

COLEGIO DE POSTGRUADOS



INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E
INFORMÁTICA**

ECONOMÍA

VALOR ECONÓMICO DEL AGUA EN EL DISTRITO DE RIEGO 100 ALFAJAYUCAN, HIDALGO.

DOMINGO MARTÍNEZ LUNA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Domingo Martínez Luna, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Jose Saturnino Mora Flores, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Valor económico del agua en el Distrito de Riego 100 Alfajayucan, Hidalgo.

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 24 de Mayo de 2019



Firma del
Alumno (a)



Dr. José Saturnino Mora Flores
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Valor económico del agua en el Distrito de Riego 100 Alfajayucan, Hidalgo**. Realizada por el alumno: Domingo Martínez Luna, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
SOCIOECONOMÍA ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA
ECONOMÍA

CONSEJO PARTICULAR

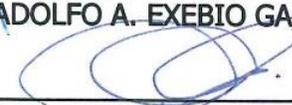
CONSEJERO (A)


DR. JOSÉ SATURNINO MORA FLORES

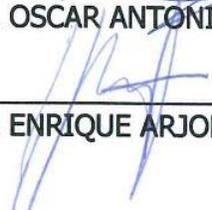
ASESOR (A)


DR. ADOLFO A. EXEBIO GARCÍA

ASESOR (A)


DR. OSCAR ANTONIO ARANA CORONADO

ASESOR (A)


DR. ENRIQUE ARJONA SUAREZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, junio de 2019

Valor económico del agua en el Distrito de Riego 100 Alfajayucan, Hidalgo.

Domingo Martínez Luna, M. en C.

Colegio de Postgraduados. 2019

RESUMEN

La agricultura de riego es el sector que más agua dulce consume en México y en el mundo; sin embargo, no existe en el país un sistema de medición de dicho consumo y el pago adecuado de este. El objetivo de este trabajo fue el obtener un patrón óptimo de cultivos en el Distrito de Riego 100 Alfajayucan Hgo, así como el de estimar el precio económico del agua entre distintos escenarios. La hipótesis establece que las tarifas pagadas por los agricultores en el DR 100 no reflejan su verdadero valor de escasez. Se instrumentó un modelo de programación lineal para maximizar el ingreso neto de los agricultores con 17 actividades agrícolas cíclicas y perenes, sujetas a 66 restricciones de superficie, agua, mano de obra y maquinaria. Los resultados indican que el ingreso neto del DR 100 se incrementaría en \$273 millones si se establece el patrón óptimo de cultivos, en comparación con el obtenido en el ciclo agrícola 2015-2016. El precio económico del agua arrojado por el modelo fue de \$1.44 /m³, muy superior al pagado actualmente por las cuotas de riego (\$0.02/m³), se confirma la existencia de un fuerte subsidio al consumo de agua: por lo que se recomienda se incrementen las cuotas pagadas por los agricultores.

Palabras clave: *optimización, precio económico del agua, programación lineal.*

Economic value of water in the Irrigation District 100 Alfajayucan, Hidalgo.

Domingo Martínez Luna, M. en C.

Colegio de Postgraduados. 2019

ABSTRACT

Irrigated agriculture is the sector that consumes the most freshwater in Mexico and in the world; However, there is no system in place in the country to measure such consumption and its adequate payment. The objective of this work was to obtain an optimal crop pattern in the Irrigation District 100 Alfajayucan Hgo, as well as to estimate the economic price of water between different scenarios. The hypothesis states that the tariffs paid by farmers in DR 100 do not reflect their true scarcity value. A linear programming model was implemented to maximize the net income of farmers with 17 cyclical and perennial agricultural activities, subject to 66 surface restrictions, water, labor and machinery. The results indicate that the net income of DR 100 would increase by \$ 273 million if the optimal crop pattern is established, compared to that obtained in the 2015-2016 agricultural cycle. The economic price of the water thrown by the model was \$ 1.44 / m³, much higher than that currently paid for the irrigation fees (\$ 0.02 / m³), confirming the existence of a strong subsidy to the water supply: so it is recommended increase the fees paid by farmers.

Index words: optimization, economic price of water, linear programming.

AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, por la beca otorgada para realizar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados, en especial al Programa en Economía, por la oportunidad para lograr una de mis metas dentro de mi formación profesional.

A los miembros del Consejo Particular, Dr. José Saturnino Mora Flores, Dr. Adolfo Exebio García, Dr. Oscar Antonio Arana Coronado y Dr. Enrique Arjona Juárez, por su asesoramiento y apoyo brindado.

Al Ing. Filemón Rodríguez Castillo, ingeniero en jefe de Distritos de Riego Ixmiquilpan, Hgo.

Al Ing. José Florencio Vázquez Sandoval, jefe de operación del distrito de riego 100 Alfajayucan, Hgo.

Al Ing. Gerardo Adán Martínez Serrano encargado de las Estadísticas de la CONAGUA del Distrito de Riego 100 Alfajayucan, Hidalgo por el aporte de los datos para la investigación.

A los profesores del Posgrado de Socioeconomía, Estadística e Informática que me impartieron cursos.

A Verónica Campos Santoyo, secretaria de la coordinación del posgrado en Economía, por todo su apoyo motivacional y administrativo.

DEDICATORIA

A mi madre (Araceli Luna), a mi hermana (Araceli Martínez) y a mi abuela (Avelina Duran) por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellas por cada día confiar y creer en mí, gracias a mi madre por estar dispuesta a acompañarme y preocuparse en todo momento.

A mis amigos de deporte Octavio Paredes, Tomas Badillo, Norma Martínez, Lourdes Camarena, Teresa Montaña y Luis Rosas por haberme inspirado para conseguir muchas metas que sin su apoyo dudo hubiera podido alcanzar.

A mis amigos de maestría Georgina Terrazas, Ana Santiago, Miariam Torres, Candy Reyes, Lizeth Ramón,. Giovanni Antonio, Florencia Alejandro y Angy Gerardo por compartir conocimiento y gratos momento durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

Asi mismo, dedico este trabajo a mis amigos Eric Badillo, Anahi Tochiutl, Areli Tochiutl, Talina Guerrero, Maria Lopez, Cecilia Salmerón, Gaby Osorio y Osvaldo Galvan por tantos años de amistad.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA.....	vii
LISTADO DE GRAFICAS.....	xi
LISTADO DE CUADROS	xii
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo general.....	5
1.2.2 Objetivo específico.....	5
1.3 Hipótesis	5
1.3.1 Hipótesis general	5
CAPÍTULO 2 : REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 La situación del regadío que emplea aguas subterráneas	8
2.1.1 El agua como bien público y privado.	8
2.1.2 Infraestructura, economías de escala y monopolio.....	9
2.1.3 Precio del agua.....	11
2.1.4 El impacto del precio del agua en su demanda	13
2.1.5 Formas para calcular el valor de agua de riego.....	13
2.1.6 Tarifas del Agua.....	14
2.2 Métodos para la valoración de recursos naturales	16
2.3 Programación lineal.....	16
2.3.1 El modelo de programación lineal.....	16
2.3.2 Variables del modelo	16
2.3.3 Restricciones o desigualdades lineales	17
2.3.4 Supuestos de programación lineal.....	18
2.3.5 Precio sombra y productividad marginal.....	18
2.3.6 Dualidad y análisis de sensibilidad	19
CAPÍTULO 3 : DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	24
3.1 Localización	24
3.1.1 Clima	26

3.1.2	Vegetación.....	26
3.1.3	Actividades económicas	26
3.1.4	Geología	26
3.1.5	Hidrología	27
3.1.6	Superficies por módulos de riego.	27
3.2	Patrón histórico de cultivos y rendimientos	28
3.3	Padrón de usuarios	30
3.4	Operación del distrito de riego	30
3.4.1	Infraestructura Hidráulica	31
3.4.2	Concesiones y transferencias de derechos	32
CAPÍTULO 4 : PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.		
.....		34
4.1	Actividades seleccionadas.	35
4.2	Cuantificación de los precios netos	36
4.3	Restricciones.....	37
4.3.1	Tierra	38
4.3.2	Agua	38
4.3.3	Mano de obra.....	39
4.3.4	Maquinaria.....	39
4.3.5	Restricciones a la producción de cultivos	40
4.4	Coefficientes del modelo	41
4.4.1	Tierra	42
4.4.2	Agua	42
4.4.3	Mano de obra.....	43
4.4.4	Maquinaria.....	44
4.5	Establecimiento del modelo base.....	45
4.6	Escenarios contruidos	46
CAPÍTULO 5 : ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.		48
5.1	Modelo base vs situación actual	48
5.1.1	Patrón óptimo de cultivos.....	49
5.1.2	Uso de los recursos en el modelo de programación lineal base. (MPL base). 51	
5.2	Escenarios contruidos a partir del MPL00.	52

5.3 Precio sombra del agua	60
CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
6.1 Conclusiones.....	62
6.2 Recomendaciones	63
CAPÍTULO 7 LITERATURA CITADA.....	64
ANEXO I	67
ANEXO 2 COSTOS DE PRODUCCIÓN	74

LISTADO DE GRAFICAS

Gráfica 2.1 Ubicación de los usos del agua en el mapa de bienes públicos y privados.	10
Gráfica 4.1 Consumo total de agua por mes durante el año agrícola 2015-2016 (Volumen en mm3)	39
Gráfica 5.1 Patrón de cultivos optimo vs año agrícola 2015-2016. Ciclo otoño-invierno.	50
Gráfica 5.2 Patrón de cultivos optimo vs año agrícola 2015-2016. Ciclo Primavera Verano.	51
Gráfica 5.3 Patrón de cultivos óptimos vs año agrícola 2015-2016. Cultivos perenes.....	51
Gráfica 5.4 Ingreso neto de los escenarios establecidos	56
Gráfica 5.5 Superficie sembrada (ha) en los escenarios establecidos.....	56
Gráfica 5.6 Consumo de agua en los escenarios establecidos.	57
Gráfica 5.7 Uso de mano de obra durante todo el ciclo agrícola de cada escenario.....	57
Gráfica 5.8 Uso de maquinaria en escenarios establecidos.....	58

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 2.1 Equivalencias de las restricciones y variables de un problema primal al dual.	22
Cuadro 3.1 Características de las presas de almacenamiento	27
Cuadro 3.2 Características de las presas de derivación	27
Cuadro 3.3 Estructura y superficie del Distrito de Riego 100	28
Cuadro 3.4 Superficies (ha) del patrón histórico de cultivos en el DR100	28
Cuadro 3.5 Rendimientos (ton/ha) de los principales cultivos en el DR100	29
Cuadro 3.6 Número de usuarios y superficie (ha) por módulo de riego ...	30
Cuadro 4.1 Actividades del modelo de programación lineal.....	36
Cuadro 4.2 Precios netos de las actividades de cultivo del modelo	37
Cuadro 4.3 Superficie (ha) máximas y mínimas a sembrar el siguiente ciclo agrícola.....	41
Cuadro 4.4 Plan de rotación de cultivos, ciclo agrícola 2015-2016	42
Cuadro 4.5 Coeficientes de requerimiento de riego (Lamina de riego). Ciclo agrícola 2015-2016.....	43
Cuadro 4.6 Restricciones de mano de obra horas hombre/mes). Ciclo agrícola 2015-2016.....	44
Cuadro 4.7 Restricciones de maquinaria (horas maquina/mes). Ciclo agrícola 2015-2016.....	44
Cuadro 5.1 Comparación del patrón actual de cultivos, ciclo agrícola 2015-2016 con el patrón óptimo de cultivos del modelo base MPL00.	49
Cuadro 5.2 Superficies sembrada (ha) para cada escenario.....	55
Cuadro 5.3 Resultados de programación lineal	59
Cuadro 5.4 Valor del precio sombra del agua de riego para cada escenario establecido.....	60

CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos renovables más importantes para la calidad de vida de la población y es determinante para el funcionamiento del sistema económico. El Mundo atraviesa en la actualidad por una fase de escasez relativa de recursos hídricos, luego de haber transitado por una fase prolongada de disponibilidad de agua y otra más de sobreexplotación que aún se traslapa hoy con la escasez, acentuada por la progresiva contaminación de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, que han derivado en un rezago y en algunos casos decline de la disponibilidad natural del agua. El grado de escasez varía entre regiones dependiendo de su configuración hídrica, el desarrollo económico y su proceso de urbanización.

