/m<sup>3</sup> en trigo.

En su estudio A. Garrido (2000), aplicó un enfoque de mercado para el agua. Diseñó tres modelos para analizar el comportamiento económico de los productores con respecto al uso del agua, y los diferentes mercados. El modelo a nivel de producción es usado para determinar la función individual de demanda de agua de los productores. El segundo y tercer modelo simulan un amplio rango de escenarios de mercado usando las demandas de agua obtenidas del primer modelo. El estudio representa un intento para usar modelos de programación matemática no lineales para analizar el rol potencial de los mercados de agua dentro del sector agrícola español. De acuerdo con sus resultados el mercado de agua asignaría precios significativamente diferentes en los distritos diferentes, incluso cuando los distritos tienen patrones similares de agricultura irrigada.

Estos estudios tienen la finalidad de obtener un valor económico del agua, sin embargo, la presente investigación considera optimizar el patrón de cultivos en la región de manera que se maximicen el ingreso neto a través de la asignación de la tierra a cultivos más rentables que propicien una mayor valor económico al agua de riego, y modele escenarios adicionales a la disminución e incremento del agua. No solo se obtiene elementos para obtener un patrón óptimo de cultivo y criterios de decisión para la planeación del Distrito a mediano y largo plazo en cuanto a reconversión productiva se trata, y las bases para replantear el esquema actual de cobros del recurso, el cual se considera que no refleja su valor de escasez.

## **CAPÍTULO II. VALORACIÓN DEL AGUA CON PROGRAMACIÓN LINEAL**

El enfoque neoclásico de la economía plantea que la asignación óptima de los recursos y el equilibrio económico se logran en el mercado siempre y cuando los recursos estén contabilizados a precios de mercado, sin embargo, dentro de la economía existen bienes tales como el agua que no se contabilizan a precios de mercado y generan fallas en el mismo, dado que no existe un mercado propiamente para tales recursos.

Las fallas de mercado llevan a una asignación ineficiente de los recursos y se deben a factores como la existencia de bienes públicos que proporcionan los gobiernos, la concentración de los monopolios, la ausencia de información acerca de los cambios en el mercado y las externalidades.

Las externalidades se generan cuando los costos o las utilidades privadas no son iguales a los costos o las utilidades sociales (Samuelson, et. al. 2001). La presencia de externalidades en los procesos productivos ha generado que no se contabilice el daño que se ocasiona al ambiente, de esta manera la degradación de los recursos naturales y el uso de los mismos no tienen un precio de mercado.

### **2.1. Valoración del agua**

El agua de uso agrícola se emplea como bien intermedio en la producción, por lo que su valor se deriva de la contribución para la obtención del valor de la producción agrícola (Garrido et al, 2007). El cálculo de su valor implica obtener el Valor del Producto Marginal, es decir, su contribución al valor total de la producción. El beneficio marginal equivale a la cantidad máxima que el usuario estaría dispuesto a pagar por el agua (su disposición al pago), lo que da una medida de su demanda (Garrido et al, 2007).

Caponera (1992), citado por Garrido et al, menciona que en todas las legislaciones del agua se plantea el objetivo de lograr un uso racional; para esto es necesario contar con valoraciones precisas y rigurosas de los distintos servicios económicos y ambientales de este recurso.

También señala que el agua tiene tres tipos de valores: de uso, de no uso e intrínsecos. El de uso son los ligados a la utilización directa o indirecta del recurso para satisfacción de una necesidad. Además indica que el valor económico es la suma del valor total de su uso y de los valores de no uso, intrínsecos, etc., engloba todos los beneficios económicos que puede proporcionar a una sociedad, tanto monetarios como aquellos que son menos tangibles como el bienestar económicos de las personas.

## **2.2. Métodos para la valoración de los recursos naturales**

La valoración del agua para uso agrícola suele utilizarse para dos fines, el privado y el público. La valoración de interés privado se suele utilizar en la fijación del precio del agua, que cubra el costo de extracción, mantenimiento y nuevas inversiones en infraestructura hidráulica; en la decisión sobre programación de cultivos y optimización de su uso; en la valoración de daños y perjuicios por inundaciones y; en las decisiones sobre el sistema de riego a adoptar. La valoración de interés público se usa en la fijación de tarifas, en la regeneración de recursos hídricos y en la valoración del daño ambiental (Caballer V. y Guadalajara N. 1998).

De acuerdo con Garrido (2007), algunos métodos de valoración de recursos son:

Métodos de análisis residual. Consiste en imputar como valor económico la diferencia entre los ingresos y todos aquellos costos asociados a los factores de producción distintas del agua. Para ello es necesario elaborar un presupuesto o análisis contable detallado de la empresa.

Métodos de los precios hedónicos. El valor recreativo del medio ambiente (v. gr. de un paisaje) se deduce de los mercados de bienes raíces o de trabajo. La premisa básica es que el valor nominal de un bien raíz (o salario) refleja una corriente de beneficios (o las condiciones de trabajo) y que es posible aislar el valor de la característica ambiental u oportunidad recreativa de que se trate. Es posible que los precios hedónicos sirvan para valorar algunas funciones de los humedales (v. gr., protección contra tormentas, recarga de acuíferos) en términos de su impacto en el valor de las

tierras, en el supuesto de que las funciones de los humedales se reflejen plenamente en los precios de la tierra.

Método de funciones de producción. Se basa en el uso de funciones de producción agronómicas empíricas, estimadas a partir de datos de campo o de experimentos, en las que la cantidad total de agua aplicada al cultivo es la variable explicativa o independiente. Multiplicando dicha función por el precio del producto se obtiene una función de ingresos, y derivando con respecto a la cantidad de agua utilizada se obtiene el ingreso marginal, que se toma como el valor marginal del agua.

Método de valoración contingente. Este método permite estimar empíricamente funciones de demanda a partir de los valores de disposición al pago expresados por los usuarios del agua a través de encuestas. Estos valores pueden obtenerse, o bien preguntando la disposición a pagar por disponer de distintas cantidades de agua, o bien preguntando qué cantidades se utilizaría para distintos posibles precios del agua.

Programación matemática. Este método permite obtener el valor marginal del agua, siendo un método más adecuado para derivar funciones de demanda de agua en sistemas de riego con más de un cultivo. Se basa principalmente en la utilización de modelos de asignación de superficie, agua y otros factores de la producción entre distintos cultivos alternativos. Este método es el utilizado en la presente investigación.

### **2.3. Programación lineal**

Con la programación lineal se modelan fenómenos económicos reales cuyo objetivo es la asignación óptima de recursos escasos entre diversos fines alternativos.

De acuerdo con Casas (1967), la programación lineal es un método matemático que permite optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, denominada función objetivo, que surge a partir de un fenómeno en el que intervienen un cierto número de variables (no negativas) ligadas entre sí por relaciones independientes supuestas. Tales variables se alinean en un sistema de

inecuaciones lineales que establecen las relaciones del fenómeno bajo estudio al cual se le asocian diversas restricciones.

La programación lineal es útil para establecer relaciones económicas en la agricultura debido a que asiste a la asignación óptima de los recursos en los procesos productivos. Ya sea que se trate de la maximización de los beneficios o de la minimización de los costos de producción, la programación lineal modelará el escenario óptimo para el uso de los recursos.

### **2.3.1. El modelo de programación lineal**

Los economistas hacen uso de modelos para entender el mundo. El modelo ilustra la esencia del objeto real, el cual debe semejarse. Se construyen modelos económicos para ilustrar, a menudo en términos matemáticos, la relación entre variables. Estos son útiles dado que permiten omitir detalles irrelevantes y enfocarse en las conexiones importantes (Mankiw 2001).

En el Modelo de Programación Lineal (MPL) los términos clave son los recursos y las actividades ó 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.

El MPL tiene tres componentes básicos. Las variables de decisión que se trata de determinar, el objetivo (la meta) que se trata de optimizar y las restricciones que se deben satisfacer. La definición correcta de las variables de decisión es el primer paso esencial en el desarrollo del modelo. Una vez hecha, la tarea de construir la función objetivo y las restricciones se hace en forma más directa (Taha, 2004).

### **2.3.2. Variables del modelo**

Se observan tres tipos de variables en el MPL, las de decisión, las de holgura y las ficticias (Valdovinos Chávez, V. R. 1995).

Las variables de decisión ó variables de elección 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. En un modelo de dieta en una granja agrícola, por ejemplo, las variables de decisión son las fuentes de nutrientes (alimentos) que se requieren para lograr satisfacer las necesidades mínimas y/o máximas de una especie animal.

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. En la solución del problema primal (maximización de ingresos) las variables de holgura sirven para indicar si los recursos fueron o no utilizados plenamente. Las variables de holgura son un elemento fundamental para la interpretación económica del dual (*ver infra*).

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

### 2.3.3. Función objetivo

En el MPL la función objetivo, minimizar o maximizar, se expresa en forma lineal:

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

La interpretación económica de este problema se presenta a continuación:

**Cuadro 2.1. Interpretación económica del MPL**

Cantidad	Interpretación
$x_j$	Nivel de la actividad j (j = 1, 2, ..., n)
$c_j$	Ganancia unitaria debida a la actividad j
$Z$	Ganancia total debida a todas las actividades

Fuente: Hillier, 2002. 239 pp.

$c_j$  también son llamados precios netos. Y son los coeficientes de la función objetivo y constituye la utilidad neta o costo neto de la actividad.

### 2.3.4 Restricciones del modelo

La función objetivo está sujeta a la disponibilidad de recursos. La disponibilidad de cada uno de ellos se representa en las restricciones por medio de inecuaciones lineales. Las restricciones del modelo se agrupan en dos conjuntos, las funcionales y las de no negatividad (Hillier, 2002) 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 de recursos.

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

En las restricciones de no negatividad se especifica que la solución óptima para el sistema de inecuaciones lineales debe ser positiva.

$$x_j \geq 0$$

### **2.3.5. 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).

### **2.3.6. Supuestos de programación lineal**

Hillier F. S. y Lieberman G.J. (1997) plantea los siguientes supuestos en que se basa la programación lineal:

- Proporcionalidad. La contribución de cada actividad al valor de la función objetivo es proporcional al valor de cada actividad; de manera análoga, la contribución de cada actividad al lado izquierdo de cada restricción funcional es proporcional al nivel de actividad. En consecuencia, la proporcionalidad le da el carácter de lineal a la programación al eliminar cualquier exponente diferente a uno para las variables tanto de la función objetivo como de las restricciones.
- Aditividad. La cantidad total de recursos usados es igual a la suma de los recursos usados en el proceso.
- Divisibilidad. Los recursos pueden utilizarse y los productos pueden obtenerse en cualquier nivel fraccionario, siempre y cuando satisfagan las restricciones funcionales y de no negatividad.

- Certidumbre. Los precios de los insumos y productos que se obtienen del modelo se conocen con certeza y son constantes.
- Finitud. Indica que el número de actividades o procesos disponibles se lleva a cabo en un periodo de análisis y es número finito.
- Competencia perfecta. Se supone que hay una gran cantidad de productores y consumidores, y los agentes económicos son tomadores de precios.

Otros aspectos del MPL es que:

- a) Analiza una gran cantidad de actividades y se puede seleccionar la combinación óptima
- b) Permite incluir una amplia variedad de restricciones y gran cantidad de variables
- c) Permite realizar una amplia gama de escenarios
- d) Permite contestar rápidamente que pasaría si tuviéramos una mayor disponibilidad de recurso

### 2.3.7. El problema primal y el dual

Uno de los descubrimientos más importantes durante el desarrollo inicial de la programación lineal fue el concepto de dualidad y sus muchas e importantes ramificaciones. Este descubrimiento reveló que, asociado a todo problema de programación lineal, existe otro problema línea llamado **dual**. Las relaciones entre el problema dual y el original (llamado **primal**) son en extremo útiles en una gran variedad de situaciones. De hecho la solución óptima del problema dual es la que proporciona los precios sombra (Hillier, 2002).

En programación lineal para un problema de maximización existe un problema de minimización, y viceversa. Expresados en forma general el problema primal sería:

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

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

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

Y el dual correspondiente sería:

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

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

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

El problema dual usa exactamente los mismos parámetros que el problema primal, pero en diferentes lugares. Para recalcar esta comparación, se presentan estos mismos problemas en la notación matricial:

Problema primal

$$\text{Maximizar} \quad Z = cx,$$

$$\text{Sujeta a} \quad Ax \leq b$$

$$\text{y} \quad x \geq 0$$

Problema dual

$$\text{Maximizar} \quad W = yb,$$

$$\text{Sujeta a} \quad yA \geq c$$

$$\text{y} \quad y \geq 0$$

Por lo general en los problemas planteados en programación lineal suelen ser más complicados, por lo que es necesario seguir reglas de transformación. García Salazar (2006) plantea las siguientes reglas de transformación del primal al dual:

1. Si el modelo primal es de maximización el dual correspondiente será de minimización y viceversa.
2. Los signos de las desigualdades en las restricciones del primal, deben invertirse en las restricciones del dual, pero las restricciones de no negatividad sobre las variables de decisión se mantienen siempre.

3. Como matriz de coeficientes de las restricciones del dual, tomar la transpuesta de la matriz de coeficientes de la restricción del primal.
4. El vector fila de los coeficientes de la función objetivo del primal, después de ser transpuesto, debe tomarse como vector columna de constantes en las restricciones del dual. Lo cual genera que el número de variables del dual es igual al número de restricciones del primal y viceversa.
5. De manera similar, el vector columna de las constantes en las restricciones del primal, después de ser transpuesto, se forma en el vector fila de coeficientes de 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**

Maximizar:  $Z = c_1 x_1 + c_2 x_2 + c_3 x_3$

Sujeto a las restricciones:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 \leq b_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 \leq b_3$$

Condición de no negatividad:

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

### **Dual**

Minimizar:  $Z^* = b_1 y_1 + b_2 y_2 + b_3 y_3$

Sujeto a las restricciones:

$$a_{11}J_1 + a_{12}J_2 + a_{13}J_3 \leq c_1$$

$$a_{21}J_1 + a_{22}J_2 + a_{23}J_3 \leq c_2$$

$$a_{31}J_1 + a_{32}J_2 + a_{33}J_3 \leq c_3$$

Condición de no negatividad:

$$J_1, J_2, J_3 \geq 0$$

Para definir el significado económico del problema dual, es necesario desagregar el modelo primal y dual para analizar las respectivas informaciones que proporcionan. Por ejemplo, en el caso de 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; así cada uno de los elementos tales como los coeficientes de la función, los coeficientes de recursos y los coeficientes técnicos tienen su contraparte en el dual (Cuadro 2.2).

**Cuadro 2.2. Interpretación del primal y el dual**

	<b>Primal</b>	<b>Dual</b>
Función objetivo	Maximiza el ingreso neto sobre costos variables generados por la combinación de actividades	Mínimiza 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 óptima del modelo	El valor imputado a una unidad de cada insumo ó solución óptima del modelo
Coefficientes de la función objetivo	Utilidad que genera una unidad de actividad	Disponibilidad u oferta de insumos o restricciones
Coefficientes 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
Coefficientes técnicos de las restricciones	Disponibilidad u oferta de los recursos disponibles. Volumen de existencia	Utilidad que genera una unidad de actividad en términos monetarios

Fuente: Notas sobre modelos de equilibrio espacial e intertemporal. José Alberto García Salazar (COLPOS, 2006).

Para sustentar la dualidad en la programación lineal existen dos teoremas importantes a saber:

Teorema de dualidad I. Si existe una solución óptima para el programa primario entonces el otro programa tiene también una solución óptima y las dos funciones objetivo tienen el mismo valor óptimo (Bronson, 1993).

Teorema de dualidad II. Se refiere a las propiedades de holgura complementaria y plantea: a) Si en la solución óptima una variable de decisión del primal es diferente de cero, la correspondiente variable de holgura del dual será igual a cero y; b) si una variable de holgura del primal es cero, la correspondiente variable de decisión del dual tendrá un valor distinto de cero (Valdovinos Chávez, 1995).

### **2.3.8. Interpretación económica del dual**

Carlos G. V. (1987) describe dos interpretaciones económicas del teorema II de dualidad, las cuales son:

a) Cuando se comparan las variables de holgura del problema primal con las variables reales del problema dual, tiene que ver con la forma en que son imputados los precios en programación lineal. En la solución del problema primal las variables de holgura indican si los recursos fueron o no utilizados plenamente. Si un recurso no es utilizado plenamente su variable de holgura correspondiente a este recurso aparecerá con valor mayor que cero y su precio sombra o costo de oportunidad valdrá por tanto cero (por ser abundante) por lo tanto se imputa a este recurso un precio cero dentro de la función objetivo del problema dual. En forma análoga, si un recurso es utilizado plenamente entonces la variable de holgura de este recurso aparecerá con un valor igual con cero y su precio sombra o costo de oportunidad tendrá algún valor dentro de la función objetivo del problema dual.

b) Cuando se comparan las variables de holgura del problema dual con las variables reales del problema primal que determinan el criterio para decidir si es rentable o no llevar a cabo una actividad dentro del problema primal. Las restricciones del problema dual representan del lado izquierdo el costo de oportunidad de los recursos empleados en producir una unidad de actividad y del lado derecho el beneficio o ingreso neto que genera la producción de una unidad adicional en el problema primal. Si los costos de oportunidad de los recursos empleados para producir una

unidad de actividad son mayores que el ingreso derivado de la producción de la misma, entonces la variable de holgura tomará algún valor y se decidirá no producir nada de la actividad por no ser costeable y viceversa.

Debido a que las restricciones del problema primal de el modelo planteado en esta investigación 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 de 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, precios netos más altos llevarán a un precio sombra mayor, dado que el agua será escasa para fines alternativos más rentables.

Florencio Cruz (2000) resume las características principales del precio sombra, las cuales son:

- Son valores positivos
- Si se utiliza este precio para valorar a los recursos empleados en cada actividad, el ingreso neto de cada una de ellas será imputado completamente a los recursos absorbidos
- Si los recursos empleados en cada actividad se valoran a estos precios no existirá actividad cuyo ingreso neto sea mayor que el valor de los recursos que absorbe
- EL precio sombra puede tomar valores iguales a cero, cuando esto sucede quiere decir que hay un recurso o recursos que no se están empleando en toda su capacidad. En el caso del agua de riego, sino se utiliza óptimamente en toda su capacidad, su precio sombra es cero. Es decir, el agua para riego sobrante habrá de considerarse como una mercancía gratis

### **CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO**

La presente investigación se desarrolló con información del Distrito de Riego 044 (DR044), Jilotepec, Estado de México. Este Distrito de Riego es particularmente pequeño comparado con otros del país, cuyos volúmenes de extracción y aprovechamiento de agua rebasan con creces a los del DR044. En este último se autoriza y se programa la extracción de volúmenes de agua relativamente bajos, debido a que la actividades agrícolas y pecuarias no representan la principal fuente de ingresos para el sostenimiento de las familias en esta región, esto ha provocado, por una parte, el abandono de la infraestructura de riego instalada y, por la otra, la deficiente organización y administración en el manejo del agua de riego.

El Distrito inició su operación en el año 1951, y se creó oficialmente mediante un acuerdo con fecha 24 de noviembre de 1998, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de diciembre de 1998. La superficie total del distrito es de 13,250 hectáreas, cuya zona regable inicialmente se estableció con una extensión de 5,457 hectáreas.

#### **3.1. Localización**

Según el artículo 4º del Reglamento del DR044, el Distrito de Riego 044 Jilotepec se localiza en el norte del Estado de México y forma parte de la Cuenca Alta del Río Pánuco, subcuenca del Río Tula. Geográficamente, su extensión territorial está comprendida entre los paralelos 19º 54' 21" y 20º 05' 21" de latitud norte y entre los meridianos 99º 26' 04" y 99º 34' 49" de longitud WG, con una altura promedio de 2,435 msnm. La mayor superficie, 70.62 por ciento, se ubica en el Estado de México y comprende los municipios de Jilotepec y San Francisco Soyaniquilpan, y el 29.38 por ciento, en el municipio de Tepeji del Río, Hidalgo.