En la toma de decisiones sobre la forma de manejar los recursos hidráulicos es importante tomar en cuenta el costo o valor del agua. Cuando esta es escasa y cara (en términos de otros recursos que deben sacrificarse para hacerla disponible), es justificable hacer inversiones considerables con objeto de aumentar la eficiencia de su uso (Palacios, 2011).

La situación del agua es uno de los problemas más graves y más urgentes a los que hace frente la sociedad mexicana. El agua ha desempeñado un papel crucial en el desarrollo nacional y regional de México. Durante más de 60 años el uso en expansión del agua en la irrigación, las ciudades y las industrias se ha basado en el desarrollo de la infraestructura hidráulica en todo el país. Sin embargo, el desarrollo agropecuario, el crecimiento de la población y la urbanización han incrementado el número de demandas de agua de uso conflictivo.

Han surgido conflictos entre los usuarios urbanos y rurales, entre las ciudades vecinas y, de manera más frecuente, entre los estados y las regiones vecinas. Las brechas crecientes entre aquellos que tienen acceso al servicio de agua y los que no tienen; el mayor deterioro de la calidad del agua en los ríos y

lagos; la degradación de los servicios de suministro de agua debido al mal mantenimiento y la poca capacidad técnica y administrativa de las organizaciones encargadas de proporcionarlos; y el desperdicio de agua o las prácticas de uso ineficiente del recurso, constituyen (entre otras cosas) problemas apremiantes que exigen nuevos planteamientos para la regulación del agua en México.

1.1 Planteamiento del problema

Los distritos de riego son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros. A la fecha existen 113 distritos de riego (CONAGUA, 2015).

Debido a su naturaleza, las estimaciones de la cantidad del agua subterránea son menos precisas que las correspondientes al agua superficial. La extracción creciente produjo que se redujeran los niveles del agua subterránea, lo que ocasionó que los pozos se construyeran a mayor profundidad.

La sobreexplotación de aguas subterráneas, principalmente en zonas áridas y semiáridas, ha ocasionado daños prácticamente irreversibles, tal como intrusión salina, hundimiento del terreno y el bombeo a profundidades económicamente imprácticas (SEMARNAT, 2000).

La disponibilidad insuficiente y demanda creciente del líquido han dado un uso competitivo entre los sectores de uso; la agricultura se ve mucho más afectada, debido a su capacidad económica más reducida; en la mayoría de las áreas de riego por bombeo, tiene que extraerse el agua de profundidades de 70 a más de 120 metros, motivo por el cual la actividad se ha hecho gradualmente menos lucrativa.

Se estima que uno de cada dos litros que provienen de las fuentes de suministro no se aprovecha, debido a problemas institucionales; esto se ha traducido en una operación ineficiente de las obras y prácticas inadecuadas en el uso del agua a nivel parcelario, dado que los patrones de cultivo no tienen ninguna relación disponible. Las cuotas aplicadas por servicio de riego llevan al desperdicio de agua, ya que constituyen un porcentaje muy bajo de los costos de producción.

Toda la atención analítica limitada que se le ha dedicado al problema del agua se ha dirigido a dar respuesta a las preguntas de cuándo y de qué manera desarrollar suministros de agua adicionales, y no a la pregunta que cuestione si los suministros de agua existentes se están utilizando o no eficientemente, y si los derechos de propiedad del recurso son definidos correctamente por las leyes de instituciones mexicanas. Este es el caso del Distrito de Riego 100 Alfajayucan, Hidalgo.

El DR100 Alfajayucan presenta un problema sobre cómo establecer tarifas con componentes variables asociados realmente al volumen consumido, ya que aún no se cuenta con sistemas de medición y control del uso predial similar a los que existen en consumo domiciliario. En los sistemas de irrigación, el agua se maneja mayormente en sectores por turnos en secciones del sistema de riego, y no es factible medir o controlar el agua que ingresa a cada uno de los predios agrícolas del sector. A lo más, la autoridad que distribuye el agua puede medir y controlar el agua que entra a un sector, y en niveles superiores del sistema, pero no al interior de cada predio.

Esta situación limita las posibilidades de establecer un esquema de tarifas por componentes variables para los agricultores, y lo que generalmente se usa es un esquema que asocie la tarifa a la extensión de tierra regada, poseída o sembrada por los agricultores, y en este último caso, puede haber un pago diferenciado entre cultivos si hay mucha diferencia en la intensidad en el consumo de agua. Así, el esquema de tarifas en el sector de riego tiene una relación indirecta con el consumo

de agua de los agricultores, en la medida en que este se asocia, más o menos proporcionalmente, a la extensión de tierras y de los cultivos instalados.

La reducida tarifa que los agricultores pagan por el acceso al agua tiene otras implicancias económicas importantes. Al estar el precio del agua muy por debajo de su valor real, los agricultores tienen incentivos fuertes para el sobreuso del agua, con impactos adversos en los suelos sobreirrigados.

Con referencia a esta problemática, la presente investigación tiene como objetivo determinar el Valor del Producto Marginal del agua en el sector agrícola y optimizar los cultivos establecidos periódicamente en el DR100 para incrementar el ingreso neto total del distrito. Esto permitirá plantear posibles escenarios de escasez de los recursos y como se vería afectada la producción de los cultivos.

El hecho de atribuir el valor económico del agua tiene implícita la manera de que el mercado pueda proporcionar estímulos suficientes para que los agentes modifiquen sus comportamientos de consumo, es decir, la solución se planteará por el lado de la demanda. Las señales que reciben los agentes económicos son los precios, entonces, bajo estas condiciones podrán existir mercados para la compra y venta de agua, de tal forma que se determinen cantidades óptimas de consumo; en otras palabras, ayudará a establecer un precio basado en la escasez, los mercados incitan a que el agua se utilice en proyectos de más valor. El propósito de valorar el agua como bien económico es incentivar, vía mecanismos de precios de mercado, su uso eficiente y adecuado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el Valor del Producto Marginal del agua de riego del DR 100, mediante la optimización de cultivos.

1.2.2 Objetivo específico

1. Establecer el precio sombra del agua en el DR 100, mediante un modelo de programación lineal.
2. Proponer un patrón de cultivos en el DR 100 en el cual los productores maximicen sus ganancias.
3. Mediante el cálculo de precio sombra y productividad marginal del agua evaluar las tarifas de pago de los productores por unidad de agua.

1.3 Hipótesis

1.3.1 Hipótesis general

Las tarifas actuales de agua de riego en el DR 100 no reflejan su verdadero valor de escasez.

CAPÍTULO 2 : REVISIÓN DE LITERATURA

La programación lineal es una técnica matemática usada en el análisis económico para la toma de decisiones, tendientes a una mejor asignación de recursos, dadas varias alternativas de solución, una función objetivo, una serie de restricciones, una matriz de coeficientes técnicos. A partir de esta metodología se han realizado varios estudios con relación al valor económico del agua de riego.

Rubiños P. J. E. (1992), desarrolló una metodología para la planeación del Distrito de Riego 017 Región Lagunera. El modelo de programación lineal maximizó el beneficio neto de los agricultores, sujeto a restricciones de la operación conjunta de las presas, disponibilidad de agua, tierra y relaciones de transferencia. De los resultados obtenidos se concluyó que es posible mejorar la productividad del agua, a través del análisis de la conformación del patrón de cultivos y la operación del sistema de presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco, utilizando esta metodología como herramienta de ayuda para los planeadores de la operación del distrito de riego.

Lucila G. M. (2005), realizó un estudio con el objetivo de estimar el valor económico del agua para riego de bombeo y gravedad, así como dar recomendaciones de política que contribuyan a hacer un uso más eficiente del recurso en la producción agrícola de la Comarca Lagunera. Los resultados del modelo de asignación de recursos arrojaron un precio sombra de \$0.646/m³ de agua de bombeo y de \$0.582/m³ de agua de gravedad. Debido a que los valores encontrados son sensiblemente mayores a las cuotas que los productores agrícolas pagan por el uso del agua en la región, la cual asciende a \$0.05/m³, se corroboró la existencia de un fuerte subsidio al consumo de agua; por lo tanto, la recomendación fue aumentar las cuotas pagadas por los productores.

Ortega G. D. (2009), mediante el uso de técnicas de programación lineal desarrolló un modelo de optimización de recursos hídricos para el Distrito de Riego 005,

localizado en Delicias, Chihuahua, México. El modelo planteado permitió estimar la superficie de riego y el patrón de cultivos óptimo para incrementar los beneficios netos de los productores. Se analizaron cuatro escenarios posibles, tomando en cuenta la disponibilidad de volúmenes clave en las fuentes de abastecimiento de agua, así como dos eficiencias de conducción de la red de canales. Los resultados indicaron que la superficie sembrada en el distrito fue de 70 459 ha. La superficie estimada por el modelo fue menor en 9643 ha con respecto a la superficie regable actualmente; por lo cual se concluye que es conveniente establecer estrategias para que, en situaciones próximas, la superficie excedente sea desincorporada del Distrito de Riego, o bien, reducir la concesión de agua con la finalidad de lograr la sustentabilidad de los módulos.

Zetina E. A. M. (2010), presentó la metodología para optimizar el patrón de cultivos en el distrito de riego 044, Jilotepec, Estado de México, en el ciclo agrícola 2008-2009, determinó el valor económico del agua en posibles escenarios futuros. El modelo de programación lineal comprendía 37 actividades agrícolas y 62 restricciones. Los resultados mostraron una diferencia de 2.2 millones de pesos entre la situación actual y el óptimo económico. El valor del producto marginal del agua obtenido, estuvo entre 0.96 y 5.72 pesos por m^3 en el ciclo Otoño- Invierno y entre 0.03 y 0.21 pesos por m^3 en Primavera-Verano. Dichos valores expresan que los precios económicos del agua son superiores a las cuotas pagadas por los usuarios del DR044, por lo tanto el incremento gradual de las cuotas podrán optimizar su uso.