En el mismo artículo 4º del reglamento del DR044 se describen los límites de la zona de riego, los cuales se muestran en la siguiente figura.

**Figura 1. Localización del Distrito de Riesgo 044 Jilotepec, Estado de México**



Fuente: Plan director para la modernización integral del riego del Distrito de Riego 044 Jilotepec (SEMARNAT-CONAGUA-UACH, 2007).

Administrativamente, el DR044 se ubica en la región IX Golfo Norte y depende de la Dirección General del Organismo de Cuenca Golfo Norte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), con sede en Ciudad Victoria, Tamaulipas, a través de la Dirección Local Estado de México.

### **3.2. Patrón histórico de cultivos y rendimientos**

El patrón histórico de cultivos en el DR044 Jilotepec, en los últimos 10 años agrícolas, está integrado por maíz para grano y avena forrajera en el ciclo Primavera – Verano (P-V); avena forrajera y ocasionalmente trigo para grano en el ciclo Otoño – Invierno (O-I) y; pasto y pradera y frutales como cultivos perenes (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.1. Patrón histórico de cultivos en el DR044**

<b>Año agrícola</b>	<b>Otoño – invierno</b>	<b>Primavera - verano</b>	<b>Perenes</b>
1999-2000	Avena forrajera Trigo grano	Maíz grano	Pradera Frutales
2000-2001	Avena forrajera Trigo grano	Maíz grano	Pradera Frutales
2001-2002	Avena forrajera Trigo grano	Maíz grano Avena forrajera Trigo grano	Pradera Frutales
2002-2003	Avena forrajera	Maíz grano Avena forrajera	Pradera Frutales
2003-2004	Avena forrajera	Maíz grano Avena forrajera	Pradera Frutales
2004-2005	Avena forrajera	Maíz grano Avena forrajera	Pradera Frutales
2005-2006	Avena forrajera	Maíz grano Avena forrajera	Pradera Frutales
2006-2007	Avena forrajera	Maíz grano Avena forrajera	Pradera Frutales
2007-2008	Avena forrajera Trigo grano	Maíz grano Avena forrajera	Pradera Frutales
2008-2009	Avena forrajera Trigo grano	Maíz grano Avena forrajera	Pradera Frutales

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 044 Jilotepec (SAGARPA, 2009).

El cultivo de maíz ha sido el más importante en cuanto a superficie asignada, sembrada y regada, con una superficie máxima de 4,400 hectáreas en el año agrícola 2006 – 2007, cifra por debajo del los 4,950 hectáreas asignada a dicho cultivo. Sólo en los últimos 5 años se ha establecido avena forrajera en el ciclo O-I alcanzando una superficie máxima de 150 hectáreas en dicho ciclo y en P-V 200 hectáreas como máximo. Por su parte el pasto y pradera ha sido constante en 150 hectáreas en los últimos cuatro años agrícolas. Frutales se mantuvo en 50 hectáreas, cayendo a 30 en el año 2008 – 2009 (Cuadro 3.2).

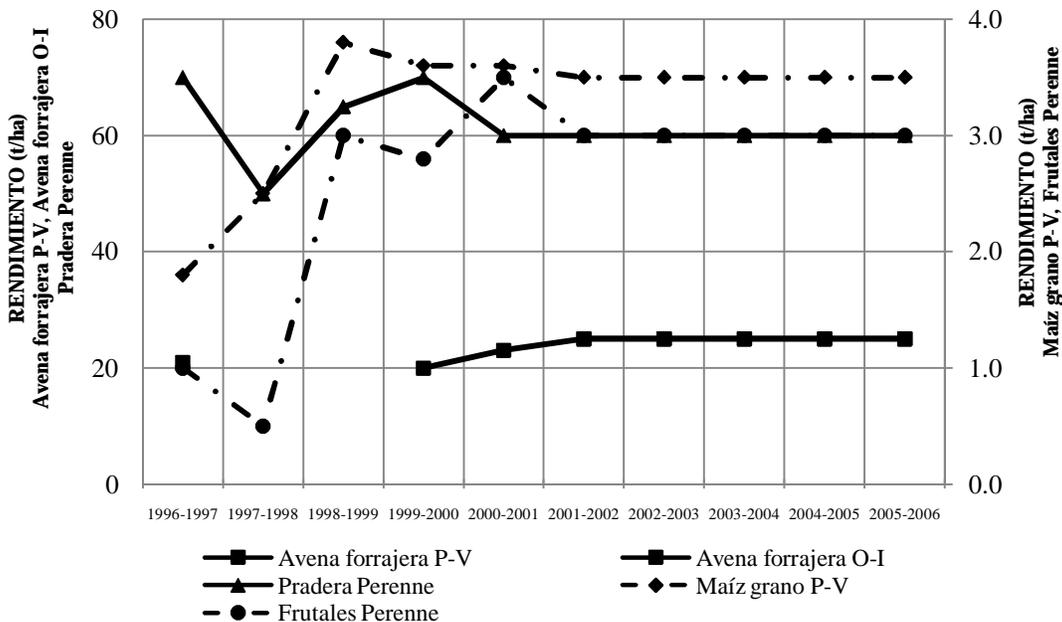
**Cuadro 3.2. Superficies del patrón histórico de cultivos en el DR044**

Cultivo/Ciclo/Año agrícola	2005-2006	2006-2007	2007-2008	2008-2009
Otoño - Invierno				
Avena forrajera	100	150	150	80
Trigo grano	-	-	80	10
Primavera – Verano				
Maíz grano	4134	4400	4256	3517
Avena forrajera		200	120	
Perenes				
Pasto y pradera	150	150	150	150
Frutales	50	50	50	30

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 044 Jilotepec (SAGARPA, 2009).

De acuerdo con el “Plan director para la modernización integral del riego del distrito de riego 044, Jilotepec” los rendimientos que se obtienen en el DR son bajos, con relación a los esperados en una zona de riego. Las propias estadísticas del DR señalan que los rendimientos promedio en los últimos 5 años son 3.5, 25, 60 y 3 t/ha, para el maíz, avena forrajera, pradera y frutales, respectivamente (Gráfica 3.1).

**Gráfica 3.1. Evolución de los rendimientos de los principales cultivos en el DR044**



Fuente: Plan director para la modernización integral del riego del Distrito de Riego 044 Jilotepec (SEMARNAT-CONAGUA-UACH, 2007).

### 3.3. Padrón de usuarios

Para hacer uso del agua de riego del Distrito, los usuarios deben estar reconocidos en el Padrón de usuarios conforme lo señala el capítulo V del reglamento del DDR044 y el capítulo IV del Reglamento del Módulo.

Dicho padrón, actualizado en 2006 y publicado en el 2007, señala la existencia de 2,390 derechos de riego correspondientes a 2,921 usuarios, con una superficie total en riego de 5,471.73 has, la mayor proporción en el municipio de Jilotepec, seguido por Soyaniquilpan (Cuadro 3.2).

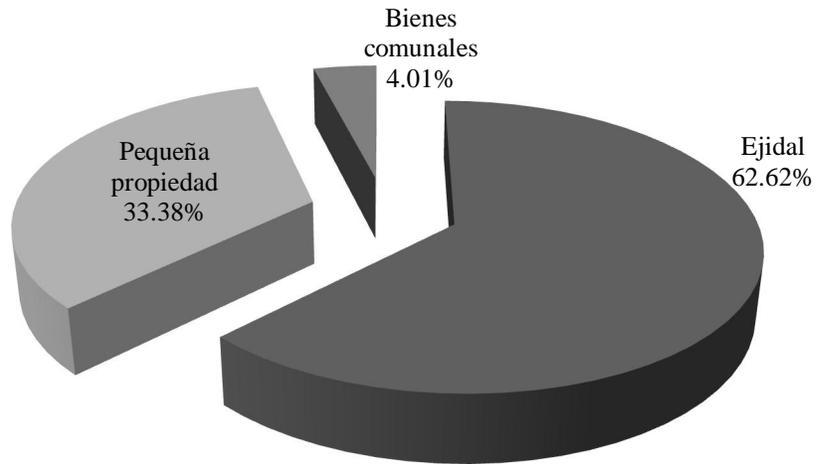
**Cuadro 3.3. Superficie de Riego por tipo de tenencia de la tierra y Municipio**

Tenencia	Municipio			Total
	Jilotepec	Tepeji del Río	Soyaniquilpan	
Ejido	1,243.80	16.00	1,367.41	<b>2,627.21</b>
Pequeña propiedad	2,390.63	41.80	240.20	<b>2,672.63</b>
Bienes comunales	171.90	-	-	<b>171.90</b>
<b>Total</b>	<b>3,806.32</b>	<b>57.80</b>	<b>1,607.61</b>	<b>5,471.73</b>

Fuente: Plan director para la modernización integral del riego del Distrito de Riego 044 Jilotepec (SEMARNAT-CONAGUA-UACH, 2007).

El 62.62 por ciento de los usuarios son ejidatarios, el 33.38 por ciento son pequeños propietarios y el 4.01 por ciento son ejidatarios dentro del régimen comunal (Gráfica 3.2).

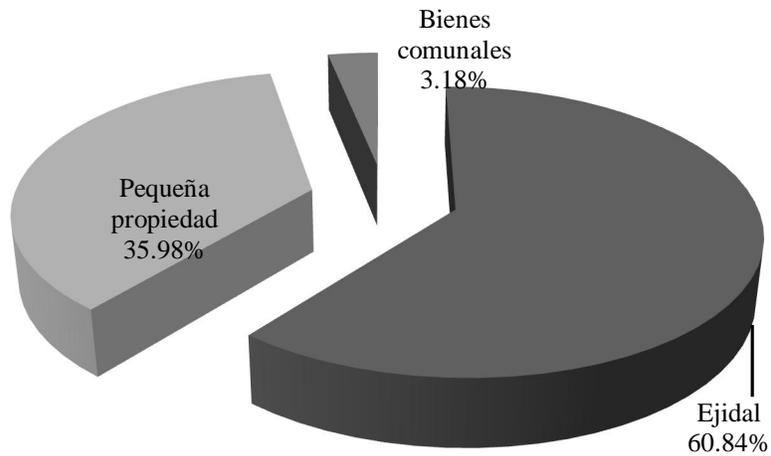
**Gráfica 3.2. Proporción de usuarios por tipo de tenencia de la tierra**



Fuente: Elaborado con base en el Anexo II, Cuadro II-9.

El 60.84 por ciento de los derechos de riego corresponden a ejidatarios, el 35.98 por ciento a pequeños propietarios y el 3.18 por ciento a comuneros (Gráfica 3.3).

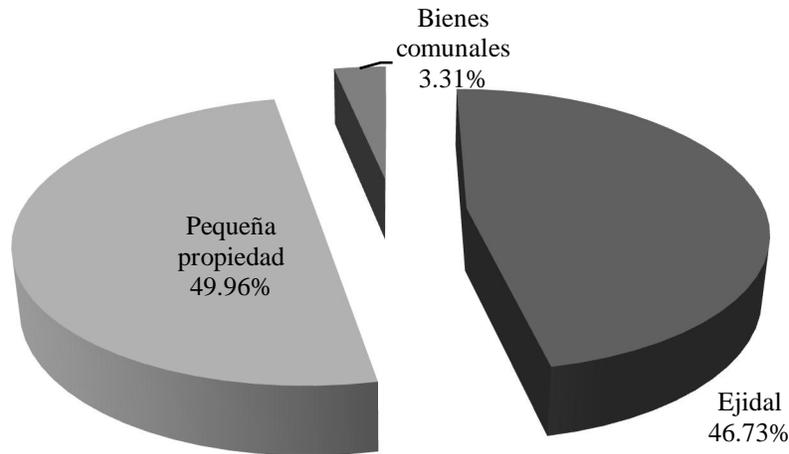
**Gráfico 3.3. Derechos de riego por tipo de tenencia de la tierra**



Fuente: Elaborado con base en el Anexo II, Cuadro II-9.

El 46.73 por ciento de la superficie de riego es ejido parcelado, el 49.96 por ciento es pequeña propiedad y el 3.31 por ciento es ejido de régimen comunal (Gráfica 3.4).

**Gráfica 3.4. Superficie regada por tipo de tenencia de la tierra**



Fuente: Elaborado con base en el Anexo II, Cuadro II-9.

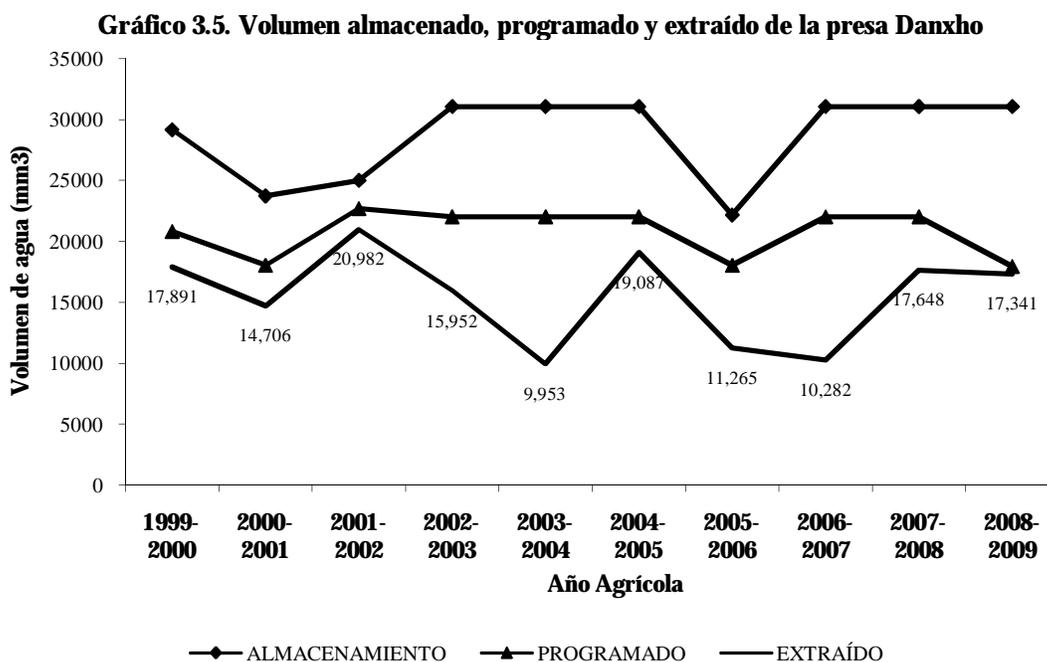
### **3.4. Fuentes de abastecimiento de agua**

De acuerdo con el Artículo 5 del reglamento del Módulo, actualizado en 2007, las fuentes de abastecimiento de agua del DDR044 son las aguas superficiales que escurren por el cauce del Río Coscomate y sus afluentes, los ríos Chapa de Mota y Las Monjas, que son almacenadas en la **presa Danxho**, cuyo volumen de extracción promedio es de 23,475 mm<sup>3</sup> a nivel de presa. Las aguas superficiales que escurren, aguas abajo de la presa de almacenamiento, se aprovechan con las presas derivadoras Coscomate 0+000, Coscomate 0+680 y Manzanilla. Además se cuenta con escurrimientos de aguas residuales, provenientes del poblado de Jilotepec, las cuales descargan al río Coscomate, mezclándose con agua proveniente de la presa. Este volumen no se cuantifica, ya que en la actualidad es mínimo. (2007, Reglamento del Módulo “Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 044 Jilotepec, México A.C.”).

Oficialmente, el volumen concesionado a la Asociación de usuarios es de 12,156.6 mm<sup>3</sup>, mientras que el volumen sustentable, estimado por la Gerencia del Distrito de Riego de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), es de 18,350 mm<sup>3</sup>. Sin embargo, considerando la

disponibilidad de agua al inicio de los últimos años agrícolas, el Organismo de Cuenca Golfo Norte, ha autorizado hasta 22,000 mm<sup>3</sup>, cifra superior a los valores mencionados anteriormente.

En los últimos 10 ciclos agrícolas el régimen de agua almacenada, programada y extraída de la presa Danxho ha variado considerablemente. Sobresale el hecho de que el volumen de extracción ha estado por debajo del programado, a excepción del último año agrícola. El promedio de almacenamiento de los 10 ciclos agrícolas es de 28,635 mm<sup>3</sup>, en el año agrícola 2005-2006 se tuvo el menor volumen de almacenamiento con 22,174 mm<sup>3</sup>. El promedio del volumen programado es de 20,741 mm<sup>3</sup>. El volumen de extracción promedio es de 15,510 mm<sup>3</sup>; la extracción más baja fue en el año agrícola 2003-2004 con 9,953 mm<sup>3</sup> y la más alta en el año agrícola 2001-2002 con 20,982 mm<sup>3</sup> (Gráfica 3.5).



Fuente: Elaborado con base al Anexo II, Cuadro II-4.

Además de la presa de almacenamiento, “Danxho”, el DR044 cuenta con tres presas derivadoras (Coscomate, Manzanilla y 0+680). Existen 170.688 km de canales, de los cuales 94.128 km son canales principales y 76.560 km corresponden a la red secundaria, mediante los cuales se da el servicio de riego a 5471.73 ha. La red de caminos es de 242.192 km (2007, SEMARNAT, CONAGUA, UACH).

### **3.5. Operación del Distrito de Riego**

Como se mencionó anteriormente, el DR044 inició operaciones en el año de 1951, con la construcción de la presa “Danxho” y se creó formalmente 47 años más tarde, mediante el Acuerdo de Establecimiento del 24 de noviembre de 1998, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de diciembre del mismo año.

En acatamiento a lo estipulado en la Ley de Aguas Nacionales (LAN) y su Reglamento, sobre la transferencia de la operación, conservación y administración de la red menor de la Infraestructura de los Distritos de Riego a los usuarios, durante el año 1992 se realizó la promoción y concertación para la transferencia del DR a los usuarios. Apoyados por la Comisión Nacional del Agua, los usuarios se constituyeron en la “Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 044 Jilotepec, México, A. C.”, para recibir mediante un Título de Concesión y una carta de aceptación y compromiso, el volumen de agua para riego, la infraestructura y equipo, así como las funciones y responsabilidades para operar, conservar y administrar el Módulo Único de Riego.

Desde el inicio de operaciones hasta su transferencia a los usuarios, efectuada en 1992, el Distrito de Riego estuvo conformado por una unidad única de Riego, integrada por cinco secciones. A 15 años de su transferencia a los usuarios, el DR044 sufre de carencia de recursos lo que ha llevado a un deficiente servicio a sus usuarios y falta de mantenimiento a su infraestructura; resultando en un mayor deterioro de la misma y limitado ingreso a los usuarios.

Normativamente, el Distrito de Riego opera en el marco de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento, y demás disposiciones normativas de la Comisión Nacional del Agua y de otras dependencias relacionadas y, la Asociación de usuarios que lo conforma, se constituyó en ese marco legal y jurídico.

Los reglamentos internos del DR044 se conforman por un Reglamento para el Distrito de Riego, un Reglamento para el Módulo y los Estatutos Sociales de la Asociación de Usuarios.

### 3.5.1. Distribución y administración de las aguas

La Distribución y planeación de riego se realiza por año agrícola, empieza el primero de octubre de cada año y termina el 30 de septiembre del siguiente. La Comisión Nacional del Agua realiza la entrega del agua en bloque (de manera volumétrica) a la Asociación de Usuarios del Distrito de Riego 044 en los tres puntos de control, denominados y localizados según se estipula en el Artículo 6 del Reglamento del Módulo (Cuadro 3.4).

**Cuadro 3.4. Puntos de Control del DR044, Jilotepec**

Núm.	Ubicación
1	0+523 del Canal Principal Guadalupe
2	0+000 del Canal Principal Del Monte
3	0+200 del Canal Principal Coscomate

Fuente: Reglamento del Módulo del DR044.(SEMARNAT-CONAGUA-UACH, 2007)

El volumen de agua por usuario a nivel parcelario, lo determina internamente la Asociación de usuarios del distrito con base en la superficie con derecho a riego del mismo y al volumen unitario neto por hectárea para el módulo, el cual se obtiene restándole al volumen de agua a nivel punto de control, las pérdidas de conducción de su red interior de canales hasta la toma parcelaria, y dividiendo ese resultado entre la superficie con derecho a riego de todos los usuarios.

La entrega de agua se hace de acuerdo a la demanda semanal y consiste en modificar los volúmenes suministrados con base en las necesidades de riego de los usuarios en el periodo de una semana, y no puede ser mayor a la capacidad operativa de los canales y a la programación por ciclo agrícola.

Cabe destacar que la entrega del agua a los usuarios se realiza por superficie, lo cual implica que el usuario utiliza un caudal determinado por el tiempo que sea necesario, hasta que termina de regar la superficie que pagó. Bajo esta situación, existe poco incentivo para los usuarios en mejorar la eficiencia de aplicación del riego.

Los volúmenes de agua para uso doméstico, público, urbano e industrial y otros, se otorgan mediante concesión o asignación por parte de la Comisión Nacional del Agua, considerando como límite los derechos asentados en el Registro Público de los Derechos de Agua.

### **3.5.2. Plan de Riegos**

El plan de riegos a seguir en un año agrícola es elaborado al inicio de éste por la Comisión Nacional del Agua a través de la Jefatura del Distrito de Riego de acuerdo con los lineamientos generales de política agrícola estipulados por la delegación regional de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

De acuerdo a la dotación de agua asignada, la Asociación de usuarios elabora su plan de Riegos y notifica a cada usuario respecto al volumen que le corresponde en el año agrícola. Esto a su vez se hace con el propósito de que los usuarios elaboren el programa de cultivos y definan las superficies regables de acuerdo a la demanda de agua y a la eficiencia de aplicación hasta nivel parcela.

La Comisión Nacional del Agua y la Asociación de Usuarios elaboran el plan de riegos de acuerdo a un volumen neto por riego asignado para los cultivos básicos, los cuales son; para maíz que es de 2,160 m<sup>3</sup>, para avena de 1,700 m<sup>3</sup>, para pradera de 1,350 m<sup>3</sup>, y para frutales 2,150 m<sup>3</sup>; para el abrevadero se manejan 1,000 m<sup>3</sup>.

El volumen de agua asignado para maíz se suministra en uno o dos riegos: uno al inicio del ciclo (P-V), durante los meses de marzo y abril, y otro riego, que se denomina de auxilio, se aplica según las condiciones del temporal en los meses de mayo y junio; el volumen asignado a la avena forrajera se suministra a inicios del ciclo agrícola, entre los meses de octubre y noviembre, para el ciclo Otoño – Invierno y, para Primavera – Verano en los meses de marzo y abril; el de la pradera se suministra desde los meses de noviembre hasta marzo o abril, dando de 4 a 5 riegos; y para los frutales el volumen asignado se da entre los meses de marzo y abril el primer riego y, en ocasiones, en los meses de mayo y junio el segundo riego. El volumen de abrevadero se otorga

durante los meses de diciembre y enero, suministrándose las veces que se solicite, siempre y cuando haya disponibilidad de agua en la presa.

### **3.5.3. Estructura tarifaria de agua**

De acuerdo con el artículo 77 del Reglamento del Distrito de Riego, la cuota por servicio de riego que pagarán los usuarios debe estar compuesta de dos partes:

1. La que corresponda a la Asociación de usuarios, y que deberá ser suficiente para cubrir la totalidad de los costos normales de operación, conservación, mantenimiento y administración del Módulo correspondiente, misma que será propuesta por la Asociación a la Comisión Nacional del Agua, para su estudio y autorización.
2. La que corresponda a la Comisión Nacional del Agua por el suministro de agua en bloque, determinada por la Jefatura del Distrito, con la participación de la Asociación de usuarios, conforme a las disposiciones legales vigentes y que deberá ser suficiente para cubrir los costos normales de operación, conservación, mantenimiento y administración de las obras de cabeza, de los caminos de acceso y de las actividades de Ingeniería de Riego y Drenaje, así como de la supervisión general del Distrito de Riego, observando las disposiciones legales vigentes.

Las cuotas que se estipulan en el artículo 77 del Reglamento se integran de acuerdo con el siguiente procedimiento:

1. Se formula el presupuesto normal anual (M) de operación, conservación y administración de las obras comprendidas dentro del Distrito (red de canales principales, red canales laterales, red de drenaje, sus respectivos caminos y demás infraestructura según “El Título de Infraestructura”);
2. Se formula el presupuesto normal anual (**C**) de operación, conservación y administración de las obras que quedan a cargo de Comisión Nacional del Agua (obras de cabeza) incluyendo además las actividades de Ingeniería de Riego y Drenaje y la supervisión general del Distrito;

3. Se determina el volumen total de agua disponible a distribuir en el Distrito (**V**), medido a nivel de puntos de control del Módulo;
4. Se determina el volumen neto (**Vn**) a entregar en parcela a los usuarios, multiplicando el volumen (**V**) por la eficiencia (**E**) media de conducción dentro del Módulo, misma que será propuesta por la Asociación de usuarios y tramitada por la Comisión Nacional del Agua ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público:

$$Vn = (V)(E)$$

5. Se calcula la cuota en pesos por millar de metros cúbicos medido en los puntos de control del Módulo (**Sb**), que pagará la Asociación a la Comisión Nacional del Agua por el suministro de agua en bloque, con la siguiente expresión:

$$Sb = \frac{(C) \text{ en pesos}}{(V) \text{ en millares de m}^3}$$

6. Se determinará la parte (**Sbi**) de la cuota que corresponde a la Comisión Nacional del Agua y que se carga al usuario, por el suministro del agua en bloque a Asociación de Usuarios en sus puntos de control, pero transformado de acuerdo al volumen entregado en parcela, de la siguiente forma:

$$Sbi = \frac{(Sb) \text{ en pesos por millar de m}^3}{(E) \text{ en tan to por uno}}$$

7. Se determina la parte (**Smi**) de la cuota que se cargará al usuario y con la cual se quedará la Asociación de Usuarios, de acuerdo al volumen entregado en parcela, con la siguiente expresión:

$$Smi = \frac{(M) \text{ en pesos}}{(Vn) \text{ en millares de m}^3}$$

8. La cuota (**Cui**) en pesos por millar de metros cúbicos medido en parcela, que pagará el usuario a Asociación de Usuarios, estará dada por la siguiente expresión:

$$Cui = Sbi + Smi$$

o bien:

$$(Cui) = \frac{(Sb)}{(E)} + \frac{(M)}{(Vn)}$$

El anterior esquema de cobro en la realidad no se aplica, y por lo mismo los incrementos de las cuotas poco o nada tienen que ver con las necesidades de recursos económicos, ni mucho menos con pagar el agua como un insumo en el proceso productivo. Según se manifiesta en el DR044, Jilotepec, existen dificultades para aumentar la cuota de riego, debido a situaciones culturales de los usuarios; puesto que estos se muestran renuentes a aceptar un incremento y sin recursos económicos el Distrito poco puede hacer para mitigar las causas del deterioro a la infraestructura de riego. La Asociación ha incrementado las cuotas paulatinamente, sin embargo, éstas aún se encuentran por debajo de las cuotas que se cobrarían de aplicarse el mecanismo estipulado en el Reglamento.

Para el cobro de agua, la Comisión Nacional del Agua y la Asociación de usuarios toman como referencia cuatro cultivos, maíz para grano, avena forrajera, pradera y frutales, además de agua para abrevadero. El costo se cobra por hectárea por riego de acuerdo con cada cultivo. Así, se tiene que en el último año agrícola el cultivo de frutales es el que paga las cuotas más altas, 161 \$/ha/rgo, y la más baja el maíz con 80.5 \$/ha/rgo (Cuadro 3.5).

**Cuadro 3.5. Evolución de Cuotas de Riego en el DR044**

<b>Año Agrícola</b>	<b>Maíz \$/ha/RGO</b>	<b>Avena y trigo \$/ha/RGO</b>	<b>Frutales \$/ha/RGO</b>	<b>Pradera \$/ha/RGO</b>	<b>Abrevadero \$/Mm3</b>
1999-2000	60	77	90	77	77
2000-2001	65	82	140	82	250
2001-2002	65	82	140	82	250
2002-2003	65	82	140	82	250
2003-2004	65	82	140	82	250
2004-2005	65	82	140	82	250
2005-2006	65	82	140	82	250
2006-2007	65	82	140	82	250
2007-2008	80.5	100	161	100	287.5
2008-2009	80.5	100	161	100	287.5

FUENTE: Elaboración propia con datos de SEMARNAT-CONAGUA-UACH, 2007 y calendario de ingresos para 2007-2008 y 2008-2009 de la Jefatura del Distrito de Riego.

Las cuotas de riego en los 10 ciclos agrícolas han sufrido dos cambios; el primero de ellos en el año agrícola 2000-2001 y el segundo seis años agrícolas después.

Después del año agrícola 2000-2001 las estrategias para obtener más recursos cambiaron en el módulo, elevando su cuota respecto al año anterior (1999-2000) en todos los cultivos, definiendo que el costo de la hectárea de maíz aumentara 8 por ciento, avena y pradera 6 por ciento, frutales 56 por ciento y abrevadero 225 por ciento.

En el año agrícola 2007-2008 se da el segundo aumento en las cuotas de riego, elevándolas en todos los cultivos respecto al ciclo 2006-2007. El costo de la hectárea de maíz aumenta 24 por ciento, el de avena, trigo y pradera 22 por ciento, los frutales 15 por ciento, al igual que el abrevadero.

No obstante los ajustes mencionados, las nuevas cuotas no han permitido tener autosuficiencia financiera, dado que los aumentos han sido para cubrir los gastos básicos de la Asociación de usuarios, y no considerar el total de gastos en actividades de conservación de la infraestructura del DR044.

De acuerdo con la Jefatura del Distrito, la proporción de cumplimiento en el pago de la cuota de riego es del 100 por ciento, ya que dicho pago es el requisito para tener agua en las parcelas. Sin embargo, existen algunos factores importantes, tales como el hecho de que el usuario puede hacer los riegos que considere necesarios en sus parcelas bajo el requisito de cubrir su respectivo pago. Sin embargo, la cuota por *ha-riego* es relativamente baja, ya que no permite el manejo óptimo del agua y el mantenimiento de la infraestructura; y por ende no incentiva a los usuarios a mejorar su tecnología de riego al tener disponible el volumen “que ellos consideran necesario” en cada ciclo productivo.

Esta situación le ha acarreado problemas financieros a la Asociación, pues la Comisión Nacional del Agua les cobra el agua en bloque de manera volumétrica, contabilizándola en el punto de control ubicado en la presa. La cuota que cobra la CONAGUA por bloque de agua ha evolucionado lentamente en los últimos 10 años agrícolas, pasando de 6.53 pesos por mm<sup>3</sup> en el año agrícola 1999-2000 a 10.9206 pesos por mm<sup>3</sup> en el año 2008-2009 (cuadro 3.6).

**Cuadro 3.6. Evolución de la cuota de Riego en el Módulo**

<b>Año Agrícola</b>	<b>Costo del agua en bloque (\$/mm3)</b>
1999-2000	6.5300
2000-2001	7.4533
2001-2002	7.4533
2002-2003	9.4206
2003-2004	9.4206
2004-2005	9.4206
2005-2006	9.4206
2006-2007	9.4206
2007-2008	10.9206
2008-2009	10.9206

Fuente: Elaboración propia con datos SEMARNAT-CONAGUA-UACH, 2007 y calendario de Ingresos para 2007-2008 y 2008-2009 de la Jefatura del Distrito de Riego.

El monto que le corresponde a la Comisión Nacional del Agua se obtiene de aplicar el costo unitario de 10.9206 pesos por mm<sup>3</sup> de agua, al volumen entregado por la Asociación de Usuarios, medida en los respectivos puntos de control. Sin embargo, el cobro a los usuarios se hace por superficie, situación que trae consigo problemas financieros, ya que al no tener control de los volúmenes aplicados, el monto recaudado no alcanza para cubrir el porcentaje que le corresponde a la CONAGUA, quien debe pagar directamente a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHyCP).

## **CAPÍTULO IV. FORMULACIÓN DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL**

Esta investigación se desarrolla con información del Distrito de Riego 044, Jilotepec, Estado de México del año agrícola 2008 – 2009. Se hace uso de la información estadística del Distrito proporcionada por las autoridades oficiales la Jefatura de Distrito de Riego 044 “Jilotepec” que pertenece a la Dirección Local Estado de México de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), de la Delegación Regional Jilotepec de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de México y el Módulo Único de Riego.

Se diseñó un Modelo de Programación Lineal (MPL) cuyos resultados permiten contrastar las hipótesis y lograr los objetivos planteados. Este modelo tiene como función objetivo maximizar el Ingreso Neto Total (INT) del Distrito de Riego sujeto a la disponibilidad de tierra cultivable, agua de riego, mano de obra y demás restricciones de máximos y mínimos por cultivo y otros usos no agrícolas como abrevadero y uso de agua doméstico.

### **4.1. Actividades del modelo**

Se incluyeron 37 actividades en el modelo. Las actividades de cultivo y cosecha son 15 y 22 de uso de agua no agrícola. Las primeras 12 corresponden a cultivos cíclicos y 3 a cultivos perenes. Los cultivos incluidos en el modelo son aquellos que se han establecido en los últimos cinco años, esto debido a que dentro de los últimos cinco ciclos agrícolas el establecimiento de estos cultivos ha sido persistente, y fueron divididos por ciclo agrícola.

Para el ciclo Otoño – Invierno se consideran cinco actividades de cultivos, de avena forrajera, maíz para grano y trigo para grano. En este ciclo la avena forrajera ocupa la mayor superficie cultivada (Cuadro 4.1).

Para el ciclo Primavera – Verano se consideran siete actividades de cultivo, de avena forrajera, trigo y maíz para grano; además de dos actividades de cultivos perenes. El maíz para grano ocupa la mayor superficie cultivada en este ciclo (Cuadro 4.1).

**Cuadro 4.1. Actividades del modelo de programación lineal, por ciclo y perenes**

<b>Ciclo</b>	<b>Actividades</b>
Ciclo Otoño – Invierno	Cultivo y cosecha de avena de noviembre
	Cultivo y cosecha de avena de diciembre
	Cultivo y cosecha de avena de enero
	Cultivo y cosecha de maíz de febrero
	Cultivo y cosecha de trigo de noviembre
<b>Ciclo</b>	<b>Actividades</b>
Ciclo Primavera – Verano	Cultivo y cosecha de avena de marzo
	Cultiva y cosecha de avena de abril
	Cultivo y cosecha de avena de mayo
	Cultivo y cosecha de trigo de abril
	Cultivo y cosecha de maíz de marzo
	Cultivo y cosecha de maíz de abril
	Cultivo y cosecha de maíz de mayo
<b>Ciclo</b>	<b>Actividades</b>
Perenes	Cultivo y cosecha de pasto y pradera de noviembre
	Cultivo y cosecha de pasto y pradera de diciembre
	Cultivo y cosecha de frutales

Fuente: Elaboración propia con información del MPL.

Como cultivos perenes se considerarán, el establecimiento de pasto y pradera y árboles frutales.

#### **4.2. Cuantificación de precios netos**

Los precios netos son el resultado de restar el ingreso bruto a los costos totales de producción. El primero de ellos es el producto del rendimiento promedio por el precio de mercado regional mensual promedio durante el mes de la cosecha; el segundo fue obtenido de sumar los costos de preparación del terreno, siembra o plantación, fertilización, labores culturales, riego y drenaje y cosecha y acarreo. En todos los casos se le restó el costo de la cuota por agua por ser uno de los parámetros a estimar con el MPL (Cuadro 4.2).

**Cuadro 4.2. Precios netos de las actividades de cultivo del modelo**

<b>Actividad</b>	<b>Rendimiento (ton-pacas)</b>	<b>Precio Mensual (\$)</b>	<b>Ingreso Bruto (\$)</b>	<b>Costo de Producción (\$)</b>	<b>Ingreso Neto (\$)</b>
Avena de noviembre	30	368.64	11059.2	10184.30	874.90
Avena de diciembre	30	388.70	11661	10184.30	1476.70
Avena de enero	30	419.44	12583.2	10184.30	2398.90
Avena de marzo	30	427.80	12834	10184.30	2649.70
Avena de abril	30	427.39	12821.7	10184.30	2637.40
Avena de mayo	30	421.90	12657	10184.30	2472.70
Trigo de noviembre	3.5	3850.00	13475	6708.20	6766.80
Trigo de abril	3.5	3707.58	12976.53	6708.20	6268.33
Maíz de febrero	3.5	3091.01	10818.535	10162.40	656.14
Maíz de marzo	3.5	3088.03	10808.105	10162.40	645.71
Maíz de abril	3.5	3159.52	11058.32	10162.40	895.92
Maíz de mayo	3.5	3129.34	10952.69	10162.40	790.29
Pradera de noviembre	1400	50.00	70000	61132.99	8867.01
Pradera de diciembre	1400	50.00	70000	61132.99	8867.01

Fuente: Elaborado con base al Anexo II, Cuadros II-2, II-5, II-6, II-7 y II-8.

### **4.3. Restricciones**

El modelo diseñado está sujeto a 62 restricciones. Las mismas se agrupan en los siguientes rubros y corresponden a la disponibilidad de recursos durante el año agrícola 2008 – 2009:

- 11 Restricciones de tierra cultivable disponible por mes durante el año agrícola
- 11 Restricciones de agua disponible por mes durante el año agrícola
- 11 Restricciones de mano de obra disponible por mes durante al año agrícola
- 7 Restricciones de superficie máxima sembrada por cultivo cíclico por ciclo y perenes
- 22 Restricciones de uso del agua para fines no agrícolas, que incluye abrevadero y uso doméstico

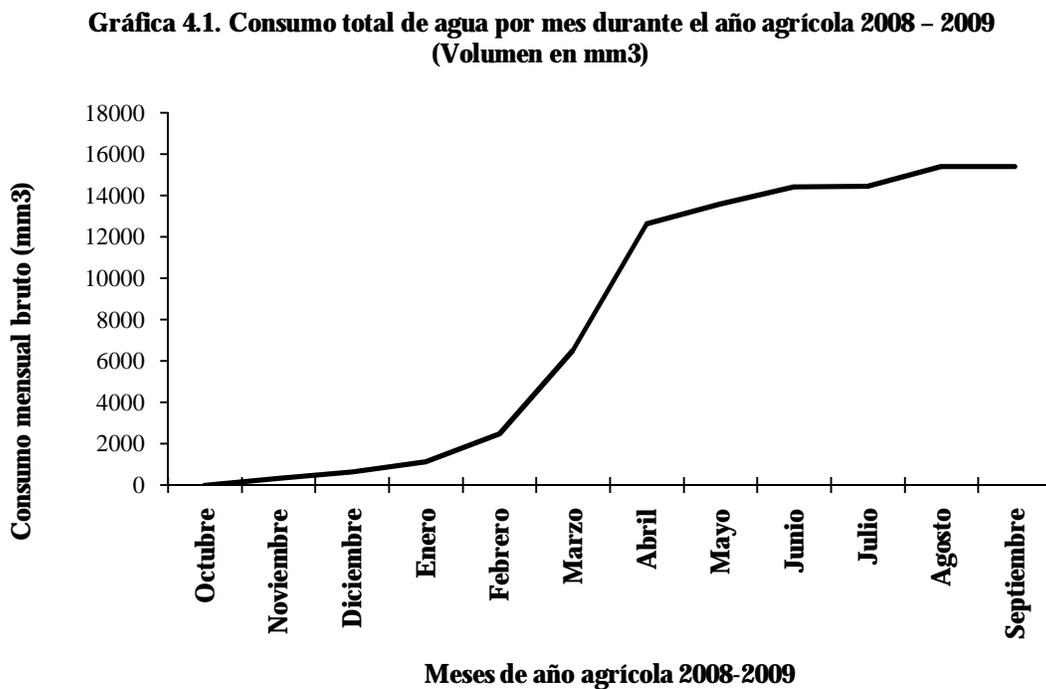
### 4.3.1. Tierra

La disponibilidad total de tierra cultivable fue estimada en 5,472 hectáreas de acuerdo con el “Plan director para la modernización integral del riego del distrito de riego 044 Jilotepec”. Esta cantidad se considera como el total de tierra cultivable por mes, y en el modelo se considera el hecho de que los cultivos hacen uso de tierra durante varios meses.