Rodríguez F. J. L. (2018), estimó el valor económico del agua de uso agrícola en los módulos que componen el Distrito de Riego 011, Alto Rio Lerma, en el Estado de Guanajuato, México. Utilizando una metodología de valoración deductiva: la programación matemática positiva (PMP). Se usó como base la producción; consumo de agua del año agrícola 2016-2017 y datos medios de los años agrícolas 2014 a 2017 sobre precios medios rurales, rendimientos y costos de producción. Los resultados muestran que el valor económico del agua es de 1.8 a 4.7 veces la

cuota pagada por los usuarios en el año 2016-17, que es de \$500 pesos por hectárea por riego. La disposición de pago aumentaría cuando el agua escasea, en un escenario del 25% de 1.8 a 5.8 veces la cuota pagada en el año base y de 3.6 a 14.8 cuando la escasez es del 50%. Se esperaría que un aumento en el precio de esta cuota promueva un uso eficiente del recurso.

2.1 La situación del regadío que emplea aguas subterráneas

Estudios económicos teóricos o empíricos, parecen recomendar que se eleve el precio de las aguas subterráneas o que se implementen sistemas de precios administrados que incorporen la renta de escasez (Tobarra, 1995). Una situación de pérdida de valor de la tierra, aun cuando las condiciones económicas generales dieran fundamento a una menor rentabilidad del sector de riego y, por tanto, pérdida del precio de la tierra, sustentan la hipótesis de que el costo marginal creciente derivado de la pérdida de calidad del agua o del descenso del nivel piezómetro, no desestimula con suficiente intensidad el régimen de explotación de determinados acuíferos.

Las ayudas públicas en el regadío para mejorar la tecnología de los riegos, las captaciones y las conducciones de agua, consiguen aumentar la eficiencia técnica y económica de los sistemas agrícolas. Ello ayuda a que la escasez física vaya siendo mitigada, al tiempo que se contrarresta la evolución negativa de los costos de aplicación de agua. Probablemente, eso contribuye a que los acuíferos sobrexplotados sufran mayor presión en el largo plazo. Las ayudas a las mejoras tecnológicas que no fueran acompañadas de mayores controles anuales y volumétricos podrían tener un efecto deseado al contrario.

2.1.1 El agua como bien público y privado.

La definición de bien público, se refiere a una condición en la cual no es posible excluir a las personas del consumo del bien. Además, no existe rivalidad en el consumo; es decir, el consumo de los individuos no reduce el *stock* del bien ni incrementa la escasez de este. Esta última particularidad es bastante especial y

limita los bienes estrictamente públicos, algunos de los cuales –como la defensa nacional y el alumbrado público terminan siendo bastante especiales. A estos se le denominan bienes públicos puros y queda claro que la provisión le corresponde al estado o a la autoridad que cobra impuestos. El agua puede caer en la categoría de bien público puro en algunas circunstancias especiales.

La grafica 2.1 presenta una clasificación de los distintos usos del agua en un mapa de bienes públicos y privados, en el que las coordenadas se refieren al grado de exclusión y rivalidad. Los usos más cercanos al origen superior izquierdo son bienes públicos puros, mientras que los ubicados más lejos, en la parte inferior derecha, se acercan más a bienes estrictamente privados.

2.1.2 Infraestructura, economías de escala y monopolio

El hecho de tener dificultades para organizar el mecanismo de mercado para muchos usos del agua no inhibe la importancia de conceptos económicos como la producción de agua y los costos, que deben ser cubiertos. Una característica importante de la “producción de agua” es que requiere inversiones de gran escala en infraestructura de almacenamiento, control y distribución del recurso. Esta infraestructura, una vez generada, requiere recursos para operación y mantenimiento, los cuales son también costos a cubrir. En este caso, es conveniente revisar los conceptos de tecnología y costos de producción aplicados en sistemas de agua para actividades como el riego, el consumo humano o la generación de energía eléctrica.

Gráfica 2.1 Ubicación de los usos del agua en el mapa de bienes públicos y privados.



Fuente: Basado en Randall (1988) y Young (1996).

En la parte media derecha (Gráfica 2.1) se ubican las actividades productivas que presentan el mayor consumo de agua. En primer lugar, se encuentra la agricultura, especialmente la agricultura bajo riego. Los otros usos importantes de agua para fines productivos son la minería y la industria. En todos estos casos, existen altos niveles de conflicto con otros usos y al interior de cada uso. Estos son altamente rivales, es decir, extraen parte significativa del recurso. Igualmente, estas actividades suelen usar los cuerpos de agua para verter sus desechos; es decir, son actividades que usan el agua como vertedero, que es una fuente de alta conflictividad intersectorial, pues genera impactos en la calidad del recurso que son difícilmente medibles y controlables.

Las actividades agrícolas son propensas a generar conflictos porque se caracterizan por la baja o limitada exclusión y la alta rivalidad, que es una característica de « bienes mixtos », difícil establecer y organizar mercados que asignen el recurso. La situación de baja o limitada exclusión genera restricciones que permiten que los usuarios que sean excluidos del consumo; por ejemplo, si pagan una tarifa. Si se

quisiera organizar un mercado, se requeriría que el bien pueda ser negado al usuario o comprador que no pague el precio, algo muy difícil de lograr en sistemas con limitada exclusión como los sistemas de riego. Problemas de medición y control de las acciones de los usuarios limitan la posibilidad de organizar un mercado que asigne el recurso escaso y administre de manera más automática la «*escasez compartida*».

En la parte inferior derecha (Grafica 2.1) se ubican los usos que se acercan más a lo que se llama un «*bien privado*». Se trata del uso del agua para consumo humano, básicamente en las viviendas de las familias, tanto en zonas urbanas como rurales, para el consumo doméstico y saneamiento básico. Este uso constituye un bien privado porque las condiciones tecnológicas actuales, el servicio se puede prestar bajo modalidades que permiten cortar el servicio al usuario que no pague por este. En este caso es posible organizar propiamente un mercado en el cual una empresa –por lo general un monopolio- les vende a los usuarios el servicio de agua y desagüe a cambio de que ellos paguen un precio.

2.1.3 Precio del agua

Los costos de agua de riego son todos aquellos en los que incurre el proveedor del agua e incluyen costos de operación, mantenimiento y remplazo de las instalaciones, costos de capital en la forma de cargos por amortización, y en cuanto por la recolección de cuotas por los servicios de riego (Perry, 2004).

El agua de riego puede tener un valor económico, social y ambiental. El primero se refiere a la noción de “demanda”, y puede basarse, entre otros criterios, en la producción neta adicional, como resultado de la utilización de agua por el usuario actual. Asimismo, en lugar de una medición directa de la disponibilidad marginal a pagar por el agua, se puede usar el concepto de costo de oportunidad: los costos de oportunidad son los máximos beneficios que podrían obtenerse por algún uso alternativo del recurso. Los valores sociales involucran elementos como la equidad, la seguridad en el abasto de alimentos, los precios asequibles al consumidor, el

alivio de la pobreza y el desarrollo rural. Los valores ambientales se enfocan en el valor del agua de riego como requerimiento esencial de los ecosistemas. El valor social y ambiental del agua de riego ha sido explorado con menos detalle que el valor económico, pero es posible incluirlos mediante la estimación de su valor monetario con el método de valoración contingente.

El valor del agua, en contraste, debe ser estimado a menudo, ya que es rara la ocasión en la cual los agricultores compran el agua bajo operaciones competitivas de mercado, las cuales involucran otros sectores económicos. Sin embargo, existen algunas experiencias con transacciones relacionadas con el agua bajo precios de mercado observables y a partir de dichas transacciones es posible derivar el valor del agua.

La determinación del valor del agua puede servir para los siguientes propósitos:

1. Dar una idea acerca del valor del agua es esencial para analizar las implicaciones de su distribución entre los usuarios, para poder analizarla se deben tomar en cuenta implicaciones financieras, económicas y ambientales. Lo anterior sirve como apoyo para las decisiones de política con respecto a la distribución del agua entre los usuarios en el mismo sector o región.
El agua se debe de distribuir a aquel usuario que tenga el valor más alto, valor neto del agua (los beneficios menos los costos de provisión deben exceder los beneficios a los que renuncia menos los costos de provisión).
2. Provee, asimismo, una idea de la respuesta de los usuarios a los procedimientos alternativos de distribución. Ayuda a los encargados del diseño de políticas a entender en qué medida poner un precio al agua es útil en la práctica, y para que propósito puede servir, como por ejemplo, administración de la demanda y la recuperación de costos.
3. La valoración del agua puede justificar también las decisiones acerca del desarrollo de esta como recurso. Al comparar los costos y beneficios del riego es posible obtener una idea acerca del desarrollo de esta como recurso. Al comparar los costos y beneficios del riego es posible obtener una idea acerca

de la rentabilidad de esta actividad. Dicha información puede, por ejemplo, servir de apoyo para las decisiones de inversión en sistemas de rehabilitación para el agua de riego.

4. Es posible tener una idea acerca de la viabilidad del costo de recuperación, comprando el precio pagado por los usuarios del riego con los costos de la provisión del agua de riego (Banco Mundial, 2005). Los consumidores, se benefician del agua de riego al tener precios más bajos en los alimentos, lo cual puede justificar parcialmente la recuperación de costos en la agricultura.

2.1.4 El impacto del precio del agua en su demanda

Cuando el valor del agua es sustancialmente mayor que su precio volumétrico de uso (lo cual ocurre con mucha frecuencia), se requerirá de un aumento importante en el precio del agua para equilibrar la oferta y la demanda. Esto podría no ser políticamente factible. Cuando un exceso de agua es recuperado en alguna otra parte del sistema, a partir de la captación o reuso, el incremento en el precio generará un ingreso, pero tendrá un impacto menor en el consumo.

.

2.1.5 Formas para calcular el valor de agua de riego.

El valor del agua puede obtenerse a partir de los precios observables que prevalecen en los mercados de agua existentes o en las transacciones de bancos de agua donde esta redistribuida de los usos con valores bajos hacia los usos con valores altos (asumiendo que no existen fallas de mercado). El término mercado de agua se refiere a la transferencia permanente –o temporal- de un derecho de agua o un título de contrato para uso de agua. El termino banco de agua se refiere a bancos de almacenaje de aguas superficiales.

Una posibilidad para estimar el valor del agua de riego es comparar la situación con o sin riego. El valor marginal neto de la producción del agua de riego puede basarse en la diferencia entre los beneficios menos los costos de producción de la cosecha en tierras de riego y de temporal, dividido entre la cantidad de agua consumida.

Cuando no sea posible comparar la situación con o sin riego, el valor del agua de riego se puede estimar con técnicas que atribuyen a un valor al comparar los gastos totales asociados con la producción de una cosecha con el ingreso recibido por la venta de la misma. El valor residual puede, sin embargo, incluir otros valores como la rentabilidad del manejo de la tierra.

Las estimaciones del valor del agua pueden estar influidas por varios factores. Estos incluyen técnicas de medición empleadas, la naturaleza de los datos usados, y los supuestos hechos en la estimación. Los valores del agua basados en el agua utilizada en un campo pueden, por ejemplo, ser menores a aquellos basados en el agua consumida por la cosecha. Los aspectos espaciales y temporales del uso del agua también afectan su valor. (NRC, 2004). El valor marginal del agua no solo depende del valor de la cosecha, sino también en la cantidad de agua utilizada y la naturaleza de la relación entre el cultivo cosechado y el uso del agua: a medida que se utiliza más agua, generalmente el efecto de la cosecha empieza a declinar. Asimismo, los agricultores plantan menos cultivos de alto valor si no existe un abastecimiento continuo del agua, lo cual que significa que el valor también depende de la certeza de la oferta de agua.

El valor del agua puede derivarse también a partir de los costos de oportunidad de las decisiones reales de política, las cuales reflejan una preferencia implícita de los valores de la sociedad para distribuir el agua a partir de prioridades políticas ya definidas. (Morales, 2007).

2.1.6 Tarifas del Agua.

Las tarifas son un elemento fundamental en los programas de uso eficiente del agua. Según Grisham y Flemming, (1989), las tarifas pueden ayudar a ahorrar agua si se observan en su estructura los siguientes componentes: a) el primero es la “recuperación de costos”, o la relación directa entre los gastos y los ingresos obtenidos. En un esquema ideal, dicha recuperación debería abarcar la distribución, el desecho y los costos de tratamiento, así como otros gastos, como los provocados

por el hundimiento del suelo a causa de la sobre explotación de los acuíferos, que por lo general no son considerados como gastos del sistema, y de hecho no se toman en cuenta; b) el segundo componente es la capacidad de pago de los usuarios. Este debe ser un elemento fundamental en diseño de una política de derechos sobre uso de agua, en el entendido de que el fin último es la recuperación de los costos sin afán de lucro y; c) el tercero es la consideración de la necesidad de establecer un equilibrio en la distribución de los costos de agua.

Un nuevo esquema de derechos para el uso de agua también tendrían que involucrar consideraciones ambientales en su diseño, las cuales apuntan a la incorporación de un costo por sobreexplotación de los acuíferos –sujeta a las fuentes de información respectiva- o bien promover una cultura que desalentara el consumo y promoviera la conservación del recurso.

Históricamente los precios del agua han sido subsidiado en gran parte de los gobiernos de los países. Sin embargo, desde el punto de vista fiscal y de la corresponsabilidad social, resulta cada vez más difícil con estos esquemas de financiamiento, por lo cual se establecen políticas tarifarias que involucren más al usuario.

En el caso de México, estos subsidios han permitido el acceso a grandes volúmenes de agua a un precio artificialmente bajo. Esta inadecuada estructura de subsidios ha contribuido al uso ineficiente del agua, así como agudizar la escasez. Pero esta situación no es solo propia de México, pues hasta hace poco ofrecer agua a precios bajos era una política común en todo el mundo. Los subsidios para el agua han sido siempre populares cuando los gobiernos han querido promover el desarrollo económico.

2.1 Métodos para la valoración de recursos naturales

2.2 Programación lineal

El método simplex fue desarrollado separadamente por Dantzing, Marshall Wood y sus asociados del departamento de Fuerza Aérea de Estados Unidos y por L. V. Kantorovich en Rusia. Se basa en el hecho de que el óptimo de un problema de programación lineal siempre deberá ocurrir en un punto extremo debido a la linealidad y convexidad de las restricciones; de ahí que basta analizar los puntos extremos para conocer el punto que produce el óptimo.

El método se inicia en un punto extremo factible (en muchos casos el origen es un punto factible) y se mueve a otro punto extremo factible adyacente que incremente la función objetivo. Cuando no es posible moverse en otro punto adyacente mejorando la función objetivo, se alcanzó el óptimo (Bueno,1987).

2.2.1 El modelo de programación lineal

Un problema de programación lineal es un problema de minimizar o maximizar una función lineal en presencia de restricciones lineales de desigualdad e igualdad. Mediante simples manipulaciones, el problema se puede transformar de una forma a otra equivalente.

2.2.2 Variables del modelo

La función objetivo lineal se puede presentar de la siguiente manera:

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

O utilizando la notación de sumatorias

$$Z = \sum_{j=1}^n C_jX_j$$

Donde:

Z= Función objetivo lineal.

C_j = Precio neto o costo unitario, según sea el modelo.

X_j = Actividad o proceso.

El objetivo puede ser la maximización de algunas variables de ingreso que pueden variar desde los ingresos netos o brutos, dependiendo como se estructure el modelo. La programación lineal puede también aplicarse a los problemas de minimización de costos y estos programas parten de un diferente conjunto de criterios para su optimización.

Los coeficientes C_1, C_2, \dots, C_n son los coeficientes de costo (conocidos) o de ingresos, según el tipo de problema que estamos resolviendo. Por otra parte, X_1, X_2, \dots, X_n son las variables de decisión (variables, o niveles de actividad) que deben determinarse de tal manera que se alcance el objetivo de las restricciones que enfrenta el problema.

2.2.3 Restricciones o desigualdades lineales

Las restricciones expresadas mediante desigualdades lineales están compuestas por coeficientes técnicos (A_{ij}), las actividades o procesos (X_n), las cuales también se tomaron en cuenta en la función objetivo y demás niveles o limitaciones (B_i). El conjunto de restricciones se expresa de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + \dots + A_{1n}X_n &\leq B_1 \\A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + \dots + A_{2n}X_n &\geq B_2 \\A_{m1}X_1 + A_{m2}X_2 + \dots + A_{mn}X_n &= B_m \\X_1, X_2, \dots, X_n &\geq 0\end{aligned}$$

2.2.4 Supuestos de programación lineal.

Para representar un problema de optimización como un programa lineal se requieren varias hipótesis que están implícitas en el planteamiento de programación lineal. A continuación se explican brevemente tales hipótesis.

Proporcionalidad. Dada una variable x_j , su contribución al costo total es $c_j x_j$, y su contribución a la i -ésima restricción es $a_{ij} x_j$. Lo anterior significa que si, por ejemplo, se dobla el valor de x_j , entonces se dobla su contribución al costo total y a cada una de las restricciones.

Aditividad. Esta hipótesis garantiza que el costo total es la suma de los costos individuales, y que la contribución total a la i -ésima restricción es la suma de las contribuciones individuales de cada actividad. En otras palabras, entre las actividades de sustitución o iteración.

Divisibilidad. Esta hipótesis asegura que las variables de decisión se pueden dividir en cualquier nivel fraccionario, de modo que se permiten valores no enteros para las variables de decisión.

Determinística. Todos los coeficientes c_j , a_{ij} , y b_i se encuentran de manera determinística. Se supone que cualquier elemento probabilístico o estocástico injiere en la demanda, costos, precios, recursos disponibles, usos, etc., es aproximado por tales coeficientes a través de algún equivalente determinístico.

2.2.5 Precio sombra y productividad marginal

La productividad marginal puede ser la máxima cantidad de dinero que un usuario podría estar dispuesto a pagar por tener disponible una unidad adicional del recurso en el proceso productivo, ya que en general un empresario pagara por dicho recurso (o insumo), hasta una cantidad cuando más igual al beneficio que le produzca una unidad adicional.

La productividad marginal del agua, en determinadas circunstancias, puede representar su costo unitario para los usuarios de un sistema de riego o para la sociedad en general, ya que si se desperdicia una unidad, el beneficio sacrificado sería precisamente su productividad marginal. Sin embargo, a veces esta productividad marginal suele ser nula o negativa, y en este caso, dicha productividad puede no representar el costo del agua para los usuarios de un sistema o para la sociedad.

Algunos métodos para estimar el precio sombra del agua son: a) el principal supuesto es que los productores actuaran racionalmente, desde el punto de vista económico, usando el agua para el riego de los cultivos que tengan una mayor rentabilidad en caso de escasez de recurso, b) se utilizara una metodología diferente, usando datos históricos de producción, bajo diferente disponibilidad de agua.

2.2.6 Dualidad y análisis de sensibilidad

Por cada programación lineal que se resuelve existe uno asociado a otro programa lineal que se resuelve simultáneamente. Este nuevo programa lineal, denominado problema dual, satisface algunas propiedades importantes. Se puede usar para obtener la solución del programa original y sus variables proporcionan información útil acerca de la solución óptima del programa lineal original.

Lo anterior conduce a interpretaciones económicas relacionadas con el programa de programación lineal original. De hecho, las raíces de este problema radica en la caracterización de las condiciones de optimalidad del programa lineal original. Para efectos de referencia en la exposición, el problema de programación se denomina problema primal (de programación lineal) y el programa lineal relacionado se denominara problema dual (de programación lineal).

2.2.6.1 Planteamiento del problema dual

Hay dos formas (definiciones) importantes de dualidad; la forma canónica de dualidad y la forma estándar de la dualidad. Estas formas son completamente equivalentes, y surgen respectivamente de la representación canónica y de la representación estándar de los problemas de programación lineal.

2.2.6.2 Forma canónica de la dualidad.

Suponga que el programa lineal primal está dado de la forma (canónica):

$$\begin{aligned} \text{P: Minimizar} \quad & cx \\ \text{Sujeto a} \quad & Ax \geq b \\ & x \geq 0 \end{aligned}$$

El problema lineal dual se define como

$$\begin{aligned} \text{D: Maximizar} \quad & wb \\ \text{Sujeto a} \quad & Aw \geq c \\ & w \geq 0 \end{aligned}$$

Existe una variable dual por cada restricción primal, y exactamente una restricción dual por cada variable primal.

2.2.6.3 Forma estándar de dualidad

Otra definición equivalente de dualidad puede proporcionarse cuando el programa lineal primal se plantea en la siguiente forma estándar.

$$\begin{aligned} \text{P: Minimizar} \quad & cx \\ \text{Sujeto a} \quad & Ax = b \\ & x \geq 0 \end{aligned}$$

Entonces el programa lineal dual se define como:

$$\begin{aligned} \text{D: Maximizar} \quad & wb \\ \text{Sujeto a} \quad & Aw \leq c \\ & w \text{ Sin restricción} \end{aligned}$$

Relaciones Primal-Dual

2.2.6.4 Interpretación económica del dual.

Considere el siguiente programa lineal y dual.