### 4.3.2. Agua

La disponibilidad de agua en el modelo es el volumen bruto extraído y consumido por mes en el año agrícola 2008 – 2009 cuantificado en millar de metros cúbicos (mm<sup>3</sup>), de acuerdo con las estadísticas del Módulo de Riego.

El agua extraída es relativamente baja durante el ciclo O-I, aumentando paulatinamente a lo largo de los meses, alcanzando su pico en el ciclo P-V (Gráfica 4.1).



Fuente: Elaborado con base al Anexo II, Cuadro II-1.

### 4.3.3. Mano de obra

Para estimar la disponibilidad de mano de obra mensual se utilizó el procedimiento usado por Florencio Cruz (2000). Como resultado se obtuvo la disponibilidad mensual de mano de obra por 62,593 jornales por mes, básicamente trabajo de los usuarios empadronados en el DR044. Esta cifra se obtiene de multiplicar 2,921 usuarios por 21.43 jornales por usuario por mes. Se considera un total de 4.29 semanas por mes (30 días por mes entre 7 días por semana) y cinco días laborados por semana.

En resumen, se considera la disponibilidad de tierra constante por mes en 5,472 hectáreas, mano de obra mensual constante por 62,593 jornales y agua de acuerdo con el volumen de extracción en el año agrícola estudiado (Cuadro 4.3).

**Cuadro 4.3. Disponibilidad mensual de recursos**

<b>Mes</b>	<b>Tierra</b>	<b>Agua</b>	<b>Mano de obra</b>
Noviembre	5472	332	62593
Diciembre	5472	647	62593
Enero	5472	1139	62593
Febrero	5472	2499	62593
Marzo	5472	6510	62593
Abril	5472	12629	62593
Mayo	5472	13578	62593
Junio	5472	14414	62593
Julio	5472	14461	62593
Agosto	5472	15405	62593
Septiembre	5472	15405	62593

Fuente: Elaborado con datos del Módulo de riego y estimación de mano de obra (CONAGUA, 2009).

#### 4.3.4. Superficie máxima por cultivo

Las restricciones de superficies máximas corresponden al máximo observado durante los cuatro años agrícolas. Así, se tiene un máximo de 150 hectáreas de avena forrajera en el ciclo O-I y de 4,400 de maíz en el ciclo P-V (Cuadro 4.4).

**Cuadro 4.4. Promedio de superficies mínimas y máximas por cultivo en los últimos cuatro años agrícolas (Superficie en has)**

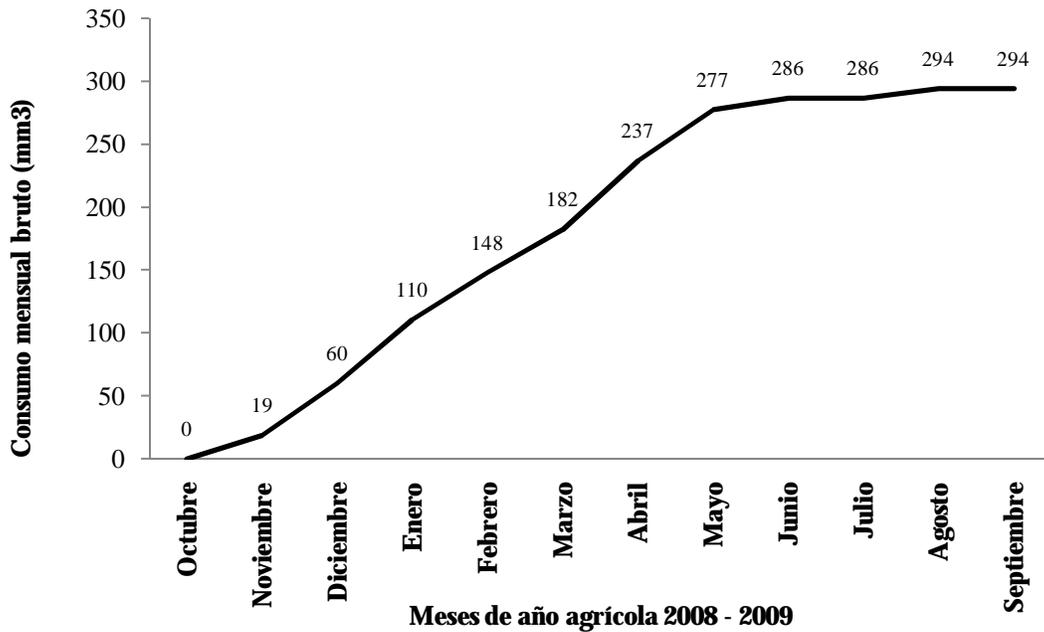
	Mínimo	Máximo
Otoño - Invierno		
Avena forrajera	80	120
Trigo grano	10	80
Primavera - Verano		
Maíz	3517	4400
Avena forrajera	120	200
Perenes		
Pasto y pradera	150	150
Frutales	30	50

Fuente: Elaborado con datos del Módulo de riego y estimación de mano de obra (CONAGUA, 2009).

#### 4.3.5. Uso de agua para fines no agrícolas

Las restricciones de agua para fines no agrícolas incluyen la destinada a abrevadero y a uso doméstico. El abrevadero incrementa su uso paulatinamente al principio del año agrícola, llegando a un máximo de 294 mm<sup>3</sup> (Gráfica 4.2).

**Gráfica 4.2. Consumo de agua en abrevadero por mes  
(Volumen en mm<sup>3</sup>)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo II, Cuadro II-1.

El agua destinada al consumo humano se considera constante por mes, en 27.5 mm<sup>3</sup>.

#### **4.4. Coeficientes del modelo**

Los coeficientes del modelo fueron determinados con base en el paquete tecnológico por cultivo en el Distrito de Riego. Se establecen así los requerimientos de tierra, agua, mano de obra y de consumo de agua en actividades no agrícolas por mes y etapa de cada cultivo.

##### **4.4.1. Tierra**

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

#### 4.4.2. Agua y mano de obra

Los coeficientes de agua corresponden al volumen consumido por cultivo por mes. El volumen de agua consumida varía por cultivo y mes oscilando entre 2.39 mm<sup>3</sup> hasta 3.81 mm<sup>3</sup> con valores extremos de 5.20 mm<sup>3</sup> y 7.57 mm<sup>3</sup>.

La mano de obra se considera por mes, y es obtenida de acuerdo a los requerimientos en cada etapa de la actividad agrícola; oscila con valores de 1 a 4 jornales, con valor extremo de 15 jornales para la etapa de cosecha de algunos cultivos.

#### 4.5. Construcción del modelo base

Con la información descrita anteriormente se construyó un Modelo Base (MPLBase) de Programación Lineal, sujeto a la disponibilidad mensual de recursos y demás restricciones de máximos de superficie por cultivo y uso de agua mensual para fines no agrícolas. Con este MPLBase se valida y optimiza el patrón real de cultivos durante el año agrícola 2008 – 2009.

El Modelo incluye  $j$  (1,2,...,J) actividades productivas para el ciclo O-I,  $k$  (1,2,...,K) para el ciclo P-V y  $l$  (1,2,...,L) para cultivos perenes; más  $m$  (1,2,...,M) actividades de disposición de agua para fines no agrícolas abrevadero (A), y  $n$  (1,2,...,N) actividades de disposición de agua para fines no agrícolas: consumo doméstico (B). La función objetivo maximiza el Ingreso Neto Total (INT) del Distrito de Riego 044, Jilotepec, y es igual a la sumatoria de la contribución total de cada actividad incluida en el modelo por cada ciclo productivo, más cultivos perenes, más la contribución de las actividades de disposición no agrícolas. Matemáticamente el MPL tiene la siguiente expresión:

$$Max INT = \sum_{j=1}^J c_j X_j + \sum_{k=1}^K c_k X_k + \sum_{l=1}^L c_l X_l + \sum_{m=1}^M c_m X_m + \sum_{n=1}^N c_n X_n \quad (1)$$

Donde:

$c_j, c_k, c_l, c_m, c_n$  Ingreso neto de las actividades  $j, k, l, m$  y  $n$

$x_j, x_k, x_p, x_m, x_n$  Cantidades óptimas en superficie y/o volumen para cada actividad en el Modelo

La función objetivo está sujeta a:

$$\sum_{j=1}^J a_j x_j + \sum_{k=1}^K a_k x_k + \sum_{l=1}^L a_l x_l \leq A_t \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^J b_j x_j + \sum_{k=1}^K b_k x_k + \sum_{l=1}^L b_l x_l \leq B_t \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J d_j x_j + \sum_{k=1}^K d_k x_k + \sum_{l=1}^L d_l x_l \leq D_t \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J a_j x_j \leq A_{O-I} \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^K a_k x_k \leq A_{P-V} \quad (6)$$

$$\sum_{l=1}^L a_l x_l \leq A_{PER} \quad (7)$$

$$\sum_{m=1}^M e_m x_m = E_t \quad (8)$$

$$\sum_{n=1}^N f_n x_n = F_t \quad (9)$$

$$x_j, x_k, x_p, x_m, x_n \geq 0 \quad (10)$$

Donde:

$a_j, b_j, c_j$  Coeficientes de tierra (a), agua (b) y mano de obra (c) para los cultivos de O-I

$a_k, b_k, c_k$  Coeficientes de tierra, agua y mano de obra para los cultivos de P-V

$a_p, b_p, c_p$  Coeficientes de tierra, agua y mano de obra para los cultivos perenes

$e_m, f_n$  Coeficiente de consumo de agua en actividades no agrícolas, abrevadero (e) y doméstico (f)

$A_t, B_t, D_t$  Disponibilidad total mensual de recurso tierra, agua y mano de obra

$A_{O-I}, A_{P-V}, A_{PER}$	Superficie máxima cultivable por cultivo cíclico y perene
$E_i, F_i$	Volumen mensual de agua requerido para actividades no agrícolas, abrevadero y consumo doméstico

#### 4.6. Escenarios contruidos

De acuerdo con la información recabada se define la situación real (2009 real) de cultivos en el Distrito. A partir del cual se formula el Modelo Base (MPLBase), como el escenario óptimo de éste obtenido a través de la PL.

**2009 real** Patrón real de cultivos en el año agrícola 2008-2009, sujeto a la disponibilidad real de tierra por cultivo, agua y mano de obra ó jornales total en el DR044.

**MPLBase** Patrón de cultivos optimizado con PL, tomando las restricciones y condiciones del año agrícola 2008 – 2009.

Se plantearon siete escenarios adicionales a la situación real (2009 real) y al Modelo Base (MPLBase). Estos escenarios toman como punto de partida el MPLBase para hacer las simulaciones indicadas en cada caso. Se simula incrementos y decrementos en el volumen de agua, incremento y decremento de superficie cultivable, incremento en el volumen de agua para fines no agrícolas e incremento en costos de producción.

Los escenarios se plantean con el fin de modelar el patrón de cultivos, determinar el Valor del Producto Marginal de agua bajo diversos escenarios de escasez, y cuantificar la variación en el Ingreso Neto Total del DR044.

Los escenarios planteados son los siguientes:

**MPL01** Considera disponibilidad uniforme de agua todos los meses del año (17.918Mm3), simulando que es posible extraer un volumen constante durante todos los meses.

**MPL02** Se duplica la superficie de tierra disponible para perenes, dado que las superficies

destinadas a estos cultivos es relativamente baja.

- MPL03** Simula la disminución de 10 por ciento en la disponibilidad de agua en el ciclo Primavera – Verano, periodo donde se hace mayor uso de agua.
- MPL04** Simula el incremento de 10 por ciento en la disponibilidad de agua en el ciclo Otoño – Invierno, periodo donde el uso de agua es relativamente bajo.
- MPL05** Simula la disminución de 20 por ciento en la disponibilidad de tierra y de 20 por ciento en la disponibilidad de agua para uso agrícola. Se considera un incremento de 20 por ciento del volumen destinado a consumo doméstico, dado una situación de incremento en la población y zonas urbanas.
- MPL06** Simula un incremento en 20 por ciento en los costos de producción de los cultivos, con el fin de cuantificar la sensibilidad del modelo a dichos incrementos.
- MPL07** Modelo sin restricciones de máximos de superficie por cultivos cíclico y perene, simulando un escenario donde toda la superficie tiene vocación para establecer cualquier cultivo. En este caso se permite al modelo que ajuste el valor óptimo para cada cultivo sujeto únicamente a la disponibilidad de recursos.

## **CAPITULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los resultados se dividen en cuatro partes. La primera de ellas expone la situación del ciclo agrícola 2008-2009 contra los resultados de programa óptimo, al cual se le nombró modelo base. La segunda expone el valor del programa ante los escenarios expuestos, le sigue el cambio en el patrón de cultivos y por último se expone el valor del producto marginal del agua, a través de los precio sombra que brinda el programa en cada uno de los escenarios.

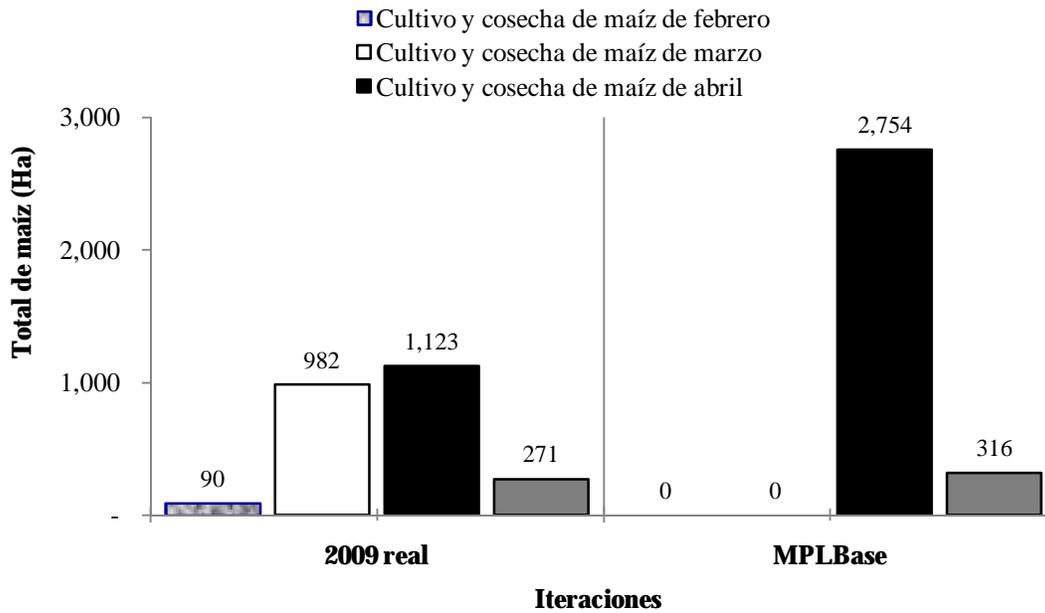
### **5.1. Modelo base vs situación actual**

El MPL utilizado en la presente investigación corresponde a un problema de producción, el cual consiste en determinar el patrón óptimo de las actividades productivas que se llevan a cabo en el DR044, para lograrlo se confronta la situación actual, es decir, el patrón real actual de cultivos en el año agrícola 2008 – 2009 con el escenario óptimo - modelo base – El patrón obtenido debe ser el que obtenga un máximo ingreso neto posible de acuerdo a la disponibilidad de los recursos agua, tierra y mano de obra.

En el escenario actual el cultivo de maíz se realiza en el ciclo P-V en los meses de febrero, marzo y abril. Sin embargo, el óptimo apunta a realizar los cultivos en marzo y abril, concentrando la mayor superficie cultivada en abril. Siendo el maíz el principal cultivo, se maximiza el ingreso neto del Distrito de Riego si este se cultiva en los dos últimos meses del ciclo P-V, y con los recursos disponibles la superficie sembrada es susceptible de incrementarse pasando de 2,465.25 a 3,070.45 hectáreas en el programa óptimo (Gráfica 5.1).

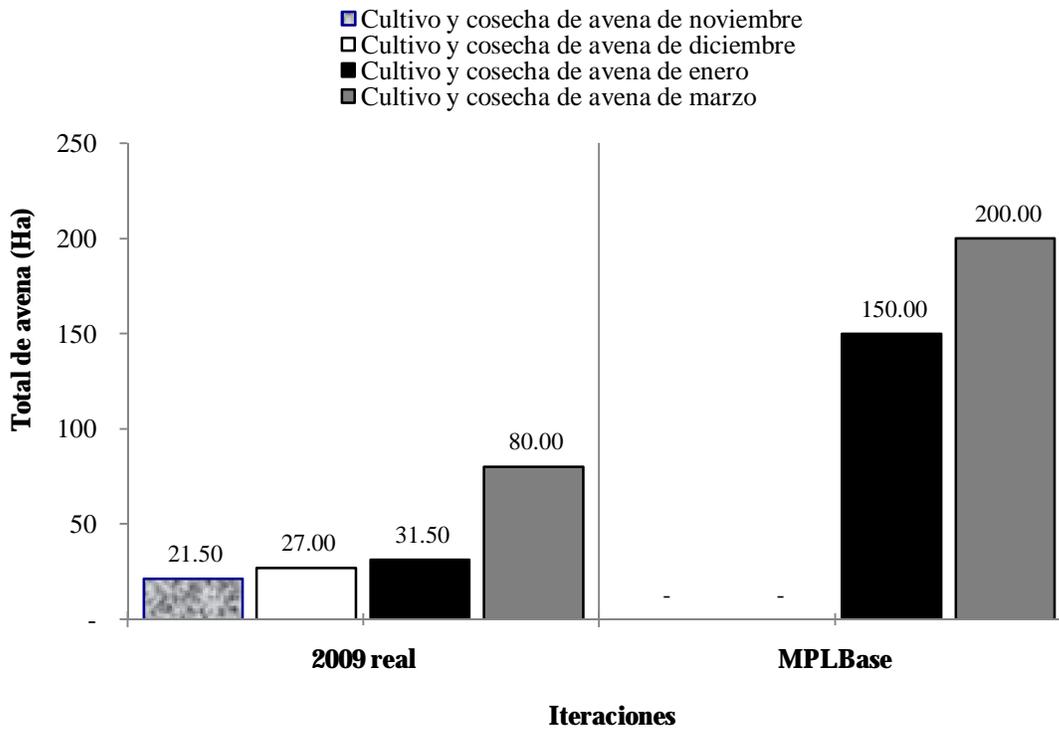
En la práctica en el ciclo 2008 – 2009, se cultivaron un total de 80 hectáreas de avena forrajera en el ciclo O-I y 80 en el ciclo P-V. De acuerdo al escenario óptimo el cultivo se establece en enero y en marzo, en ambos casos se ocupa el total de superficie destinada para este cultivo, es decir, 150 y 200 hectáreas, respectivamente (Gráfica 5.2).