El problema lineal dual se define como

$$\begin{array}{ll} \text{P: Minimizar} & cx \\ \text{Sujeto a} & Ax \geq b \\ & x \geq 0 \end{array} \qquad \begin{array}{ll} \text{D: Maximizar} & wb \\ \text{Sujeto a} & Aw \geq c \\ & w \geq 0 \end{array}$$

Sea B una base óptima del problema primal cuyo vector de costo asociado es c_B . Suponga que su solución básica factible óptima x^* es no degenerada. Denotando por R al conjunto de índices de las variables no básicas x_j , que se puede incluir tanto variables de holgura como a las variables estructurales (es decir, $R \subseteq \{1, \dots, n + m\}$), se tiene:

$$z = c_B B^{-1} b - \sum_{j \in R} (Z_j - c_j) x_j = w^* b - \sum_{j \in R} (Z_j - c_j) x_j$$

Si el i -ésimo lado derecho b_i es perturbado ligeramente (positiva o negativamente), como la solución básica permanece factible, se mantiene su optimalidad. Por tanto, si z^* es el valor óptimo de la función objetivo y B_i^{-1} es la i -ésima columna de B^{-1} , entonces se tiene

$$\frac{\partial z^*}{\partial b_i} = c_B B^{-1} = w_i^*$$

Por lo tanto, w_i^* es la razón de cambio del valor objetivo óptimo con un incremento unitario en el i -ésimo valor del lado derecho, dado que las variables no básicas actuales se mantienen en cero (sin tomar en cuenta la factibilidad). Puesto que $w_i^* \geq 0$, entonces z^* crece (decrece) o permanece constante cuando b_i crece (decrece).

Económicamente, podría pensarse en w^* como un vector de precios sombra para el vector de lado derecho. Por ejemplo, si la i -ésima restricción representa una demanda de producción de por lo menos b_i unidades del i -ésimo producto y cx representa el costo total de la producción, entonces w^* es el costo incremental de producir una unidad más en el i -ésimo producto. Dicho en otra forma, w^* es el precio justo que pagaría para tener una unidad extra del i -ésimo producto.

2.2.6.5 Problema dual

La siguiente tabla muestra las equivalencias entre las restricciones y variables de una pareja de problemas primal y dual.

Cuadro 2.1 Equivalencias de las restricciones y variables de un problema primal al dual.

Primal (min)	Dual (max)
$A_i^T x \geq b_i$	$u_i \geq 0$
$A_i^T x \leq b_i$	$u_i \leq 0$
$A_i^T x = b_i$	u_i libre
$x_j \geq 0$	$u^T a_j \leq c_j$
$x_j \leq 0$	$u^T a_j \geq c_j$
x_j libre	$u^T a_j = c_j$

Donde A^T denota la i -ésima fila de la matriz A , y que a_j denota la j -ésima columna de la matriz A .

2.2.6.6 Interpretación económica del problema dual

Si bien en contextos matemáticos la optimización se suele plantear mediante problemas de minimización (de costos), en contextos económicos suele ser tradicional afrontar problemas de maximización (de beneficios). Ambas formas son equivalentes, y lo aplicable a una es también aplicable a la otra. Para mostrar la clásica interpretación económica se considera el siguiente ejemplo:

$$\left. \begin{array}{l} \max c^T x \\ Ax \leq b \\ x \geq 0. \end{array} \right\}$$

Cada componente de x es una variable que indica la cantidad de insumo que hay que invertir para fabricar un producto. La correspondiente componente en c representa el beneficio que se obtiene por cada unidad que asuma dicha variable. Los coeficientes de b indican los límites máximos en ciertos recursos disponibles, uno por cada restricción. Resolver este problema lineal equivale a encontrar los valores de x de manera que se obtenga el máximo beneficio en la producción, pero respetando las limitaciones de los recursos.

CAPÍTULO 3 : DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

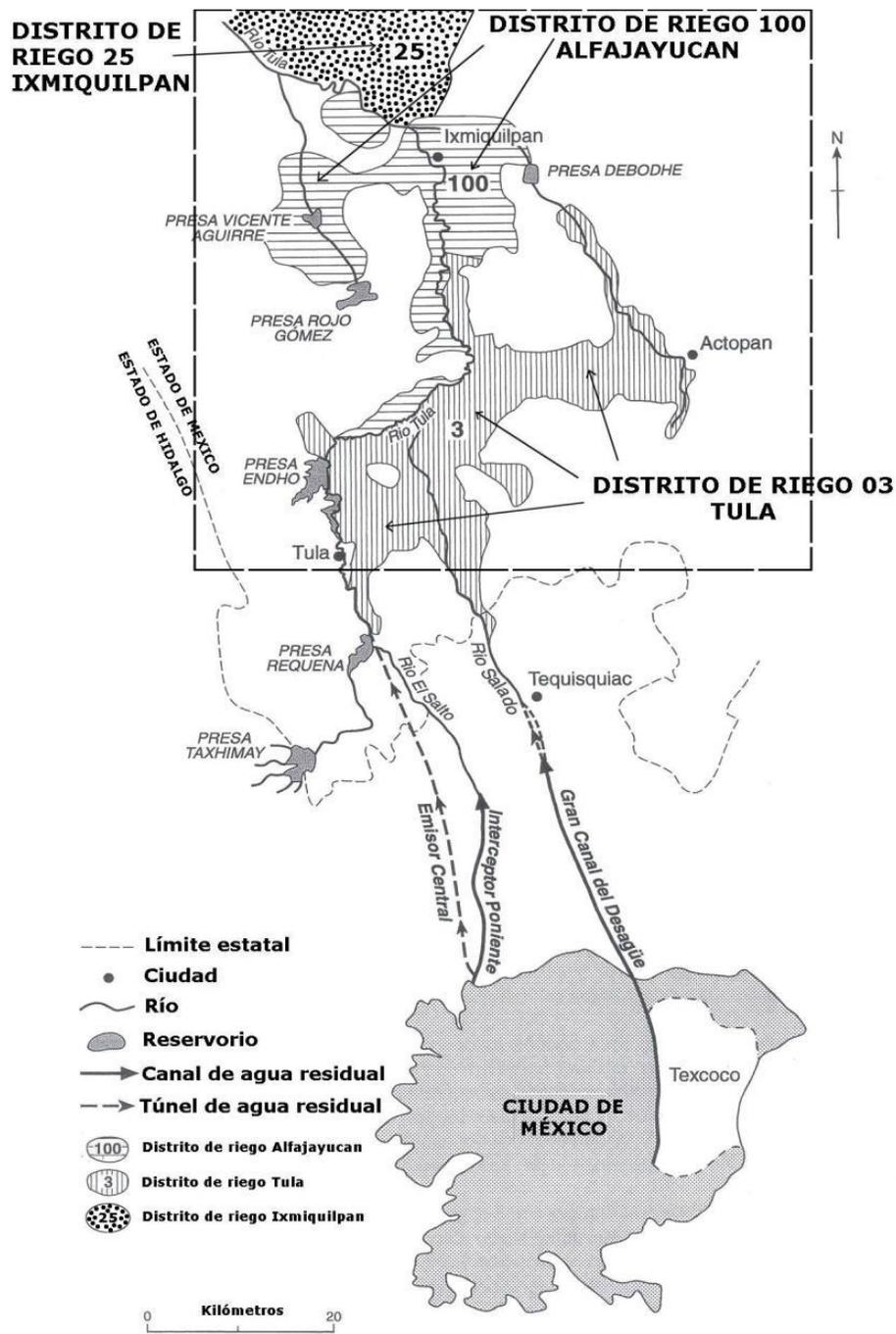
La investigación se realizó con información del Distrito de Riego 100 (DR100), Alfajayucan, Hidalgo. El distrito se creó oficialmente mediante un acuerdo con fecha 17 de enero de 1976, publicado en el Diario oficial de la Federación. La superficie total del distrito es de 39112 ha.

3.1 Localización

El Distrito de Riego 100 Alfajayucan se localiza entre los paralelos 20°18' y 23°33' de latitud Norte, entre los meridianos 99°01' y 99°17' de longitud oeste y a una altitud promedio de 1,950 metros sobre el nivel del mar. (Comisión Nacional del Agua, 2006, 2012, 2014).

El Distrito está conformado por tres Unidades de Riego, Chilcuautila, Alfajayucan e Ixmiquilpan, que abarcan los municipios de Tula, Tezontepec, Mixquiahuala, Tepetitlan, Alfajayucan, Chilcuautila, Ixmiquilpan y Tasquillo del Estado de Hidalgo.

Figura 3.1 Localización del Distrito de riego 100 Alfajayucan, Hidalgo



Fuente: Plan director para la modernización integral de riego del Distrito de Riego 100 Alfajayucan (CONAGUA,2007).

3.1.1 Clima

El clima es templado frio, seco con lluvias durante los meses de abril a octubre, con precipitación media anual de 443 mm. Y una temperatura media anual de 13.9°C.

3.1.2 Vegetación

La vegetación característica del DR 100 es la clásica de las zonas semiáridas, como son los mezquites, matorrales y cactáceas.

3.1.3 Actividades económicas

En lo referente al comercio existen ciudades importantes como Tula, Tepeji, Huichapan, Actopan, Ixmiquilpan y Zimapopan; Tula destaca, ya que cuenta con movimiento ferroviario, además de ser un área de influencia en la que se han establecido fábricas de cal y cemento, una planta termoeléctrica y una refinería de petróleo. En Actopan, Ixmiquilpan, Cardoal, Chilcuautla, Tasquillo y Alfajayucan, predominan las artesanías, principalmente los tejidos de fibras duras.

3.1.4 Geología

En el eje neovolcánico es característica la presencia de cuerpos volcánicos, cráteres, depresiones y mesetas. Existe la presencia de lagunas, presas, así como los pequeños cuerpos de agua que se forman por la poca infiltración del material superficial (predominantemente arcilloso).

El valle del Mezquital es parte del altiplano mexicano entre el eje Neovolcánico Transversal y la Sierra madre Oriental, las rocas del sur y occidente son ígneas extrusivas, al norte y oriente se encuentran sedimentos marinos de caliza y limonita muy plegados, en el centro existe material erosionado de las sierras que lo rodean.

3.1.5 Hidrología

Las obras hidráulicas construidas hasta la fecha en la cuenca han tenido como finalidad principal el riego, la generación de energía eléctrica y control de avenidas.