**Gráfica 5.1. Patrón de cultivo de maíz. Situación actual vs modelo base (Ha)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

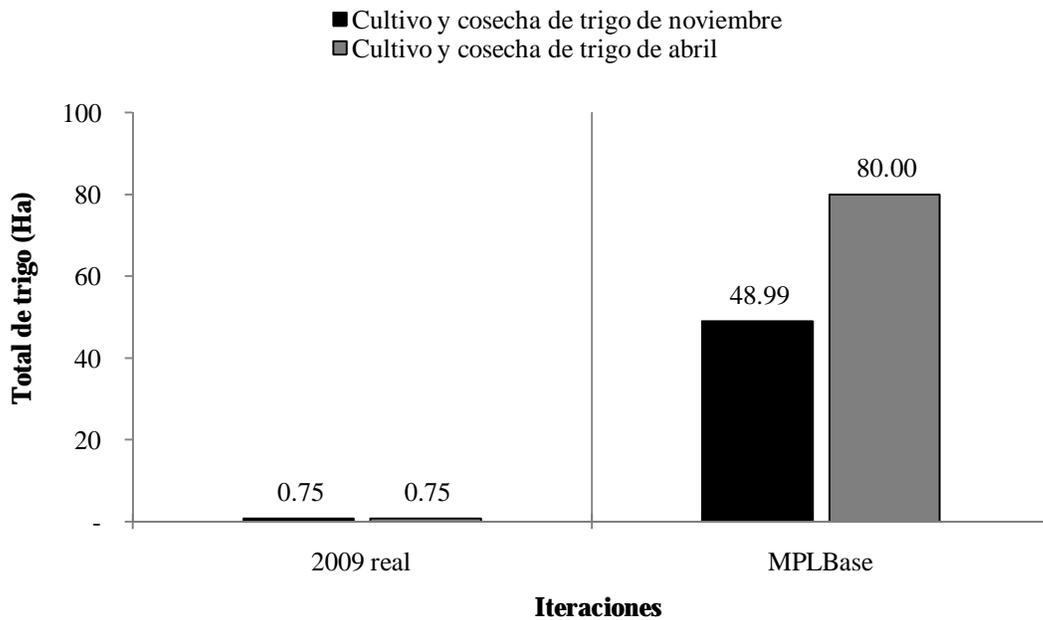
**Gráfica 5.2. Patrón de cultivo de avena forrajera. Situación actual vs modelo base (Ha)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

El cultivo de trigo en el año agrícola analizado fue de 0.75 hectáreas. De acuerdo al programa óptimo y a la superficie disponible para tal cultivo en noviembre la superficie cultivada es de 48.99 hectáreas y en abril de 80 hectáreas, cubriendo así la disponibilidad total de tierra destinada a este cultivo (Gráfica 5.3).

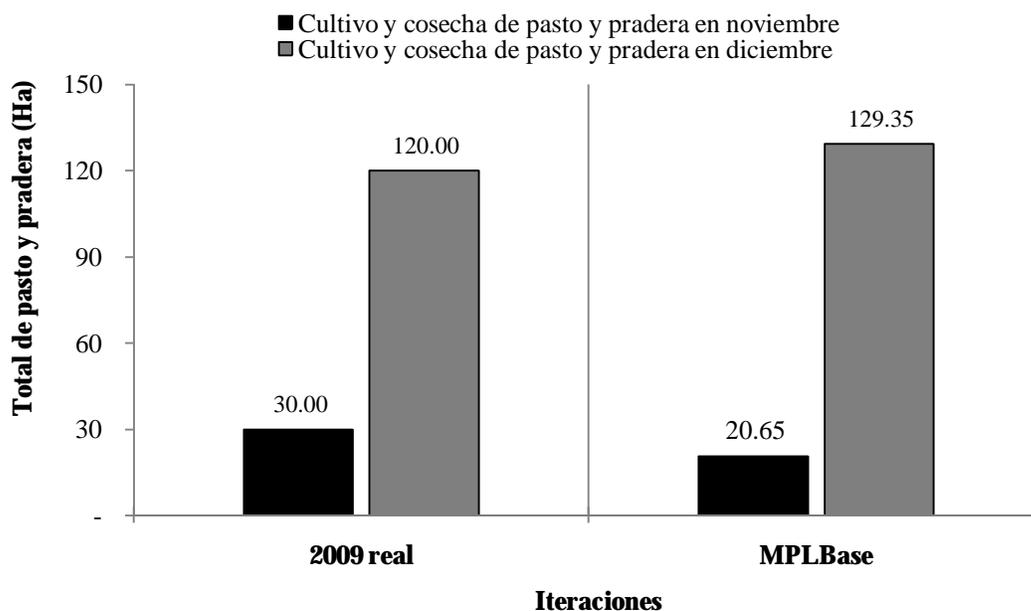
**Gráfica 5.3. Patrón de cultivo de trigo. Situación actual vs modelo base (Ha)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

En relación al cultivo de pasto y pradera la superficie total es de 150 hectáreas, la restricción de máximo, en ambos escenarios. Sin embargo, su distribución cambia en el modelo base ya que la superficie cultivada y cosechada en noviembre en el modelo base es ligeramente menor a la de noviembre de la situación actual. Así mismo, la superficie óptima de diciembre en el modelo base es ligeramente superior que en diciembre de la situación real (Gráfica 5.4).

**Gráfica 5.4. Patrón de cultivo de pasto y pradera. Situación actual vs modelo base (Ha)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

Por otra parte, el cultivo de frutales en ambos escenarios es de 50 hectáreas, límite máximo históricamente.

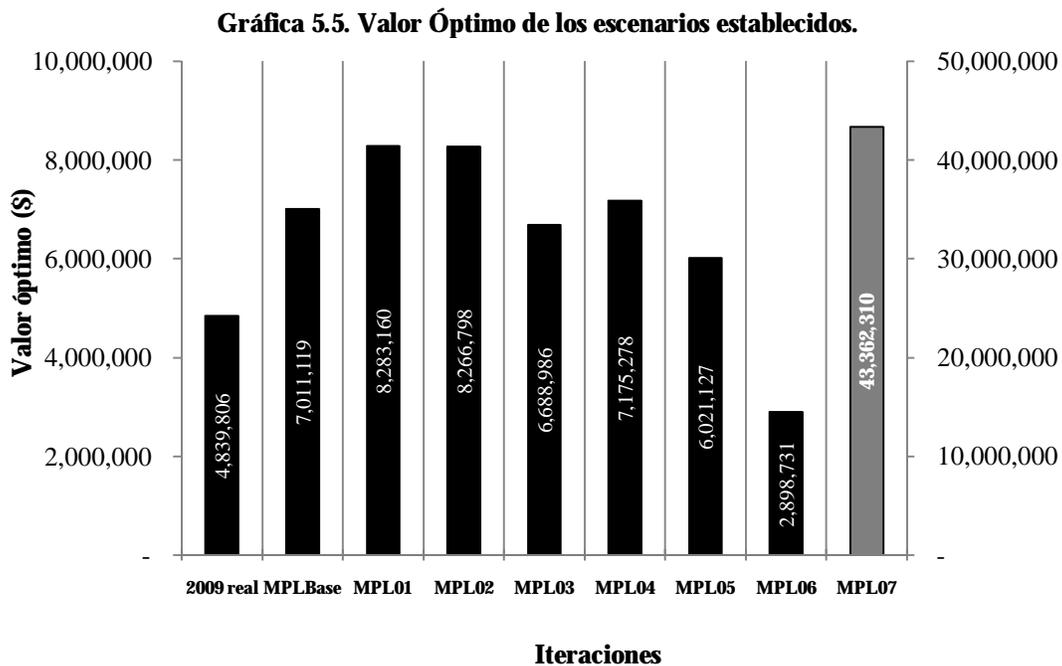
El ingreso neto total del distrito de riego es de 4,839,806.47 de pesos en el escenario real contra 7,011,118.78 pesos en el escenario óptimo, lo que indica que ante el ajuste del patrón de cultivos, resultado del MPL, se tiene un incremento de poco más de 2M en el valor neto de la producción en del DR044, es decir, el patrón actual no responde a la condición de maximizar el ingreso neto y este puede mejorarse al considerar la optimización propuesta por el modelo diseñado en la presente investigación.

En la interpretación de la teoría económica, el valor de la función objetivo tanto para el problema primal como para el problema dual es de \$7,011,119.00, lo cual implica que el ingreso neto máximo generado por el patrón óptimo de cultivos es de \$7,011,119.00, al igual que el costo mínimo de producción imputado por el uso de recursos en base al precio sombra.

## 5.2. Valor óptimo del programa ante escenarios

Sobresale en primer lugar la diferencia en el valor óptimo del escenario real y el MPLBase, lo que indica que la asignación de recursos en el DR044 en el año agrícola 2008 – 2009 estuvo por debajo del óptimo económico de acuerdo al resultado de la PL. Una asignación óptima de los recursos llevaría a un valor neto total del DR de 7M de pesos en contraste con 4.8 millones en el escenario real (Gráfica 5.5).

En segundo término, se observa que aún con la total disponibilidad de agua, modelo MPL01, el valor del programa aumentaría en aproximadamente 1.2 millones en relación al modelo base, esto es considerando las restricciones de tierra, mano de obra y superficie máxima por cultivo asignado en el MPLBase. Una proporción similar se obtiene al simular un aumento de 100 por ciento en la superficie destinada a perenes (MPL02), lo que indica el impacto positivo de los perenes en el valor óptimo.



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-3.

Sin embargo, aumentando la disponibilidad de agua en 10 por ciento en el ciclo O-I (MPL04), cuando se establece el pasto y pradera, el aumento en el valor óptimo es poco significativo en

relación con el modelo base. En contrastes, una disminución de 10 por ciento del agua en el ciclo P-V, cuando se cultiva el grueso de la superficie, tiene un impacto considerable, aproximadamente 1M sobre el valor del programa en relación al modelo base.

Se observa también, que el aumento en los costos de producción en 20 por ciento (MPL06), considerando las restricciones originales, tiene un impacto relativamente grande sobre el valor óptimo, disminuyéndolo a 2.8 millones.

Sólo bajo el escenario ideal (MPL07) donde la distribución y asignación de la tierra se hace a través de la PL, el valor del programa crecería hasta alcanzar 43.3 millones de pesos, sin embargo, esto implicaría una reconversión productiva, prácticamente eliminando el maíz, sustituyéndolo por trigo y aumentando la superficie de frutales.

**Cuadro 5.1. Ingreso Neto per cápita en el DR044 bajo los escenarios propuestos**

<b>Escenario</b>	<b>Valor Prog. (\$)</b>	<b>Total Prod.</b>	<b>Ing. Per cápita (\$)</b>
2009 real	4,839,806	2,921	1,657
MPLBase	7,011,119	2,921	2,400
MPL01	8,283,160	2,921	2,836
MPL02	8,266,798	2,921	2,830
MPL03	6,688,986	2,921	2,290
MPL04	7,175,278	2,921	2,456
MPL05	6,021,127	2,921	2,061
MPL06	2,898,731	2,921	992
MPL07	43,362,310	2,921	14,845

Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-3.

Considerando que el grueso de los productores tiene una superficie de tierra de una hectárea o menos, su participación en el Valor Neto Total de la producción en el DR044 varía significativamente entre los escenarios. Así, se tiene que en el escenario real el ingreso neto per cápita es de 1,657, y en el escenario óptimo de 2,400 pesos. El ingreso se incrementa bajo el supuesto de mayor extracción de agua o bajo el supuesto de incrementar la superficie destinada a perenes, MPL01 y MPL03, respectivamente. Sobresale, el hecho de que un incremento sustancial se daría en la conversión productiva, hacia cultivos más rentables tales como frutales y trigo,

señalados con anterioridad (MPL07). El incremento se daría al destinar el agua a usos alternativos representados por cultivos con mayor precio neto (Cuadro 5.1).

### **5.3. Patrones de cultivo en los escenarios planteados**

Compendiando la propuesta de escenarios plasmada, estos son los siguientes:

- MPL01** Considera disponibilidad uniforme de agua todos los meses del año (17.918Mm3).
- MPL02** Se duplica la superficie de tierra disponible para perenes.
- MPL03** Simula la disminución de 10 por ciento en la disponibilidad de agua en el ciclo P-V.
- MPL04** Simula el incremento de 10 por ciento en la disponibilidad de agua en el ciclo O-I.
- MPL05** Simula la disminución de 20 por ciento en la disponibilidad de tierra y de 20 por ciento en la disponibilidad de agua para uso agrícola. Se considera un incremento de 20 por ciento del volumen destinado a consumo doméstico.
- MPL06** Simula un incremento en 20 por ciento en los costos de producción de los cultivos en el MPL
- MPL07** Elimina las restricciones de máximos por cultivo permitiendo que el modelo asigne la superficie con base al ingreso neto

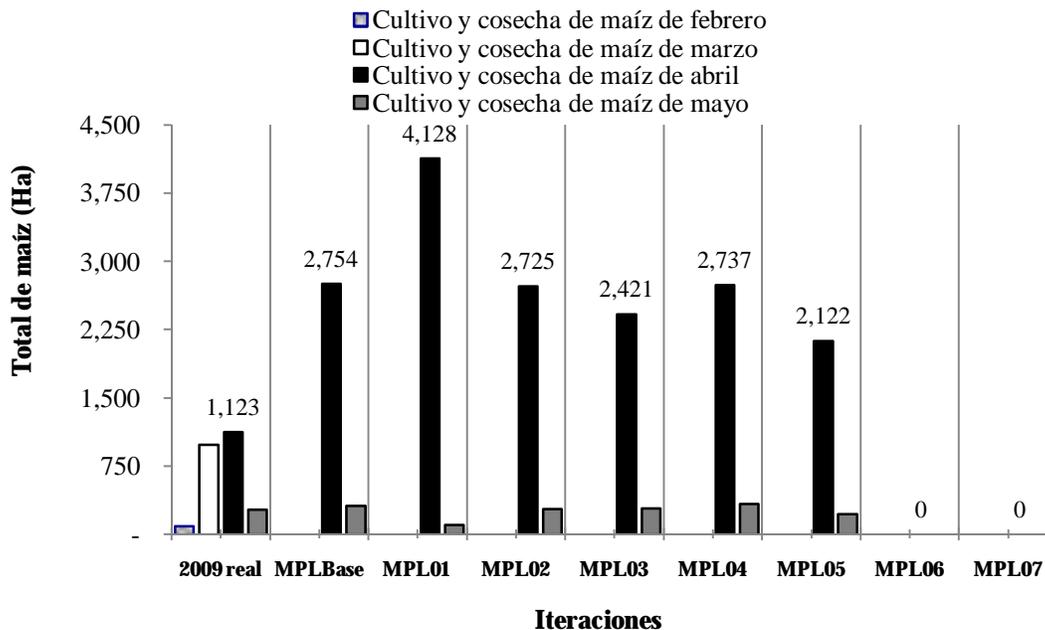
#### **5.3.1. Cambios en el patrón de cultivo de maíz**

Un patrón óptimo de cultivos selecciona aquellos con mayor rentabilidad, y se definen de acuerdo al ingreso neto que aportan cada una de las actividades al Distrito, así los cultivos con mayor rentabilidad serán prioritarios para ser contemplados en el patrón de cultivos tomando en cuenta las restricciones del mismo.

La superficie cultivada de maíz responde de manera directa ante la disponibilidad de agua, concentrando la siembra en el mes de abril, de acuerdo al resultado de los escenarios propuestos. En el escenario donde se considera una disponibilidad de agua de 17.918Mm3 (MPL01) por mes, este cultivo acapara la superficie llegando hasta 4,128.29 hectáreas; considerando que históricamente la superficie máxima de maíz cultivado con riego es de 4,400 hectáreas, esta

superficie es posible desde el punto de vista técnico. Ante una disminución de 10 por ciento en la disponibilidad de agua (MPL03) en el ciclo P-V la superficie de maíz disminuye a 2,420.99 hectáreas (Gráfico 5.6).

**Gráfica 5.6. Patrón de cultivo de maíz. Escenarios establecidos. (Ha)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

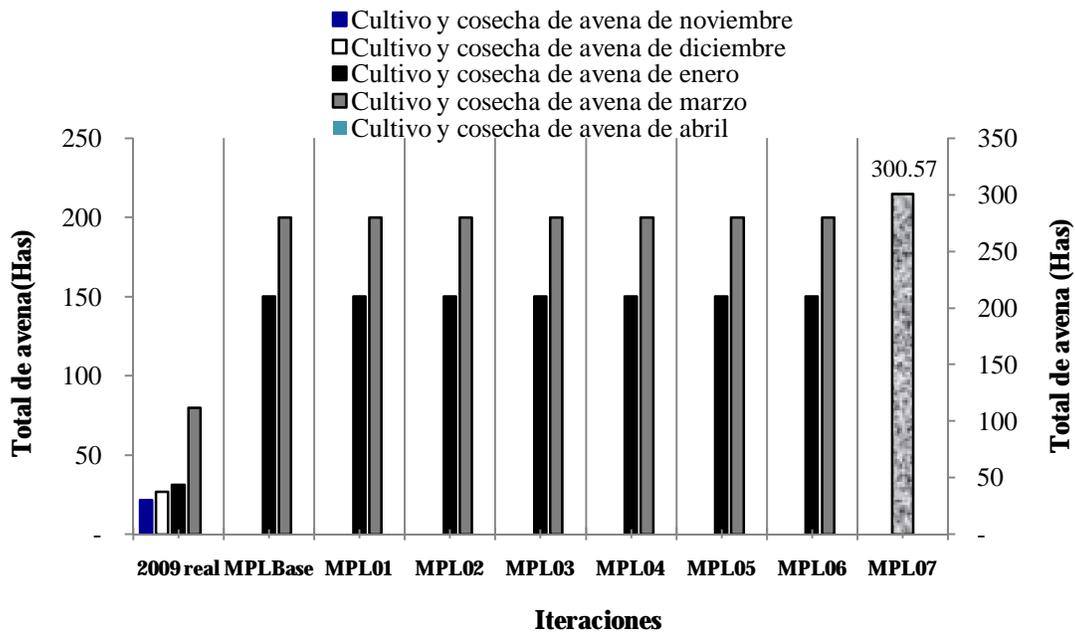
No obstante, el cultivo de maíz es sensible al aumento en los costos de producción, ya que su ingreso neto es relativamente bajo. Así, ante el escenario que simula el aumento del 20 por ciento en sus costos de producción (MPL06) no es incluido en la solución óptima del modelo. En el último escenario (MPL07), el cual permite que el propio modelo distribuya la superficie total entre los cultivos alternativos, bajo el supuesto que la superficie total tiene vocación para cualquier cultivo, el maíz no es incluido en la solución óptima y la tierra se ocupa en su mejor uso alternativo dado por los cultivos con mayor ingreso neto los cuales son trigo y perenes.

### 5.3.2. Cambios en el patrón de cultivo de avena forrajera

La superficie real destinada a avena forrajera es de 150 hectáreas en el ciclo O-I y 200 hectáreas en el ciclo P-V. La solución óptima de cada uno de los escenarios considera utilizar el total de la

superficie; para el primer ciclo realizar el cultivo en el mes de enero y en el segundo ciclo en el mes de marzo para maximizar los beneficios netos. Así mismo, se observa, que de permitir que el modelo distribuya la tierra entre los cultivos (MPL07), la avena forrajera sólo 300.57 hectáreas, lo que establece el límite máximo de avena susceptible de cultivarse en el DR aún contando con la total disponibilidad de recursos (Gráfica 5.7).

**Gráfica 5.7. Patrón de cultivo de avena forrajera. Escenarios establecidos. (Ha)**

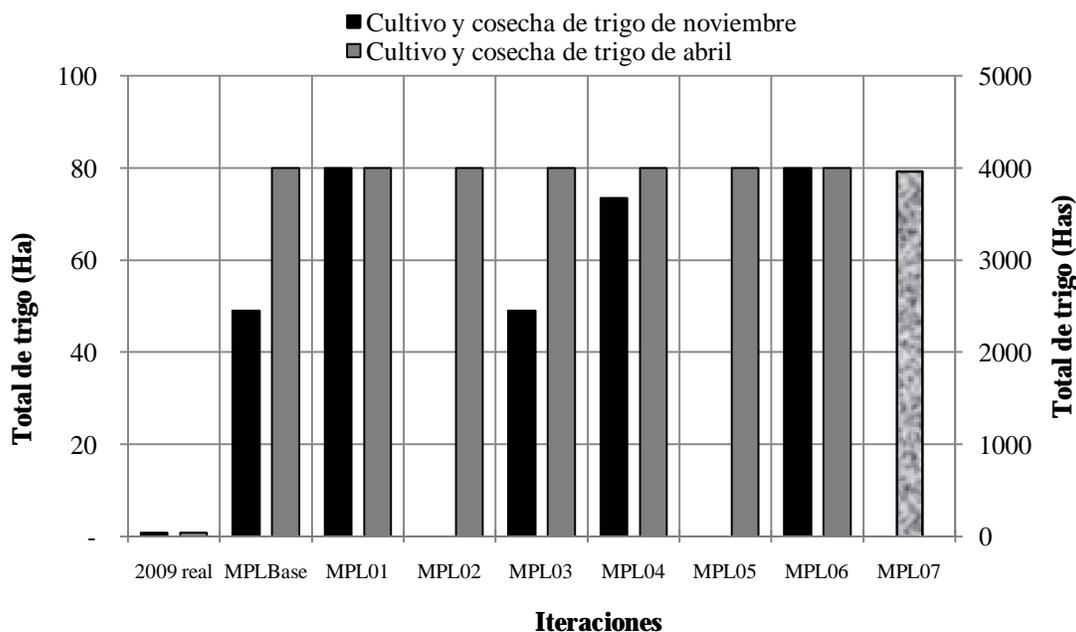


Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

### 5.3.3. Cambios en el patrón de cultivo de trigo

El límite máximo actual de trigo es de 80 hectáreas, tanto en el ciclo O-I como en el ciclo P-V; de acuerdo a los escenarios modelados en el primer ciclo es donde no se alcanza la superficie máxima dado la poca disponibilidad de agua, en el segundo se cubre el total de la superficie en el mes de abril (Gráfica 5.8).

**Gráfica 5.8. Patrón de cultivo de trigo para grano. Escenarios establecidos. (Ha)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

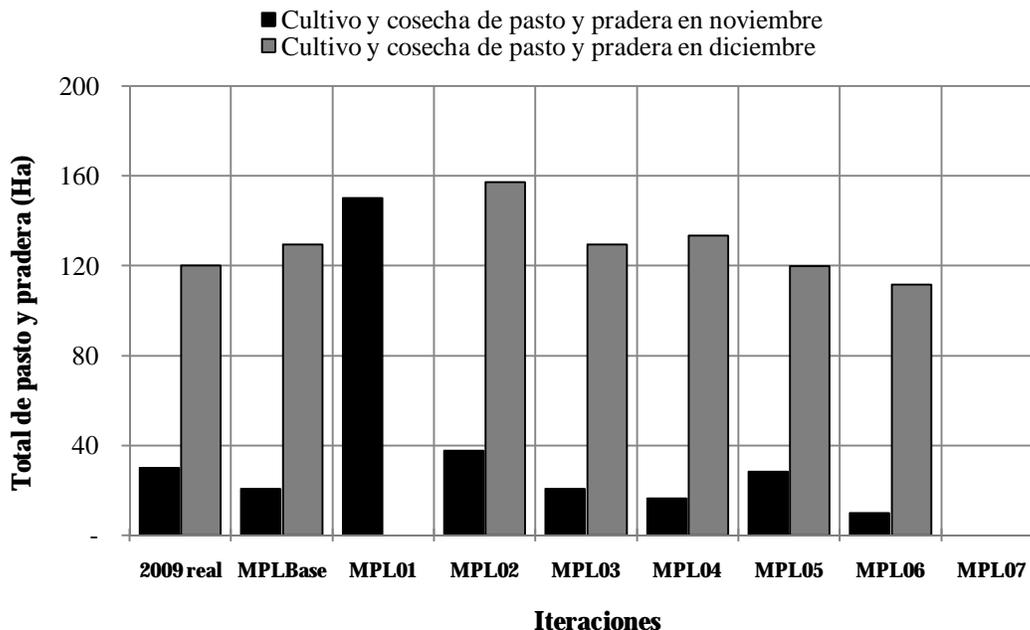
En torno al escenario donde no se incluyen restricciones de máximos (MPL07) en la superficie por cultivo el trigo ocupa 3,968 hectáreas, sustituyendo en su totalidad la superficie antes destinada a maíz, esto se explica dado su ingreso neto alto en relación al maíz. Así, este escenario simula que existen las condiciones para reasignar la tierra a su mejor uso alternativo, sin embargo, como se ha descrito con anterioridad, el cultivo de maíz es una tradición en la región y los esfuerzos por reorientar los patrones de cultivo han carecido del éxito previsto.

### **5.3.4. Cambios en el patrón de cultivos perenes**

En relación al cultivo de pasto y pradera, dado los escenarios, esta se cultiva en el mes de noviembre debe tener la disponibilidad total de agua (MPL01), de lo contrario se prefiere su cultivo en diciembre. No obstante, la superficie máxima en los escenarios propuestos es de 157 hectáreas (MPL02), llegando a desaparecer en el caso cuando el modelo determina la asignación de tierra total disponible. Es decir, el pasto y pradera sería susceptible de ser cultivado hasta esta

cantidad de hectáreas como límite máximo, y al contemplar duplicar su superficie disponible esta no se ocuparía en su totalidad (Gráfica 5.9).

**Gráfica 5.9. Patrón de cultivo de pasto y pradera. Escenarios establecidos. (Ha)**

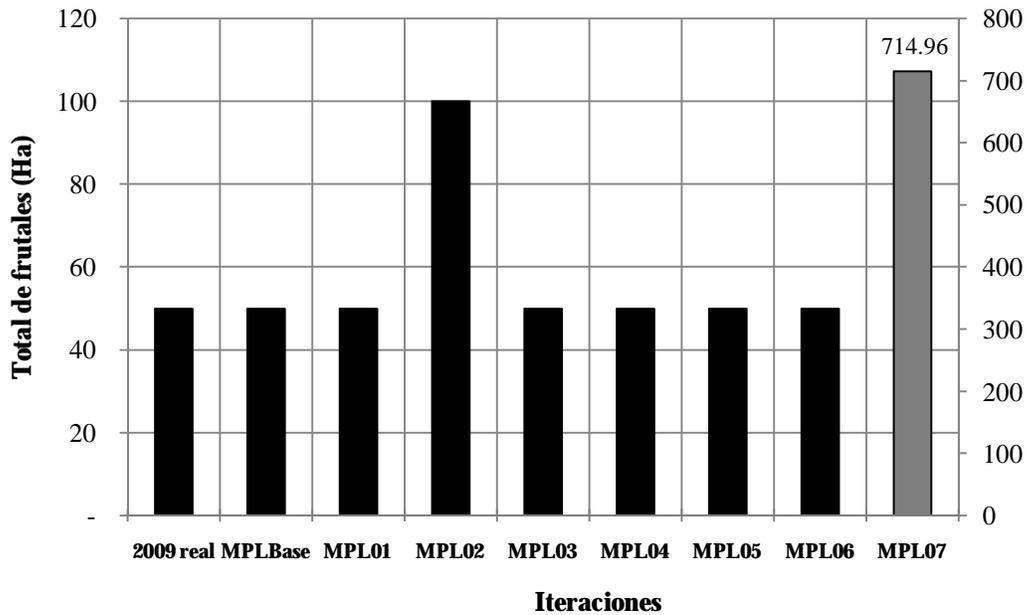


Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

Así mismo, se observa que de aumentarse la disponibilidad de agua (MPL04) en el ciclo O-I la superficie asignada a pasto y pradera aumenta gradualmente en el mes de diciembre.

El cultivo de frutales en todos los escenarios ocupa las superficies máximas asignadas, lo que indica ser un cultivo rentable que contribuye enormemente al valor óptimo del programa en cada caso. En el segundo escenario, que considera duplicar la superficie de frutales, esta superficie se cubre en su totalidad. En el último escenario se considera que el DR tendría una capacidad de asignar hasta 714 hectáreas a frutales, de ser posible hacer la reconversión de cultivos (Gráfica 5.10).

**Gráfica 5.10. Patrón de cultivo de frutales. Escenarios establecidos. (Has)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1. (2009)

#### **5.4. Valor del Producto Marginal del agua de riego**

Cuando un recurso no tiene precio de mercado se puede determinar mediante el precio sombra o precio económico. El precio sombra puede ser considerado como el precio máximo que el productor pagaría por una unidad extra del recurso en cuestión; es el punto en el cual el valor de la solución (ingreso neto total) cambiaría si una unidad de ese recurso fuera adicionada (Godínez, 2007).

El valor que toma el precio sombra del agua está en función del precio neto de la actividad en el modelo, precios netos más altos llevarán a un precio sombra mayor, dado que el agua será escasa para fines alternativos más rentables. Los precios sombra obtenidos en programación lineal pueden ser iguales o mayores a cero, cuando son iguales a cero indica que el recurso no está siendo utilizado en toda su capacidad y por ende se considera como una mercancía gratis (Carlos, 1987), por el contrario cuando es mayor que cero indica su escasez y arroja un precio económico.

En este trabajo el cálculo de estos precios se obtuvieron de acuerdo con el valor del producto marginal de este recurso (VPMg).

De los escenarios propuestos y estimados con el MPL en cuatro de los meses del año agrícola se obtuvieron precios sombra para el agua de riego, dado que en estos meses se sufre escases de la misma; estos meses son diciembre para el ciclo O-I y abril y mayo para el ciclo P-V, incluyendo el mes de febrero en el escenario MPL07.

Se observan altos contrastes entre los precios sombras del agua de riego por mm<sup>3</sup>, dado que estos valores son producto de los cultivos y su precio neto, entre mayor sea este último el VPMg del agua de riego será mayor, es decir, cultivos más rentables tienen mayor capacidad de pagar el agua de riego a un mejor precio. Así, se tiene que en el mes de diciembre en el MPLBase el precio sombra se atribuye principalmente al cultivo de pasto y pradera y a trigo, y en el mes de febrero en el MPL07 a trigo, cultivos que tienen un valor precio neto, relativamente alto (Cuadro 5.2).

**Cuadro 5.2. Valor del Producto Marginal del agua de riego. (Pesos por mm<sup>3</sup>)**

Concepto	MPLBase	MPL01	MPL02	MPL03	MPL04	MPL05	MPL06	MPL07
Agua diciembre	2,535.31	-	2,890.92	2,535.31	2,535.31	2,890.92	959.48	-
Agua febrero	-	-	-	-	-	-	-	5,716.94
Agua abril	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	-	-
Agua mayo	211.31	211.31	211.31	211.31	211.31	211.31	-	-

Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-3.

Los cálculos permiten conocer que el precio sombra por m<sup>3</sup> de agua de riego oscila entre 0.03 pesos y 5.72 pesos en el escenario más prometedor (Cuadro 5.3).

**Cuadro 5.3. Valor del Producto Marginal del agua de riego. (Pesos por m<sup>3</sup>)**

	MPLBase	MPL01	MPL02	MPL03	MPL04	MPL05	MPL06	MPL07
Agua diciembre	2.54	-	2.89	2.54	2.54	2.89	0.96	-
Agua febrero	-	-	-	-	-	-	-	5.72
Agua abril	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	-	-
Agua mayo	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	-	-

Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1.

En contraste con lo anterior, se observa que los precios (cuotas) pagadas por los productores, se ubican por abajo del mínimo VPMg obtenido en la mayoría de los meses. El mes en que mejor se paga el agua de riego es en diciembre, seguido por enero, con precios de 0.06 y 0.035 pesos, respectivamente (Cuadro 5.4).

**Cuadro 5.4. Cuotas reales pagados por del agua de riego en el DR044. (Pesos por mm3)**

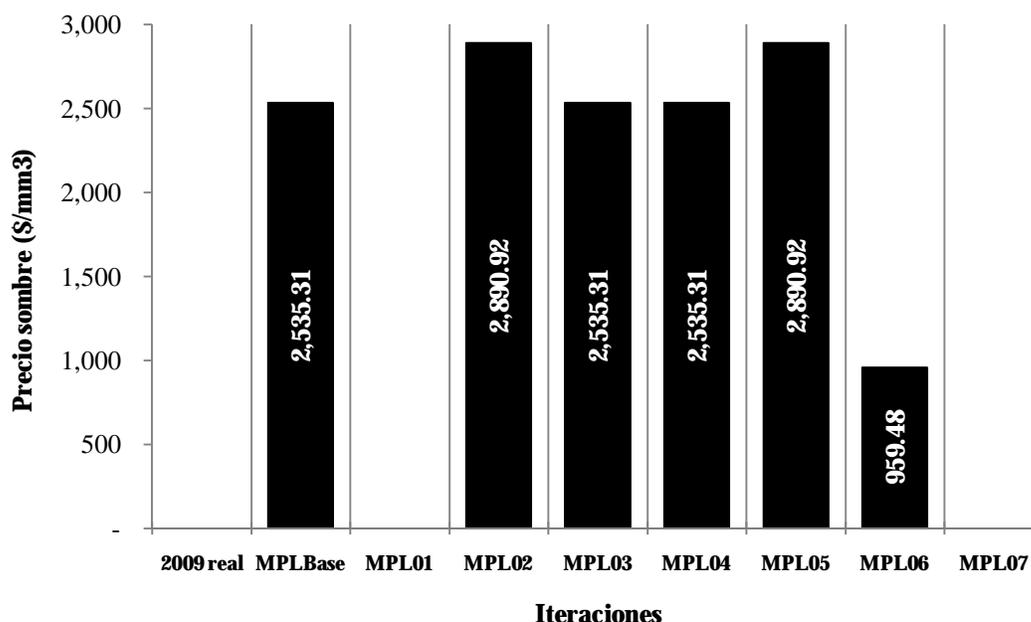
	<b>Consumo total</b>	<b>Pagos totales</b>	<b>Precio por mm3</b>	<b>Precio por m3</b>
Agua noviembre	332.06	9,000.00	27.1035	0.027104
Agua diciembre	647.49	38,997.50	60.2287	0.060229
Agua enero	1,139.24	39,975.00	35.0892	0.035089
Agua febrero	2,499.08	31,745.00	12.7027	0.012703
Agua marzo	6,509.51	142,416.30	21.8782	0.021878
Agua abril	12,628.86	169,981.30	13.4598	0.013460
Agua mayo	13,578.48	47,178.50	3.4745	0.003475
Agua junio	14,414.41	16,052.50	1.1136	0.001114
Agua julio	14,461.07	-	-	-
Agua agosto	15,404.56	-	-	-
Agua septiembre	15,404.56	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>97,019.32</b>	<b>495,346.10</b>	<b>5.1056</b>	<b>0.005106</b>

Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-1 e información proporcionada del DR044 para el año agrícola 2008 – 2009 (CONAGUA, 2009).

#### **5.4.1 VPMg del agua de riego en el ciclo Otoño - Invierno**

En el caso del precio sombra del mes de diciembre su valor está por arriba de los 2,500 pesos por mm3 en el MPLBase y el MPL02 al MPL05. En el escenario donde disminuye el ingreso neto de los cultivos del ciclo O-I el precio económico es de 959 pesos por mm3 (Gráfica 5.11).

**Gráfica 5.11. Valor del Producto Marginal del agua de riego en Diciembre. Escenarios establecidos. (Pesos por mm3)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-3.

Desagregando el precio económico del MPLBase y atribuyéndolo a los cultivos por ciclo y mes se tienen los siguientes resultados: a) en el ciclo O-I en el mes de diciembre sobresalen los cultivos de pasto y pradera y trigo como se señaló en párrafos anteriores; el primero de ellos con un VPMg del agua de riego oscilando entre 665.62 y 4,169.75 pesos por hectárea por riesgo; b) en diciembre el VPMg del agua de riego, es de 4,169.75 asignado a pradera, toma este valor dado que en este mes el modelo asigna la mayor superficie al cultivo de pasto y pradera (129.35 hectáreas) y además, este cultivo, compite por el agua con el trigo que también tiene un precio neto relativamente alto y asigna toda la superficie de tierra disponible para su cultivo; c) en contraste, la cuota por hectárea por riego para pradera es de 100 pesos y se encuentran por debajo del VPMg obtenido, ésta no refleja el valor real de escases del agua en el ciclo O-I, y en particular en diciembre. A trigo se le atribuye 1,338.38 pesos por hectárea por riego, por arriba de los 100 pesos por hectárea por riego establecido como la cuota a los usuarios. Abrevadero toma un valor de 234.78 por mm3 ligeramente por debajo de la cuota establecida por 287.5 pesos por mm3 (Cuadro 5.5).

**Cuadro 5.5. Distribución del precio sombra del MPLBase en el ciclo O-I por cultivos (precio en pesos)**

<b>Cultivo</b>	<b>Participación</b>	<b>Precio por mm3</b>	<b>Precio por m3</b>	<b>Precio por ha. por riesgo</b>
<b>Diciembre<sup>1</sup></b>				
Pradera Nov	9.15%	231.92	0.2319	665.62
Pradera Dic.	57.31%	1,452.88	1.4529	4,169.75
Trigo Nov	20.00%	506.96	0.5070	1,338.38
Domestico Dic.	4.28%	108.57	0.1086	108.57
Abrevadero Dic.	9.26%	234.78	0.2348	234.78
<b>Febrero<sup>2</sup></b>				
Frutales	92.97%	5,315.27	5.3153	17,274.64
Abrevadero Feb.	5.91%	338.14	0.3381	338.14
Domestico Feb.	1.11%	63.52	0.0635	63.52

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL en WinQSB (2009).

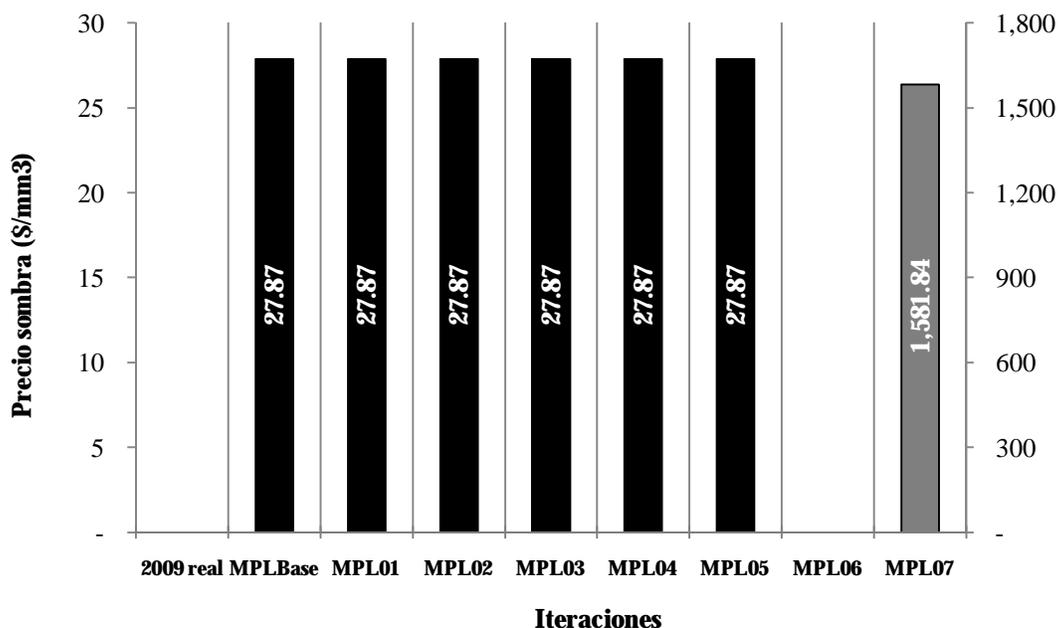
Notas: Mes de diciembre: 1/ Mes de diciembre: Cálculos sobre el VPMg de 2,535.31. 2/Mes de febrero: Cálculos sobre el VPMg de 5,716.94 del MPL07.