Cuadro 3.1 Características de las presas de almacenamiento

GRAVEDAD ALMACENAMIENTO:			
Nombre:	PRESA ENDHO	PRESA LIC. JAVIER ROJO GOMEZ	PRESA LIC. VICENTE AGUIRRE
Capacidad A N.A.M.E. (mm3):	188,000.00	51,000.00	21,800.00
Capacidad A N.A.M.O. (mm3):	182,900.00	50,000.00	20,000.00
Capacidad de Conservación (mm3):	0.00	0.00	0.00
Capacidad Muerta (mm3):	44.50	4,500.00	0.40
Volumen Util (mm3):	138.40	46,500.00	20,400.00
Generación de energía (Kw):	0.00	0.00	0.00
Coeficiente de Tanque (mm3):	0.77	0.77	0.77

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100 , Alfajayucan (SAGARPA, 2018)

Cuadro 3.2 Características de las presas de derivación

GRAVEDAD DERIVACIÓN:						
Nombre:	PRESA CHILCUAUTLA	PRESA FELIPE ANGELES	PRESA EL MAYE	PRESA EL TECOLOTE	PRESA PALLARES	CANAL XOTHO
Escurrimiento medio anual (mm3):	758,325.24	648,800.27	608,127.57	682,426.24	189,216.00	111,122.00
Volumen anual derivable (mm3):	221,358.00	220,752.00	126,144.00	189,216.00	94,608.00	220,752.00
Volumen anual aprovechable (mm3):	75,899.09	40,672.70	3,448.82	33,625.96	6,035.44	34,017.80
Capacidad Obra(s) de toma (mm3):	7	7	4	6	3	7

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100 , Alfajayucan (SAGARPA, 2018)

3.1.6 Superficies por módulos de riego.

Para efectuar el presente trabajo se recopiló información en los 7 módulos del Distrito de Riego 100 Alfajayucan del Estado de Hidalgo; y en las oficinas del propio DR. Las instituciones consultadas fueron: CONAGUA, y las Asociaciones Civiles (A.C.) de productores agrícolas en los módulos de riego mencionados en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.3 Estructura y superficie del Distrito de Riego 100

Módulo	Módulo de riego	Superficie (ha)
Sin transferir	Xochitlan	3969.52
Módulo 1	Alfajayucan	13200.68
Módulo2	Tasquillo A.C.	2952.03
Módulo 4	Alto ixmiquilpan A.C.	5426.23
Módulo 5	Canal xotho A.C.	5306.62
Módulo 6	Canal del centro A.C.	4905.87
Módulo 7	Ixmiquilpan A.C.	3352
	Total	39112.95

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego (SAGARPA, CONAGUA 2018)

3.2 Patrón histórico de cultivos y rendimientos

En la cuadro 3.4 se muestra la evolución del patrón de cultivos durante el periodo 2008-2017. De acuerdo al año agrícola 2015-2016, los cultivos para el ciclo Primavera-Verano (PV), son maíz, chile, calabacita y tomate. Para el ciclo Otoño Invierno (OI) avena y coliflor. Los cultivos perenes son la Alfalfa, la cual representa la mayor superficie del distrito de riego.

Cuadro 3.4 Superficies (ha) del patrón histórico de cultivos en el DR100

Ciclo Agrícola	2008-2009	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017
Ciclo: Otoño-Invierno							
Avena Forrajera	993	3,152	1,968	1,614	1,374	1,312	1,428
Cebada Forrajera	87	72	76	47	69	35	61
Cilantro	6	15	11	4	5	4	1
Coliflor	-	374	212	184	992	840	1,329
Haba	-	-	-	-	-	118	95
Trigo Grano	246	174	157	186	155	215	168
Nabo		192	208	85	146	-	-
Otros Cultivos	281	-	-	-	71	63	24
Ciclo: Primavera-Verano							
Calabacita (calabacín)	743	909	1,159	1,415	1,137	331	1,141
Chile	542	1,103	989	1,486	1,141	834	1,413
Frijol (Alubia)	282	208	351	387	285	271	347
Coliflor	-	128	249	191	1,311	1,208	1,868
Maíz grano	7,231	8,414	10,172	9,526	8,932	9,551	9,946
Jitomate (tomate rojo)	37	32	42	30	15	5	14
Tomate de cáscara (Tomatillo)	604	460	749	916	459	412	484

Nabo	-	54	194	50	26	10	12
Zempoalxochitl	-	-	-	-	-	6	7
Otras Flores	-	-	-	-	11	11	-
Otros Cultivos	84	-	12	27	75	62	233
Ciclo: Perennes							
Alfalfa	11,147	12,793	12,049	12,790	12,189	13,468	12,527
Frutales Asociados	297	225	207	313	246	186	184
Otros Pastos	53	208	135	133	74	73	86
Total (Ha)	22,633	28,513	28,940	29,384	28,713	29,015	31,368

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego (SAGARPA, CONAGUA 2018)

En la cuadro 3.5 se muestra la evolución de los rendimientos (ha) para los cultivos para el periodo 2008-2017. El cultivo alfalfa ha sido el más importante en cuanto a la superficie asignada, sembrada y regada, con una superficie máxima de 12793 hectáreas en el año agrícola 2011-2012.

Cuadro 3.5 Rendimientos (ton/ha) de los principales cultivos en el DR100

Ciclo Agrícola	2008- 2009	2012- 2013	2013- 2014	2014- 2015	2015- 2016	2016- 2017
Ciclo: Otoño-Invierno						
Avena Forrajera	18.6	21.1	21.4	19.8	20.3	21.4
Cebada Forrajera	17.2	16.1	19.7	18.0	18.9	19.9
Coliflor	0.0	19.0	17.8	9.3	19.2	18.2
Haba	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	2.9
Trigo Grano	4.1	4.0	3.7	6.7	5.1	6.5
Otros Cultivos	3.6	0.0	0.0	3.1	3.2	3.6
Ciclo: Primavera-Verano						
Calabacita (calabacín)	7.4	13.0	14.3	9.5	9.6	10.1
Chile (Verde)	4.3	6.4	6.5	5.5	3.3	5.2
Frijol (Alubia)	1.9	1.6	1.6	1.8	1.7	2.0
Coliflor	0.0	15.0	19.7	11.4	18.3	18.1
Maíz grano	5.5	6.2	5.9	6.5	7.1	7.1
Jitomate (tomate rojo)	13.0	9.0	9.0	10.0	10.0	8.9
Tomate de cáscara	6.3	6.6	6.4	6.2	6.8	6.9
Otros Cultivos	3.5	3.5	15.0	2.7	3.0	5.6
Ciclo: Perennes						
Alfalfa (Verde)	47.2	79.6	91.8	95.6	101.0	95.4
Frutales Asociados	2.9	4.0	3.4	3.9	3.9	4.0
Otros Pastos (Verde)	58.0	99.2	76.7	117.9	117.6	118.3

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100 , Alfajayucan (SAGARPA, 2018)

3.3 Padrón de usuarios

Para hacer uso del agua de riego del Distrito, los usuarios deben estar reconocidos conforme lo señala el capítulo V del reglamento del DR100 y el capítulo VI del reglamento del módulo.

Cuadro 3.6 Número de usuarios y superficie (ha) por módulo de riego

Módulos de Riego	Número de Usuarios		Total	Superficie Física (Ha)		Total
	Ejido	Pequeña propiedad		Ejido	Pequeña propiedad	
1 ALFAJAYUCAN, HGO	2,257	4,363	6,620	3,809	9,404	13,213
2 TASQUILLO, HGO.	1,355	1,519	2,874	951	2,002	2,952
3 XOCHITLAN, HGO.	1,203	1,504	2,707	1,638	2,333	3,971
4 ALTO IXMIQUILPAN, HGO.	2,344	1,537	3,881	3,229	2,196	5,424
5 XOTHO, HGO.	2,876	714	3,590	4,228	1,169	5,397
6 CANAL DEL CENTRO, HGO.	1,418	1,608	3,026	1,935	2,968	4,903
7 IXMIQUILPAN	447	2,986	3,433	201	3,151	3,352
Total	11,900	14,231	26,131	15,991	23,222	39,214

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100 , Alfajayucan (SAGARPA, CONGUA, 2018)

El 45.54 por ciento de los usuarios son ejidatarios y el 54.46 por ciento pertenecen al régimen de pequeña propiedad.

3.4 Operación del distrito de riego

Los principales objetivos de la Ley de Aguas Nacionales la cual fue presentada a la consideración del Honorable Congreso de la Unión por la Comisión Nacional del Agua para la creación de una nueva ley son, mayor participación de los usuarios en la administración del recurso; consolidación de la programación hidráulica y una sola autoridad federal para administrar ,tanto la calidad, como la cantidad de agua y seguridad jurídica en la tierra y en el uso de agua, lo que permite que las entidades privadas planeen sus actividades a mediano y largo plazo de manera adecuada.

Con estos objetivos, la iniciativa de la Ley de Aguas Nacionales se construyó bajo 10 títulos. Los primeros tres se refieren a disposiciones preliminares. Los dos títulos siguientes tienen la finalidad de definir la concesión y transferencia de derechos

para el uso y para aprovechar las aguas nacionales, tanto como superficiales, como subterráneas, y las consecuencias de establecer zonas donde este uso esté reglamentado, prohibido o reservado. La importancia del cuarto título de esta ley se dedica a los aspectos fundamentales de esta obra: la creación de un mercado de agua en los distritos de riego en México. El título seis reglamenta específicamente los diferentes usos de estas aguas. El título siete se refiere a la prevención y control de la contaminación del agua. La finalidad del título ocho es definir la manera en que los usuarios y la entidades probadas pueden participar en la intervención en la infraestructura y en los servicios hidráulicos; se incluyen también los términos y condiciones para la inversión pública requerida en esta área, y se especifica la manera en que se recuperara. El título nueve se refiere a los bienes relacionados con las aguas nacionales. Por último, el título 10 se refiere a los mecanismos requeridos para garantizar la aplicación y el cumplimiento correcto con las disposiciones de la ley.

3.4.1 Infraestructura Hidráulica

Una de las restricciones básicas para la operación eficiente de un mercado de agua en México se relaciona con los costos de transacción implicados en la transferencia del agua que se intercambia, dado que en la mayoría de los casos, se requiere la construcción de una infraestructura y estudios técnicos costosos.

Si se considera que el derecho al uso se adquiere o renta normalmente para usarse en otro lugar, tiene que construirse una infraestructura para llevar el agua de un punto a otro. Además, será algunas veces necesario construir o modificar la infraestructura de otros usuarios, que usan conjuntamente la infraestructura de otros usuarios o que usan conjuntamente la infraestructura de distribución, a fin de mantener los derechos intactos.

El nuevo reglamento permite la construcción de una infraestructura rural por parte de operadores privados o públicos.

Las disecciones de operatividad (reglamentar el uso de los recursos comunes, llevar agua del canal principal o de las obras de captación del agua subterránea, distribuir el recurso entre los tenedores de derechos, construir, explotar, conservar y mejorar la infraestructura del agua, manejar la infraestructura y fijar tarifas, cobrarlas y castigar a los usuarios en el caso de incumplimiento), se harían mediante acuerdo mutuo entre los usuarios del recurso, con la reducción de costos de transacción y el logro de mayor productividad marginal del recurso.

La administración de la infraestructura y la forma en que se transfiere el recurso deben reconocer elementos que establecen la libre transferencia, siempre y cuando no afecten o modifiquen los puntos de extracción o la descarga desde un lecho natural. En casos en que la transferencia implique estos cambios o modificaciones, debe solicitarse una opinión hidrológica a la CONAGUA que especifique los posibles efectos sobre terceros y la manera de resolverlos. Una vez que el interesado proporcione suficientes garantías para construir las obras que se requieren, a fin de evitar daños a terceros, no debe haber ninguna causa adicional para oponerse a la transferencia.