Para el mes de febrero el precio económico es de 5,716.90 pesos por mm<sup>3</sup>, cifra que se atribuye principalmente al cultivo de frutales. Bajo este escenario el cultivo de frutales tiene una capacidad de pago hasta de 17,724.64 pesos por hectárea por riego, resultado de que en este mes el agua está limitada a 2,499.08 mm<sup>3</sup>, y dicho cultivo demanda el 92.97 por ciento de este total, y compite a su vez por el recurso con abrevadero y agua para uso doméstico, a los cuales se les atribuye un precio económico de agua por 338.14 y 63.52 pesos, respectivamente. En este caso el VPMg atribuido a abrevadero es superior a la cuota establecida por mm<sup>3</sup>. Cabe destacar que el cultivo de frutales tiene un precio neto relativamente alto, 24,816.67 pesos por hectárea, lo que explica el alto valor marginal que se le da al agua escasa en este mes en particular (Cuadro 4).

#### **5.4.2 VPMg del agua de riego en el ciclo Primavera - Verano**

En el ciclo P-V los cultivos que sobresalen son: maíz, avena forrajera, trigo y frutales. El precio sombra del agua de riego en abril es de 27.87 pesos por mm<sup>3</sup>, en todos los escenarios propuestos a excepción del MPL06 donde el agua es abundante y en MPL07 donde su escasez lleva a un precio sombra de 1,581 pesos por mm<sup>3</sup> (Gráfica 5.12).

**Gráfica 5.12. Valor del Producto Marginal del agua de riego en Abril. Escenarios establecidos. (Pesos)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-3.

En el ciclo P-V, el precio económico del agua de riego en abril es de 27.87 pesos por mm<sup>3</sup>, en todos los escenarios propuestos, a excepción del MPL07 donde su escasez lleva a un precio económico de 1,581 pesos por mm<sup>3</sup>. En este mes el cultivo sobresaliente es Maíz, que el MPLBase ocupa 2,754.21 has. y ocupa el 82.65 por ciento del agua para riego extraída. Este precio sombra se atribuye principalmente a este cultivo, que lleva imputado un precio económico de 23.03 pesos por mm<sup>3</sup>, lo cual a su vez lleva a un precio de 87.30 pesos por hectárea por riego, cifra por arriba de las cuota de 80.50 pesos por hectárea por riego subvalorando así el recurso. En este mes las superficies destinadas a otros cultivos son relativamente bajas en comparación con el maíz, y dado su baja contribución al valor del programa tienen un precio económico bajo atribuido (Cuadro 5.6).

**Cuadro 5.6. Distribución del precio sombra del MPLBase en el ciclo P-V por cultivos y otros usos (precio en pesos)**

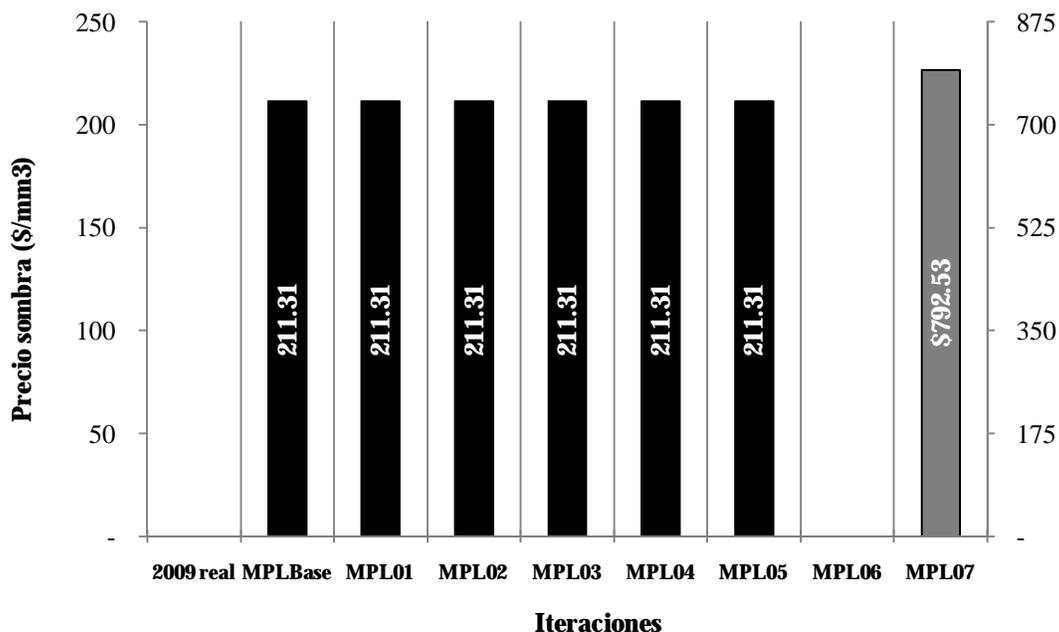
<b>Cultivo</b>	<b>Participación</b>	<b>Precio por mm3</b>	<b>Precio por m3</b>	<b>Precio por ha. por mes</b>
<b>Abril<sup>1</sup></b>				
Avena Ene	3.71%	1.03	0.0010	3.22
Avena Mar	4.94%	1.38	0.0014	4.30
Trigo Nov	1.02%	0.29	0.0003	0.75
Trigo Abr.	1.67%	0.47	0.0005	1.23
Maíz Abr.	82.65%	23.03	0.0230	87.30
Pradera Nov	0.39%	0.11	0.0001	0.26
Pradera Dic.	2.47%	0.69	0.0007	1.66
Frutales	1.05%	0.29	0.0003	0.77
Abrevadero Abr.	1.87%	0.52	0.0005	0.52
Domestico	0.22%	0.06	0.0001	0.06
<b>Mayo<sup>2</sup></b>				
Avena Ene	3.45%	7.28	0.0073	22.72
Avena Mar	4.60%	9.71	0.0097	30.30
Trigo Abr.	1.56%	3.29	0.0033	8.68
Maíz Abr.	75.87%	160.31	0.1603	607.57
Maíz May.	8.71%	18.41	0.0184	68.84
Pradera Nov	0.36%	0.76	0.0008	1.82
Pradera Dic.	2.26%	4.78	0.0048	11.38
Frutales	0.96%	2.02	0.0020	5.25
Abrevadero May.	2.04%	4.31	0.0043	4.31
Domestico May.	0.20%	0.43	0.0004	0.43

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL en WinQSB (2009).

Notas: 1/ Mes de abril: Cálculos sobre el VPMg de 27.87. 2/Mes de mayo: Cálculos sobre el VPMg de 211.31

En el mes de mayo el precio sombra del agua de riego aumenta considerablemente en relación a abril, dado la mayor escases de este recurso y su empleo en cultivos competitivos, este resultado se obtiene en todos los escenarios a excepción del MPL06 donde el agua resulta abundante y el MPL07 donde su escases lleva a un Valor Marginal de 792.53 pesos (Gráfica 5.13).

**Gráfica 5.13. Valor del Producto Marginal del agua de riego en Mayo. Escenarios establecidos. (Pesos)**



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, Cuadro I-3.

En mayo el cultivo que demanda agua en mayor cantidad es el Maíz cultivado en abril al cual se le atribuye un VPMg del agua de riego por 160.31 pesos por mm<sup>3</sup>; seguido por el maíz cultivado en mayo con 18.41 pesos por mm<sup>3</sup>. En el primer caso debido a que la mayor parte de la superficie asignada a maíz el MPL lo establece en abril aunque existen otros cultivos establecidos en otros meses que también están demandando agua de riego, las superficies asignadas son relativamente bajas en relación con el maíz. De estos valores se deriva que en el caso de maíz de abril, su precio sombra por hectárea por riego es de 607.57 pesos, y en mayo de 68.84 pesos; nuevamente resultando que la cuota pagada por los productores de 80.50 pesos por hectárea por mes se encuentra por debajo de este valor atribuido para el maíz de abril en este mes.

## **CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1. Conclusiones**

El valor óptimo del modelo base señala que en la práctica no se opera bajo un óptimo económico, una reasignación de recursos vía una mejor planeación del patrón de cultivos permitiría incrementar el ingreso neto total del Distrito y por lo tanto el ingreso per cápita de los productores. Así mismo, se concluye que de acuerdo con los precios económicos del agua las cuotas pagadas por los productores son menores a estos precios, por lo que se puede recomendar un incremento gradual de cuotas para ofrecer mayores recursos al Distrito para la operación y manejo del agua.

De acuerdo al patrón de cultivos establecidos, en el ciclo primavera-verano los meses de mayor demanda de agua son abril y mayo, en los cuales el cultivo de maíz consume la mayor proporción de este recurso (hasta el 80.00 %), y dejando una menor disponibilidad de agua para los otros cultivos que demandan el mismo recurso. En el ciclo otoño-invierno los meses de mayor demanda de agua son diciembre y febrero en el cual pradera y frutales consumen la mayor parte. En el año agrícola 2008 – 2009 el patrón de cultivos no responde a un escenario óptimo. Bajo este último los cultivos de maíz ser realizarían en marzo y abril, ciclo P-V, con la mayor superficie en marzo. La avena forrajera apunta a ser establecida en enero y marzo, y cubre el total de la superficie asignada, es decir, tanto en el ciclo de O-I como en P-V se establecería toda la superficie disponible. De manera similar, el trigo se cautivaría en noviembre y en abril, en este segundo periodo estableciendo la superficie máxima disponible por cultivo; el pasto y pradera es el más cercano al óptimo, disminuye su cultivo en noviembre, transfiriéndolo a diciembre.

Con lo anterior el patrón actual de cultivos con un valor de 4.84 millones de pesos está por debajo del óptimo, el cual tiene un valor de 7.01 millones de pesos.

El maíz alcanzaría la mayor superficie bajo el escenario donde existe mayor disponibilidad de agua. Siendo sensible a los incrementos y decrementos de este recurso. También es sensible al

aumento de los costos de producción, dado su ingreso neto relativamente bajo, y sale de la solución óptima del modelo cuando sus costos de producción aumentan en 20 por ciento.

Un patrón óptimo de cultivos apunta a cultivar una mayor superficie de avena forrajera de la actual disponible, sin embargo, el máximo de superficie viable estimado es de 300 hectáreas.

En relación al trigo, este llega a sustituir al maíz en diversos escenarios si se contara con las facilidades para hacer reconversión de cultivos, llegando a un máximo de 3,968 hectáreas de ser posible programar la producción libremente con el MPL.

En relación al cultivo de pasto y pradera, la superficie máxima alcanzada en los diversos escenarios es de 157 hectáreas, superficie estimada como la máxima viable en el Distrito.

En todos los escenarios planteados sobresale el cultivo de frutales como una alternativa de producción. Alcanzando un máximo de 714 hectáreas bajo un escenario de programación libre de restricciones de superficie por cultivo. Se considera una opción para la reconversión productiva y coincide con la planeación del propio DR.

En cuatro meses se obtuvieron precios sombra del agua: diciembre, febrero, abril y mayo. El VPMg del agua de riego alcanza sus cuotas máximas en el ciclo O-I, con precios por m<sup>3</sup> que oscilando entre 0.96 y 5.72 pesos. En el ciclo P-V los precios sombra alcanza valores menores oscilando entre 0.03 y 0.21 pesos por m<sup>3</sup>. En todos los casos estos precios están por arriba de las cuotas pagadas por los usuarios del DR044.

En O-I los cultivos que demanda mayor agua son el pasto y pradera de diciembre y el trigo de noviembre. Las superficies cultivadas hacen escasa el agua en este periodo; alcanzando sus mayores precios sombra, estimándose que el pasto y pradera de diciembre tiene una capacidad de pago hasta de 4,169.75 pesos por hectárea por mes, que está por arriba de la cuota de 100 pesos que paga este cultivo actualmente.

De acuerdo con el precio sombra de abril, en P-V el cultivo más importante es el maíz, aunque con un precio neto relativamente bajo, llegando a tener la capacidad de pago hasta de 87.30 pesos por hectárea por mes, para el maíz cultivado en abril, cifra superior a los 80.50 pesos que pagan los usuarios por hectárea por mes.

Así mismo, en el mes de mayo el precio sombra del agua derivado del cultivo de maíz, se incrementa hasta 607.57 pesos por hectárea por mes para el maíz cultivado en abril, y 68.84 pesos por hectárea por mes para el maíz cultivado en mayo. El Valor del Producto Marginal del agua de riego es superior al a cuota pagada por los productores de maíz, lo que indica que el cultivo de maíz, al ser el más importante en cuanto a superficie, tiene una mayor capacidad de pago por el agua de riego.

El valor óptimo del modelo en relación a la situación real señala que no se opera bajo un óptimo económico. Una reasignación de recursos vía una mejor planeación del patrón de cultivos permitiría incrementar el ingreso neto total en aproximadamente 2.2 millones de pesos.

En general, la disponibilidad mayor de agua, aunque tiene un efecto positivo sobre el INT, tendría un ingreso neto menor que el logrado con la reasignación de superficies. Mayor superficie en cultivos perenes, lleva también a aumentar el ingreso neto en aproximadamente 1.2 millones de pesos en relación al escenario base. Cifra que se alcanza con pasar de 50 a 100 hectáreas de frutales y a 300 hectáreas de pasto y pradera.

Se tiene un impacto negativo con el incremento de los costos de producción, llegando incluso a no considerar el cultivo de maíz. Un escenario ideal, donde la asignación de la superficie se hace a través de la PL, llevaría a un incremento sustancial del ingreso neto total, hasta por 43.36 millones de pesos; lo cual mejoraría el nivel de ingreso per cápita de los productores; pasando de niveles de 2 miles de pesos hasta 14.8 miles de pesos por hectárea por año.

## **6.2. Recomendaciones**

Considerar la reconversión productiva destinando mayor superficie a los cultivos de O-I y a las perenes, considerando que el trigo ofrece una mayor oportunidad de incrementar el ingreso, sustituyendo parte de la superficie destinada a maíz. De manera similar, los frutales, al tener mayor ingreso neto, contribuyen en mayor medida al valor óptimo del DR044 al igual que el pasto y pradera. Así mismo, el valor económico del agua de riego es mayor con estos cultivos.

Implementar un incremento paulatino en las cuotas por agua a los usuarios, de acuerdo con los resultados descritos, el maíz que ocupa mayor superficie tiene una capacidad de pago mayor a la cobrada y es el cultivo que acapara el mayor volumen de agua durante el año agrícola, y en especial en el ciclo P-V. Esto llevaría a considerar el agua como un recurso escaso y el aumento paulatino de las cuotas a su vez permitiría una mejora y mantenimiento adecuado a la infraestructura de riego.

Futuras investigaciones tienen la base para profundizar en la valoración económica del agua con el fin de considerar otros fines alternativos como el destinado al consumo industrial y urbano, si se considera demanda de agua de la zona metropolitana. En esta investigación el consumo de agua doméstico considerado va de acuerdo con las estadísticas del DR044, y corresponde al consumo en los municipios que abarca el Distrito.

Otro aspecto a considerar es confrontar estos resultados con los escenarios propuestos en el “Plan director para la modernización integral del riego del Distrito de Riego 044 Jilotepec”, que en la práctica ha encontrado dificultades para su implementación, pero refuerza la visión de mejora en el ingreso neto del Distrito y los productores.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Beneke, R. R. y Winterboer, R. 1984. Programación lineal. Aplicación a la agricultura. Traductor Pares O.J. Ed. Aedos-Barcelona. España. 222 p.
- Bronson, R. 1993. Investigación de Operaciones. Traducción Fournier G. M. L. Ed. Mc Graw Hill, México. 324 p.
- Caballer, V. y Guadalajara, N. 1998. Valoración económica del agua de riego. Ed. Mundi-prensa. España. p.193.
- Casas, J. 1967. Programación lineal aplicada a la agricultura. Centro de economía agrícola. Escuela Nacional de Agricultura. Colegio de Postgraduados. México.
- Carlos, G.F. 1987. Aplicación e interpretación económica del dual de la programación lineal. Tesis maestría. Centro de economía. Colegio de Postgraduados. México. 107 pp.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008. Estadísticas del Agua en México 2008. Ed. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año agrícola 2006/07. Ed. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. México.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2009. Avance del Plan de Riegos por mes. Jefatura del Distrito de Riego Jilotepec. México. (Documento de circulación interna).
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2009. Régimen de almacenamiento y extracciones de la presa Danxho. Jefatura del Distrito de Riego de Jilotepec. México. (Documento de circulación interna).
- Chiang, A. C. 1987. Métodos Fundamentales de Economía Matemática. 3ª. Edición. Ed. Mc Graw Hill. México.
- Florencio, C. V.; Valdivia, A. R. y Scott, C.A. 2002. Productividad del agua en el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma. Agrociencia. 36-004:483-493.
- García, S. J. A. 2006. Apuntes de modelos de equilibrio espacial e intertemporal. Colegio de Postgraduados. México.

- Garrido, A. 2000. A mathematical programming model applied to the study of water markets within the Spanish agricultural sector. *Annals of Operation Research*. J.C. Baltzer AG. Science Publishers. España. 95: 105-123.
- Garrido, C. et. al. 2007. La importancia del valor, costo y precios de los recursos hídricos en su gestión. Ed. Colegio de Postgraduados-Universidad Politécnica de Cartagena-Universidad Politécnica de Madrid.
- Godínez, M. L.; García, S. J. A.; Fortis, H. M.; Mora, F. J. S.; Martínez, D. M. A.; Valdivia, A. R.; Hernández, M. J. 2007. Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. Ed. Terra Latinoamericana, Universidad Autónoma Chapingo. 25-1:51-59.
- Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. 1997. Introducción a la investigación de operaciones. Traducción González O. M. A. 6a. edición. Ed. Mc Graw-Hill Interamericana Editores S.A. de C. V. México. 998 p.
- Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. 2002. Investigación de operaciones. 7a ed. Ed. McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. de C.V. México. 925 p.
- Jabeen, S.; Ashfaq, M. and Ahmad, I. B. 2006. Linear program modeling for determining the value of irrigation water. *J. Agric. Social Sci.* 2-2:101-105.
- Liu, X.; Chen, X. and Wang, S. 2007. Evaluating and predicting shadow prices of water resources in China and its nine major river basins. *Water Resour Manage.* Ed. Springer Science. China. 23:1467-1478
- Intermón Oxfam. Oxfam Internacional. 2009. <http://www.intermonoxfam.org>
- Mankiw N. Gregory. 2001. *Macroeconomías*. Ed. John Wiley and Sons. 7 pp.
- Martín de Santa Olalla, M. F.; López, F. P. y Calera, B. A. 2005. Agua y agronomía. Ed. Mundi-prensa. España. p. 310.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2002. Agua y cultivos: logrando el uso óptimo del agua en la agricultura. <http://www.fao.org/docrep/005/Y3918S/y3918s00.htm> (abril 2009).
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 2003. Informe de las Naciones Unidas sobre Desarrollo de los Recursos Hídricos en el

Mundo. Agua para todos. Agua para la vida.  
unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556s (abril 2009).

Postel, Sandra. 1992, rev. 1997. Last Oasis: Facing Water Scarcity. New York: W.W. Norton.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2000. América Latina y el Caribe. Perspectivas del Medio Ambiente. GEO-ALC del PNUMA. Costa Rica.

Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). 2001. Las aguas residuales municipales como fuente terrestre de contaminación de la zona marino-costera en la región América Latina y Caribe. Costa Rica.