3.4.2 Concesiones y transferencias de derechos

A fin de darle seguridad al usuario se considera necesario proporcionarle el título de concesión respectivo (además del registro solicitado por CONAGUA) de manera que sus derechos estén correctamente definidos y de que puedan protegerse contra posibles usuarios que administran el agua. Debe registrarse el derecho de cada usuario en el título de concesión individual, correspondiente, el cual debe indicar la proporción corresponde del agua total disponible para el distrito. Lo anterior evita que el derecho de cada usuario este subordinado a lo que ordene la CNA en un momento dado.

En los ciclos agrícolas en los que el agua sea insuficiente para la demanda del distrito de riego a causas de fuerza mayor, la Ley establece que la distribución de agua disponible se efectuara de acuerdo con los términos que se indican en el

reglamento del distrito. Con respecto a este punto, en el caso de que el agua sea insuficiente para satisfacer la demanda total del distrito, el derecho de todos los usuarios debe reducirse de manera igual de acuerdo con la proporción de agua que les corresponde, según el título de concesión de cada individuo. En este caso el problema se resolvería por medio de transacciones libres de derechos entre los usuarios, debido a que aquel que siembra poco en un cultivo de bajo rendimiento, podrá nivelar su ingreso con los beneficios adicionales provenientes del alquiler o venta de su agua. De la misma manera, el hecho de que compre agua adicional se debe a que su actividad genera suficiente ingreso para cubrir los gastos requeridos.

CAPÍTULO 4 : PLANTEAMIENTO DEL MODELO DE PROGRAMACIÓN LINEAL.

La investigación se desarrolla con la información del Distrito de riego 100 Alfajayucan, Hidalgo del año agrícola 2015-2016. Se utilizó la información estadística del Distrito proporcionada por su Jefatura, la cual está incorporada a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

Construcción del modelo de programación lineal

Se generó el modelo de programación lineal a partir de la siguiente información para el ciclo agrícola 2015-2016:

1. Costos e ingresos pasados y recibidos por unidad de cada cultivo.
2. Aportes y requerimientos de insumos y productos por unidad de cada actividad considerada (coeficientes técnicos insumo-producto).
3. Definición de los cultivos o actividades que se explotaron en el Distrito de riego en los últimos 10 años.
4. Cálculo de las necesidades de mano de obra y maquinaria para llevar a cabo la producción de cada uno de los cultivos.
5. Estimación de la ganancia de cada cultivo por hectárea proyectada para el periodo en el que se desarrolló cada actividad.
6. Superficie total (ha) bajo riego, con las que opera el distrito.
7. Superficies sembradas para cada cultivo.
8. Rendimientos (ton/ha) para cada cultivo.
9. Precios medios rurales de cada cultivo.
10. Superficies restringidas para algunos cultivos.
11. Volumen de agua total (millones de m³) con el que opero en el año agrícola.
12. Demanda mensual de volumen de agua (millones de m³) por cultivo.
13. Eficiencias mensuales de conducción.
14. Fuentes de abastecimiento de agua.
15. Capacidad de almacenamiento de la presa.
16. Número de pozos.

Para calcular las necesidades de mano de obra y maquinaria para cada cultivo se realizaron entrevistas a los productores de los diferentes cultivos que se consideraron en el modelo.

Se estimó el precio sombra del agua mediante un problema de programación lineal, en el cual se maximizó una función de beneficio, sujeta a varias restricciones en el uso de los recursos de agua, tierra, mano de obra y maquinaria. Los datos se obtuvieron de bases de datos generados por instituciones: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).

4.1 Actividades seleccionadas.

Se seleccionaron las actividades de acuerdo con su importancia económica y superficie (ha) utilizadas en el año agrícola 2015-2016, estos son avena forrajera, cebada forrajera, coliflor, haba, trigo de grano y otros cultivos para el ciclo Otoño-Invierno (OI); calabacita, chile, frijol, coliflor, maíz, jitomate, tomate cascara y otros cultivos. Para el ciclo Primavera-Verano; alfalfa, frutales asociados y otros pastos, como cultivos perenes.

Una vez recopilada la información se plantearon las actividades del modelo, las cuales se definieron con las efectuadas en el ciclo agrícola 2015-2016, de las bases de datos "Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego" para el distrito de riego 100.

De acuerdo con la disponibilidad de agua, suelo y las actividades agrícolas se establecieron los patrones de cultivos: Primavera- Verano, Otoño-Invierno y Perenes.

Cuadro 4.1 Actividades del modelo de programación lineal.

Ciclo	Actividades
Otoño-Invierno	x_1 Siembra y cosecha avena forrajera
	x_2 Siembra y cosecha cebada forrajera
	x_3 Siembra y cosecha coliflor
	x_4 Siembra y cosecha haba
	x_5 Siembra y cosecha trigo grano
	x_6 Siembra y cosecha otros cultivos
Primavera-Verano	x_7 Siembra y cosecha calabacita (calabacín)
	x_8 Siembra y cosecha chile
	x_9 Siembra y cosecha frijol (alubia)
	x_{10} Siembra y cosecha coliflor
	x_{11} Siembra y cosecha maíz grano
	x_{12} Siembra y cosecha jitomate (tomate rojo)
	x_{13} Siembra y cosecha tomate de cáscara (tomatillo)
	x_{14} Siembra y cosecha otros cultivos
Perennes	x_{15} Cultivo y cosecha alfalfa
	x_{16} Cultivo y cosecha frutales asociados
	x_{17} Cultivo y cosecha otros pastos

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100, Alafajayucan (SAGARPA, 2018)

4.2 Cuantificación de los precios netos

El objetivo del modelo fue la maximización de la suma de los beneficios netos debido a la producción de los cultivos.

Esquemáticamente el modelo se representó de la siguiente forma:

$$BN = \sum_{i=1}^n (IB_i - C_i)X_i$$

Donde:

BN: beneficio neto expresado en pesos.

IB_i = ingreso bruto por ha del cultivo i , esto es, el rendimiento por ha del cultivo i por el precio unitario del producto cosechado, en pesos/ ha.

C_i = costo de producción por unidad de superficie del cultivo i , en pesos /ha.

X_i = área cosechada del cultivo i , en ha.

Por tanto :

$IB_i - C_i$ =utilidad neta, por ha del cultivo i .

La ecuación es la función objetivo. Para el cálculo de los coeficientes ($IB_i - C_i$) se utilizó información proporcionada por el Distrito de riego 100 sobre costos de producción para cada cultivo en el ciclo agrícola 2015-2016. En el Cuadro 4.2 se muestran los valores medios, así como los precios medios rurales y beneficio neto esperados por cultivo.

Cuadro 4.2 Precios netos de las actividades de cultivo del modelo

Cultivo	Costos de producción (\$)	Rendimiento (ton/ha)	Precio Medio Rural (\$/ton)	Ingreso Bruto (\$/ha)	Beneficio Neto (\$/ha)
Ciclo: Otoño-Invierno					
Avena Forrajera (Verde)	3,357.10	20.19	243.99	4,925.10	1,568.00
Cebada Forrajera (Verde)	2,635.00	18.45	245.00	4,520.45	1,885.45
Coliflor	14,800.00	19.53	12,263.57	239,449.77	224,649.77
Haba	5,500.00	3.39	8,069.99	27,356.30	21,856.30
Trigo Grano	6,300.00	5.08	3,700.87	18,796.15	12,496.15
Otros Cultivos	4,625.00	3.30	6,706.28	22,148.83	17,523.83
Ciclo: Primavera-Verano					
Calabacita (calabacín)	10,651.00	10.41	3,493.94	36,361.51	25,710.51
Chile (Verde)	13,643.70	2.84	31,260.89	88,752.66	75,108.96
Frijol (Alubia)	7,500.00	1.70	13,481.00	22,983.10	15,483.10
Coliflor	14,200.00	19.52	10,879.28	212,389.59	198,189.59
Maíz grano	6,300.00	7.31	3,556.38	25,998.24	19,698.24
Jitomate (tomate rojo)	15,000.00	10.00	3,500.00	35,000.00	20,000.00
Tomate de cáscara (Tomatillo)	8,628.60	6.82	4,930.58	33,642.73	25,014.13
Otros Cultivos	4,380.00	2.73	3,986.39	10,870.58	6,490.58
Ciclo: Perennes					
Alfalfa (Verde)	10,985.00	100.79	257.61	25,964.42	14,979.42
Frutales Asociados	8,260.00	3.96	33,754.56	133,690.83	125,430.83
Otros Pastos (Verde)	5,600.00	118.23	371.04	43,868.97	38,268.97

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100, Alfajayucan (SAGARPA, CONGUA, 2018)

4.3 Restricciones

El modelo de programación lineal para el año agrícola 2015-2016 está conformado por 66 restricciones, las cuales corresponden a la disponibilidad de recursos, los cuales están agrupados de la siguiente manera:

- 12 restricciones de superficie (ha) de tierra disponibles mensualmente para los cultivos, durante el año agrícola.

- 12 restricciones de requerimiento unitario de riego mensual para los cultivos durante el año agrícola.
- 1 restricción que representa la suma del volumen de agua requerido anualmente, la cual no debe rebasar el volumen disponible en el año agrícola.
- 12 restricciones de mano de obra disponible de manera mensual durante el año agrícola.
- 12 restricciones de maquinaria que requerida por los cultivos de manera mensual en el año agrícola.
- 17 restricciones de tope y de piso, las cuales representan la superficie (ha) máxima y mínima sembrada por cultivo en el ciclo agrícola.

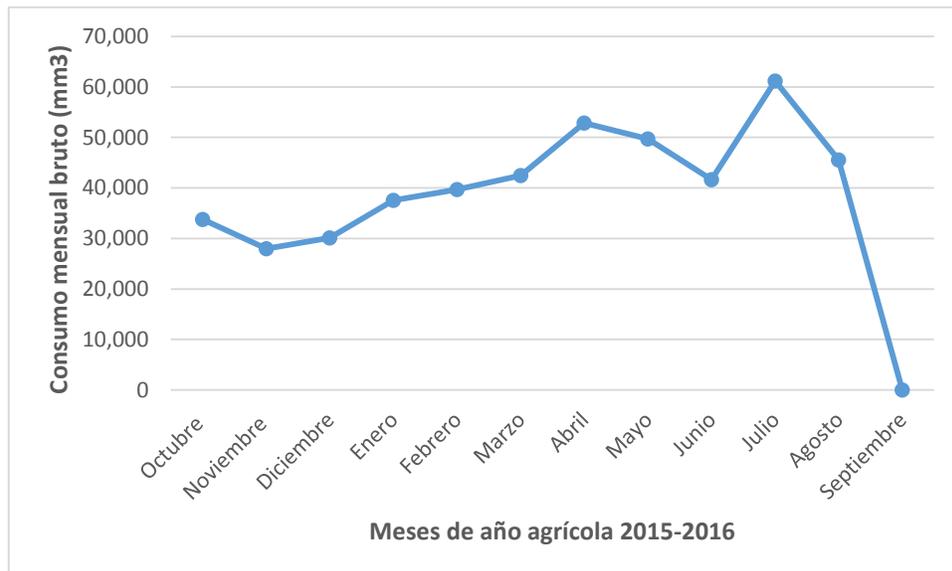
4.3.1 Tierra

La superficie sembrada en ciclo agrícola 2015-2016 fue estimada en 29016 hectareas. Las restricciones de tierra se formularon en relacion con la matriz de rotacion de cultivos, es decir, la implementacion de actividades se ajustaron al plan mensual de rotacion de variables.