Quesada, I. V. M. y Vergara, S. J. C. 2009. Análisis Cuantitativo con Win QSB. Ed. Universidad de Cartagena, Colombia. 156 p.

Samuelson et. al. 2001. Macroeconomía con aplicaciones a México. 16ª. ed. Editorial Mc Graw Hill, México.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2008. Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON). [www.siap.sagarpa.gob.mx/sistemas/siacon](http://www.siap.sagarpa.gob.mx/sistemas/siacon) (Noviembre 2009).

Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA). 2009 Avance de siembras y cosechas. [www.siap.sagarpa.gob.mx](http://www.siap.sagarpa.gob.mx) (Octubre 2009).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua y Universidad Autónoma Chapingo (SEMARNAT-CONAGUA-UACH). 2007. Plan director para la modernización integral del riego, del Distrito de Riego 044 Jilotepec, Estado de México. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua y Universidad Autónoma Chapingo (SEMARNAT-CONAGUA-UACH). 2007. Estatutos sociales de la Asociación de usuarios del Distrito de Riego 044 Jilotepec, Estado de México. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua y Universidad Autónoma Chapingo (SEMARNAT-CONAGUA-UACH). 2007. Reglamento del Distrito de Riego 044 Jilotepec, Estado de México. México.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua y Universidad Autónoma Chapingo (SEMARNAT-CONAGUA-UACH). 2007. Reglamento del módulo Asociación de usuarios del Distrito de Riego 044 Jilotepec, A. C. México.

Taha, Hamdy A. 2004. Investigación de operaciones. Séptima edición. Ed. Pearson, Prentice Hall. University of Arkansas, Fayetteville. México. 848 pp.

Valdovinos Ch. V. R. 1995. Elementos de Programación Matemática. Universidad Autónoma Chapingo, México.

Vega E. 1996. La valuación económica de la biodiversidad. Economía Ambiental. Lecciones de América Latina. Instituto Nacional de Ecología. México.

Win Quantitative System Business (WinQSB) 2009. Ver. 2.0.

## ANEXOS

### Anexo I. Concentrado de soluciones óptimas a los MPL real, base e iteraciones

**Cuadro I-1. Superficie asignada a las actividades agrícolas  
(Superficie en has)**

Cultivos	2009 real	MPLBase	MPL01	MPL02	MPL03	MPL04	MPL05	MPL06	MPL07
Avena de nov.	21.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Avena de dic.	27.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Avena de enero	31.50	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	-
Avena de mar.	80.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	-
Avena de abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Avena de mayo	-	-	-	-	-	-	-	-	300.57
Trigo de nov.	0.75	48.99	80.00	-	48.99	73.52	-	80.00	-
Trigo de abril	0.75	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	3,968.55
Maíz de febrero	89.50	-	-	-	-	-	-	-	-
Maíz de marzo	982.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Maíz de abril	1,123.25	2,754.21	4,128.29	2,724.85	2,420.99	2,737.12	2,121.70	-	-
Maíz de mayo	270.50	316.24	102.58	282.16	286.38	333.32	222.40	-	-
Pasto de nov.	30.00	20.65	150.00	37.73	20.65	16.48	28.23	9.83	-
Pasto de dic.	120.00	129.35	-	157.33	129.35	133.52	119.78	111.64	-
Frutales	50.00	50.00	50.00	100.00	50.00	50.00	50.00	50.00	714.96

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL en WinQSB (2009).

**Cuadro I-2. Superficie total asignada a las actividades agrícolas y volumen a actividades no agrícolas  
(Superficie en has/Cantidad en mm3)**

Ciclo	Sup.								
<b>OI</b>	<b>80.75</b>	<b>198.99</b>	<b>230.00</b>	<b>150.00</b>	<b>198.99</b>	<b>223.52</b>	<b>150.00</b>	<b>230.00</b>	-
Avena	80.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	-
Trigo	0.75	48.99	80.00	-	48.99	73.52	-	80.00	-
<b>PV</b>	<b>2,546.00</b>	<b>3,350.45</b>	<b>4,510.87</b>	<b>3,287.01</b>	<b>2,987.37</b>	<b>3,350.44</b>	<b>2,624.10</b>	<b>280.00</b>	<b>4,269.13</b>
Maíz	2,465.25	3,070.45	4,230.87	3,007.01	2,707.37	3,070.44	2,344.10	-	-
Avena	80.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	300.57
Trigo	0.75	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	80.00	3,968.56
<b>Perenes</b>	<b>200.00</b>	<b>200.00</b>	<b>200.00</b>	<b>295.07</b>	<b>200.00</b>	<b>200.00</b>	<b>198.01</b>	<b>171.47</b>	<b>714.96</b>
Pas y prad	150.00	150.00	150.00	195.07	150.00	150.00	148.01	121.47	-
Frutales	50.00	50.00	50.00	100.00	50.00	50.00	50.00	50.00	714.96
<b>Otros</b>	<b>Cant.</b>								
Abrevadero	2,192.97	2,192.97	2,192.97	2,192.97	2,192.97	2,192.97	2,192.97	2,192.97	2,192.97
Doméstico	305.25	305.25	305.25	305.25	305.25	305.25	305.25	305.25	305.25
<b>Total Sup.</b>	<b>2,826.75</b>	<b>3,749.44</b>	<b>4,940.87</b>	<b>3,732.07</b>	<b>3,386.36</b>	<b>3,773.96</b>	<b>2,972.11</b>	<b>681.47</b>	<b>4,984.09</b>
<b>Total Agua</b>	<b>2,498.22</b>								

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL en WinQSB (2009).

**Cuadro I-3. Precios sombras del agua  
(Precio en pesos por mm3)**

Mes	MPLBase	MPL01	MPL02	MPL03	MPL04	MPL05	MPL06	MPL07
Agua diciembre	2,535.31	-	2,890.92	2,535.31	2,535.31	2,890.92	959.48	-
Agua febrero	-	-	-	-	-	-	-	5,716.94
Agua abril	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	27.87	-	1581.84
Agua mayo	211.31	211.31	211.31	211.31	211.31	211.31	-	792.53

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL en WinQSB (2009).

## **Anexo II. Información utilizada por el MPL en el año agrícola 2008 – 2009.**

**Cuadro II-1. Volumen de agua total consumida por cultivo cíclico y perene en el año agrícola 2008 - 2009.  
(Volumen en mm3)**

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
<b>CICLO O-I</b>												
Avena	-	57	128	251	684	1,004	1,004	-	-	-	-	-
Trigo	-	2	2	2	2	2	2	-	-	-	-	-
Subtotal OI	-	59	130	253	686	1,006	1,006	-	-	-	-	-
<b>CICLO P-V</b>												
Maiz	-	-	-	-	465	3,766	8,315	10,027	10,717	10,763	11,672	11,672
Avena	-	-	-	-	-	-	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004	1,004
Trigo	-	-	-	-	-	-	2	2	2	2	2	2
Subtotal PV	-	-	-	-	465	3,766	9,321	11,033	11,723	11,770	12,678	12,678
<b>PERENES</b>												
Pasto y pradera	-	227	430	748	1,143	1,481	1,981	2,181	2,317	2,317	2,342	2,342
Frutales	-	-	-	-	29	47	56	60	60	60	63	63
Sutotal	-	227	430	748	1,172	1,528	2,037	2,241	2,378	2,378	2,405	2,405
<b>OTROS</b>												
Abrevadero	-	19	60	110	148	182	237	277	286	286	294	294
Doméstico	-	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Subtotal otros	-	46	87	138	175	209	264	305	314	314	321	321
<b>TOT. MEN.</b>	<b>-</b>	<b>332</b>	<b>647</b>	<b>1,139</b>	<b>2,499</b>	<b>6,510</b>	<b>12,629</b>	<b>13,578</b>	<b>14,414</b>	<b>14,461</b>	<b>15,405</b>	<b>15,405</b>

Fuente: Avance del plan de riego por mes. Jefatura del Distrito de Riego 044 Jilotepec (CONAGUA, 2009).

**Cuadro II-2. Precio Medio Rural de los cultivos cíclicos y perenes en los meses de cosecha  
(Precios en \$/ton)**

Ciclo : O-I	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sep	Min	Max	Prom
Avena for. verde	400	369	389	419	427	427	422	424	369	427	411	400
Maíz grano	-	-	-	3,037	3,037	3,091	3,088	3,160	3,037	3,160	3,083	-
Pastos en verde	-	213	213	213	213	213	213	213	213	213	213	-
Trigo grano	-	3,850	3,867	3,880	4,044	4,044	3,708	3,708	3,708	4,044	3,871	-
Ciclo : P-V	Jul	Ago	Sep	Oct								
Avena for. verde	564	558	588						496	588	552	564
Maíz grano	-	-	3,129						3,129	3,129	3,129	-
Pastos en verde	-	-	-									-
Trigo grano	-	-	7,000						7,000	7,000	7,000	-
Ciclo: Perenes	Mar	Abr	May	Jun	Juli	Agosto	Sep	Oct				
Durazno	5,011	5,166	5,488	5,492	5,516	5,515	5,543		5,011	5,543	5,390	5,011
Pastos en verde	348	381	377	382	388	382	448		324	448	379	348

Fuente: Delegación SAGARPA en el Estado de México (SAGARPA, 2009).

**Cuadro II-3. Monto de recaudación de cuotas por agua de riego por cultivo y año agrícola  
(Montos en \$/Año agrícola)**

Año Agrícola	Hectáreas Riego						Abrevadero Mm3	Recaudación Total
	O-I		P-V		Perenes			
	Avena	Trigo	Avena	Maíz	Pradera	Frutales		
1996-1997	18,063.50	26,040.00	-	150,601.55	39,193.00	6,380.00	8,862.70	<b>249,140.75</b>
1997-1998	4,489.10	12,196.80	-	121,605.00	29,517.95	2,070.00	140,754.46	<b>310,633.31</b>
1998-1999	23,161.60	33,094.60	14,210.35	291,705.00	34,827.10	3,060.00	63,133.07	<b>463,191.72</b>
1999-2000	15,246.00	25,960.55	-	208,699.20	32,728.85	3,600.00	22,649.55	<b>308,884.15</b>
2000-2001	8,085.00	14,399.00	-	175,947.00	32,074.35	1,147.50	29,537.20	<b>261,190.05</b>
2001-2002	7,072.50	6,027.00	8,569.00	279,821.75	57,657.48	1,750.00	117,165.00	<b>478,062.73</b>
2002-2003	16,200.74	-	22,017.00	249,335.45	28,511.40	4,760.00	79,787.50	<b>400,612.09</b>
2003-2004	14,380.34	-	4,428.00	145,149.55	32,595.00	8,820.00	26,950.00	<b>232,322.89</b>
2004-2005	30,122.70	-	7,872.00	277,888.00	39,647.00	22,120.00	41,375.00	<b>419,024.70</b>
2005-2006	3,821.20	-	11,767.00	152,100.00	64,365.08	3,248.00	51,757.50	<b>287,058.78</b>
<b>Total</b>	140,642.68	117,717.95	68,863.35	2,052,852.50	391,117.21	56,955.50	581,971.98	<b>3,410,121.17</b>
<b>Promedio</b>	14,064.27	11,771.80	6,886.34	205,285.25	39,111.72	5,695.55	58,197.20	<b>341,012.12</b>

Fuente: Elaborado con información estadística proporcionada por la Jefatura del Distrito de Riego 044 Jilotepec (CONAGUA, 2009).

**Cuadro II-4. Volumen de agua almacenada, programada y extraída de la presa Danxho por año agrícola**  
(Volumen en mm<sup>3</sup>)

<b>Año agrícola</b>	<b>Almacenamiento</b>	<b>Programado</b>	<b>Extraído</b>
1999-2000	29,160	20,800	17,891
2000-2001	23,740	18,000	14,706
2001-2002	25,001	22,700	20,982
2002-2003	31,046	22,000	15,952
2003-2004	31,046	22,000	9,953
2004-2005	31,046	22,000	19,087
2005-2006	22,174	18,000	11,265
2006-2007	31,046	22,000	10,282
2007-2008	31,046	22,000	17,648
2008-2009	31,046	17,919	17,341
<b>Promedio</b>	<b>28,635</b>	<b>20,742</b>	<b>15,511</b>

Fuente: Régimen de almacenamiento y extracciones de la presa Danxho. Jefatura del Distrito de Riego 044 Jilotepec (CONAGUA, 2009).

**Cuadro II-5. Costos de producción de maíz grano, PVGMF 2009**  
(Montos en pesos/ha)

<b>Actividad o labor</b>	<b>Forma de aplicación</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad aplicada</b>	<b>Precio U.</b>	<b>Importe total</b>
<b>Preparación de terreno</b>					
Barbecho	Mecanizado	Ha.	1	700	700
Rastreo	Mecanizado	Ha.	2	350	700
<b>Siembra o plantación</b>					
Semilla		Kg	25	56.5	1412.5
Siembra	Mecanizado	Ha	1	350	350
<b>Fertilización</b>					
Fertilizante		Kg	300	6.683	2004.9
Aplicación del fertilizante 1	Mecanizada	Jornal	1	125	125
Fertilizante 2		Kg	150	5.1	765
Aplicación del fertilizante 2	Manual	Jornal	2	125	250
Flete de fertilizante					
<b>Labores culturales</b>					
Escardas o cultivos	Mecanizada	Ha	2	350	700
Herbicidas 1		Kg/Lt	3	176.67	530.01
Aplic. de herbicida 1	Manual	Jornal	1	125	125
<b>Riego y drenaje</b>					
Costo de agua		Ha.	2	81	162
Limpia de canales	Manual	Jornal	1	125	125
Riego de pres-siembra	Manual	Jornal	1	125	125
Riesgo de auxilio	Manual	Jornal	1	125	125
<b>Cosecha</b>					
Pizca					
Flete y acarreo	Manual	Jornal	15	125	1875
Desgrane	Mecanizado	Ton	5	50	250
<b>Costo de producción</b>					<b>10162.40</b>

Fuente: Delegación SAGARPA en el Estado de México (SAGARPA, 2009).

**Cuadro II-6. Costos de producción de avena forrajera, PVGMF 2009**  
(Montos en pesos/ha)

<b>Actividad o labor</b>	<b>Forma de aplicación</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad aplicada</b>	<b>Precio uni.</b>	<b>Importe total</b>
<b>Preparación de terreno</b>					
Barbecho	Mecanizado	Ha.	1	700	700
Rastreo	Mecanizado	Ha.	2	350	700
<b>Siembra o plantación</b>					
Semilla		Kg	120	9	1080
Siembra	Manual	Ha	1	125	125
Tapa	Mecanizada	Ha	1	350	350
<b>Fertilización</b>					
Fertilizante 1		Kg	650	3.022	1964.3
Aplicación del fertilizante 1	Manual	Jornal	1	125	125
Fertilizante 2		Kg	250	3.14	785
Aplicación del fertilizante 2	Manual	Jornal	1	125	125
Flete de fertilizante					
<b>Labores culturales</b>					
Herbicidas 1	Mecanizada	Lt	2	90	180
Aplicación de herbicidas 1		Jornal	1	125	125
<b>Riego y drenaje</b>					
Costo de agua		Ha.	2	101	202
Limpia de canales	Manual	Jornal	1	125	125
Riego de pres-siembra	Manual	Jornal	1	125	125
Riego de auxilio	Manual	Jornal	1	125	125
<b>Cosecha</b>					
Corte y empacado	Mecanizado	Ha	1	2800	2800
Flete y acarreo	Manual	Jornal	250	3	750
<b>Costo de producción</b>					<b>\$ 10,184.30</b>

Fuente: Delegación SAGARPA en el Estado de México (SAGARPA, 2009).

**Cuadro II-7. Costos de producción de trigo, PVTMF 2009**  
(Montos en pesos/ha)

<b>Actividad o labor</b>	<b>Forma de aplicación</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad aplicada</b>	<b>Precio uni.</b>	<b>Importe total</b>
<b>Preparación de terreno</b>					
Barbecho	Mecanizado	Ha.	1	600	600
Rastreo	Mecanizado	Ha.	2	300	600
<b>Siembra o plantación</b>					
Semilla		Kg	120	6	720
Siembra	Manual	Ha	1	300	300
<b>Fertilización</b>					
Fertilizante 1		Kg	250	3.952	988
Aplicación del fertilizante 1	Manual	Jornal	1	100	100
Fertilizante 2		Kg	150	4.48	672
Aplicación del fertilizante 2	Manual	Jornal	1	100	100
Flete de fertilizante					
<b>Labores culturales</b>					
Herbicidas 1		Lt	2	85	170
Aplicación de herbicidas 1	Manual	Jornal	1	100	100
<b>Riego y drenaje</b>					
Costo de agua		Ha.			0
Limpia de canales	Manual	Jornal			0
Riego de pres-siembra	Manual	Jornal			0
Riego de auxilio	Manual	Jornal			0
<b>Cosecha</b>					
Trilla	Mecanizado	Ha	1	1200	1200
Flete y acarreo	Mecanizado	Ton	3.5	100	350
<b>Costo de producción</b>					<b>5,900</b>
<b>Costo de producción ajustado</b>					
<b>Por inflación</b>					<b>6708</b>

Fuente: Delegación SAGARPA en el Estado de México (SAGARPA, 2009).

**Cuadro II-8. Costos de producción de frutales, 2009**  
(Montos en pesos/ha)

<b>Actividad</b>	<b>Costo por actividad</b>
<b>1. Preparación del Terreno</b>	
b) Barbecho	320
c) Rastreo	320
<b>2. Siembra</b>	
a) Adquisición de Semilla Mejorada	380
b) Siembra o Plantación	1540
<b>3. Fertilización</b>	
a) Adquisición de fertilización	1800
b) Aplicación de fertilizantes	1200
<b>4. Labores Culturales</b>	
a) Escarda o Cultivo	2220
c) Adquisición de Herbicidas	2960
d) Aplicación de Herbicidas	2220
<b>5. Riego y Drenaje</b>	
a) Costos de Agua	190
b) Aplicación del Riego	490
<b>6. Control de Plagas y Enfermedades</b>	
a) Adquisición de Insecticidas y Fungicidas	1400
b) Aplicación de Insecticidas y Fungicidas	600
<b>7. Cosecha</b>	
a) Cosecha	7600
b) Acarreo	2530
<b>Costo de producción</b>	<b>25580</b>
<b>Costo de producción ajustado por inflación</b>	<b>29084</b>

Fuente: Plan director para la modernización integral del riego del distrito de riego 044 Jilotepec (SEMARNAT-CONAGUA-UACH, 2007).

**Cuadro II-9. Derechos, usuarios y superficie por tipo de tenencia de la tierra en el DR044 Jilotepec**

<b>Número de derechos por tenencia de la tierra</b>		
<b>Tenencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>Derechos</b>
Ejidal	60.84%	1,454.00
Pequeña propiedad	35.98%	860.00
Bienes comunales	3.18%	76.00
<b>TOTAL</b>	<b>100.00%</b>	<b>2,390.00</b>
<b>Número de usuarios por tenencia de la tierra</b>		
<b>Tenencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>usuarios</b>
Ejidal	62.62%	1,829.00
Pequeña propiedad	33.38%	975.00
Bienes comunales	4.01%	117.00
<b>TOTAL</b>	<b>100.00%</b>	<b>2,921.00</b>
<b>Superficie física por tenencia de la tierra</b>		
<b>Tenencia</b>	<b>Porcentaje</b>	<b>superficie física (ha)</b>
Ejidal	46.73%	2,957.85
Pequeña propiedad	49.96%	3,162.73
Bienes comunales	3.31%	209.40
<b>TOTAL</b>	<b>100.00%</b>	<b>6,329.97</b>

Fuente: Plan director para la modernización integral del riego del distrito de riego 044 Jilotepec (SEMARNAT-CONAGUA-UACH, 2007).