4.3.2 Agua

La disponibilidad de agua es el volumen bruto extraido (mm³) y consumido por mes en el año agrícola 2015-2016, de acuerdo con las estadísticas del distrito de Riego 100.

Gráfica 4.1 Consumo total de agua por mes durante el año agrícola 2015-2016 (Volumen en mm³)



Fuente: Elaborado con base al anexo II, cuadro II-1

4.3.3 Mano de obra

Para conocer la disponibilidad de mano de obra, el cálculo se realizó de la siguiente manera: el número de usuarios del distrito de riego 100, se multiplicó por 24, que representa el número de jornales que aporta cada uno en un mes, suponiendo que trabaja 6 días a la semana y se multiplicó por 8 horas, que representa las horas laboradas en un día.

De acuerdo con CONAGUA (2015), el padrón de usuarios del distrito de riego está conformado por 25 186 usuarios; de acuerdo con el procedimiento anterior, la disponibilidad mensual de mano de obra es de 4,835,714 horas/mes.

4.3.4 Maquinaria

De acuerdo con la disponibilidad de maquinaria agrícola se deriva del inventario de la región, el Distrito de Riego 100, Alfajayucan cuenta con 7253 tractores. Se plantea que estas unidades están disponibles durante todo el año y pueden trabajar en promedio 8 horas diarias, durante 24 días al mes. De acuerdo con el supuesto

anterior la disponibilidad de maquinaria (horas/mes) se obtiene multiplicando el número de tractores 7253, por 8 (número de horas que trabaja en un día) y por 24 (número de días que trabaja en un mes), dando como resultado 1,392,576 horas/mes de maquinaria agrícola disponibles.

4.3.5 Restricciones a la producción de cultivos

Con el propósito de encontrar un equilibrio en la producción de cultivos y evitar sesgos en los resultados arrojados por el modelo, con tendencias a sembrar sólo los cultivos más rentables, se establecieron límites a las superficies máximas y mínimas de los cultivos más rentables, considerando los valores máximos registrados en la última década para cada una de las unidades de riego del distrito. Para el caso de los cultivos perennes se definirán como superficie mínima a sembrar la registrada en el año agrícola 2015-2016, eso permitió asegurar los cultivos vigentes.

En ocasiones, los planeadores de los distritos determinan el área mínima que debe ocupar determinados cultivos, en función del nivel de insumos requeridos por la industria o ganadería local. Sin embargo, en otras ocasiones estas restricciones se determinan de acuerdo con la tendencia histórica que tiene el cultivo (Chavez, 1987).

Palacios (1974), menciona que el precio de mercado de los insumos y productos del ciclo anterior es uno de los principales indicadores que los productores toman en consideración para elegir el cultivo a sembrar. Así, los productores asumen que obtendrán un rendimiento y un precio del producto similar al del ciclo anterior. Este criterio es utilizado en la construcción del modelo de programación lineal.

Cuadro 4.3 Superficie (ha) máximas y mínimas a sembrar el siguiente ciclo agrícola

	Mínimo	Máximo
Otoño-Invierno		
Avena Forrajera	1,312	-
Cebada Forrajera	35	-
Coliflor OI	-	840
Haba	118	-
Trigo Grano	215	-
Primavera-Verano		
Calabacita (calabacín)	-	331
Chile	-	834
Frijol (Alubia)	-	271
Coliflor PV	-	1,208
Maíz grano	-	9,551
Jitomate (tomate rojo)	-	5
Tomate de cáscara (Tomatillo)	-	412
Perenes		
Alfalfa	13,468	-
Frutales Asociados	-	186
Otros Pastos	-	74

Fuente: elaborado con datos del distrito de riego 100, Alfajayucan (CONAGUA, 2018)

4.4 Coeficientes del modelo

Cada coeficiente a_j representa los requerimientos de insumos del sector i necesarios para producir una unidad del producto j . Se sabe que existe proporcionalidad directa entre la producción bruta del sector j y el volumen total de los insumos que este sector adquiere de los demás sectores proveedores. Es decir, los insumos que venden los sectores proveedores varían en la misma proporción en que se modifica la producción bruta del sector que los adquiere. Entonces, bajo este supuesto, se admite que los coeficientes técnicos a_j son constantes. Se obtuvieron los coeficientes técnicos en cuanto a requerimientos de tierra, agua, mano de obra y maquinaria en cada una de las actividades de manera mensual.

4.4.1 Tierra

Los coeficientes técnicos de cada variable tienen el valor de 1, dado que se pretende averiguar cual es la cantidad de tierra en hectareas que se debe cultivar de cada actividad en cada mes (Cuadro 4.4).

Cuadro 4.4 Plan de rotación de cultivos, ciclo agrícola 2015-2016

MES	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇
Octubre	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Noviembre	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Diciembre	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Enero	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Febrero	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
Marzo	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
Abril	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mayo	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Junio	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Julio	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
Septiembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100 , Alfajayucan (SAGARPA, CONGUA, 2018)

4.4.2 Agua

Utilizando los datos de volúmenes mensuales, superficies anuales y eficiencias de conducción mensuales en el Distrito de Riego 100 Alfajayucan, se hizo el cálculo de los coeficientes mensuales de requerimiento de riego para el ciclo agrícola 2015-2016 (Cuadro 4.5).

Los requerimientos mensuales de riego por cultivos para cada unidad de riego se determinaron con base en los volúmenes servidos para regar los cultivos, de acuerdo a la expresión (Palacios y Excebio, 1989):

$$a_{ij} = \frac{\overline{V_{ij}} / \overline{ST_i}}{\overline{EC_j}}$$

Donde

a_{ij} : Coeficiente de requerimiento de riego del cultivo i en el mes j (lamina de riego)

\bar{V}_{ij} : Volumen mensual que en promedio se ha servido al cultivo i en el mes j (millares de m^3).

\bar{ST}_i : Superficie total que en promedio se ha regado del cultivo i por ciclo agrícola (ha).

\bar{EC}_j : Eficiencia promedio de conducción del distrito en el mes j .

Cuadro 4.5 Coeficientes de requerimiento de riego (Lamina de riego). Ciclo agrícola 2015-2016

MES	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	Volumen anual disponible	
Octubre	1.9	1.6	3.6	3.9	1.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	1.4	1.8	≤	500,000
Noviembre	1.9	1.8	2.9	1.5	1.6	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	2.5	1.8	≤	500,000
Diciembre	1.7	1.4	1.7	1.1	1.5	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.8	1.7	≤	500,000
Enero	1.8	1.3	2.4	1.3	1.2	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	2.6	1.6	≤	500,000
Febrero	1.8	1.4	2.0	1.4	1.1	1.7	2.7	4.8	1.8	4.0	2.8	0.0	1.7	1.9	2.0	3.8	1.3	≤	500,000
Marzo	1.5	1.8	1.8	1.0	1.2	1.9	1.3	2.1	1.0	1.7	1.4	2.0	1.8	1.6	1.6	1.9	1.5	≤	500,000
Abril	1.8	1.0	1.8	0.0	1.7	1.4	1.6	2.1	1.8	2.1	1.9	1.3	1.4	1.6	1.9	1.9	1.9	≤	500,000
Mayo	5.5	0.0	5.5	0.0	1.0	1.7	1.9	2.4	1.8	2.1	2.2	1.8	2.2	1.9	2.2	4.1	2.1	≤	500,000
Junio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	1.8	2.3	1.8	1.8	2.0	1.8	1.5	1.8	2.0	3.4	2.1	≤	500,000
Julio	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	2.3	1.8	1.4	1.9	1.5	1.7	1.5	2.1	2.6	1.8	≤	500,000
Agosto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	1.9	1.4	1.4	1.5	2.0	1.4	1.4	1.6	1.8	1.4	≤	500,000
Septiembre	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	≤	500,000

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100 , Alfajayucan (SAGARPA, CONGUA, 2018)

4.4.3 Mano de obra

Los coeficientes de restricciones de mano de obra son la horas que requiere cada labor de cultivo. Se realizaron encuestas a productores del Distrito de Riego 100, Alfajayucan, para determinar el numero de jornales necesarios para cada labor cultural por hectarea en cada uno de los cultivos que integran el modelo, esto permitio determinar el numero de jornales (horas/mes) requeridas para cada cultivo (Cuadro 4.6).

Cuadro 4.6 Restricciones de mano de obra horas hombre/mes). Ciclo agrícola 2015-2016

MES	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	Horas hombre disponibles	
Octubre	81	81	378	205	205	205	0	0	0	0	0	0	0	0	68	68	68	≤	4317888
Noviembre	140	22	192	68	68	68	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	≤	4317888
Diciembre	130	118	90	77	77	77	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12	12	≤	4317888
Enero	22	6	64	46	46	46	0	0	0	0	0	0	0	0	142	142	142	≤	4317888
Febrero	0	118	0	40	40	40	32	0	17	15	0	0	0	0	70	70	70	≤	4317888
Marzo	0	6	0	0	0	0	162	17	190	378	38	32	32	32	76	76	76	≤	4317888
Abril	0	6	0	0	0	0	102	140	83	192	39	148	160	148	116	116	116	≤	4317888
Mayo	0	16	0	0	0	0	232	220	77	90	78	132	144	132	76	76	76	≤	4317888
Junio	0	0	0	0	0	0	0	132	46	64	54	66	78	66	12	12	12	≤	4317888
Julio	0	0	0	0	0	0	0	132	40	0	4	184	208	184	12	12	12	≤	4317888
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	124	0	0	84	0	0	0	12	12	12	≤	4317888
Septiembre	0	0	15	17	17	17	0	0	0	0	0	0	0	0	29	29	29	≤	4317888

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100 , Alfajayucan (SAGARPA, CONGUA, 2018)

4.4.4 Maquinaria

Para este coeficiente se realizaron encuestas a los productores para determinar el número de horas-mensual que utilizaban la maquinaria (tractores) en cada una de las labores culturales, en la producción de cada cultivo (Cuadro 4.7).

Cuadro 4.7 Restricciones de maquinaria (horas maquina/mes). Ciclo agrícola 2015-2016

MES	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	X ₁₁	X ₁₂	X ₁₃	X ₁₄	X ₁₅	X ₁₆	X ₁₇	Horas maquina disponibles	
Octubre	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Noviembre	0	0	15	0	15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Enero	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Febrero	0	0	0	0	0	0	18	0	15	15	0	18	0	15	0	0	0	≤	1392576
Marzo	0	15	0	0	0	0	0	15	0	0	14	0	18	0	0	0	0	≤	1392576
Abril	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Junio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Julio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Agosto	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1392576
Septiembre	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	15	15	15	≤	1392576

Fuente: Elaborado con información de la Jefatura del Distrito de Riego 100 , Alfajayucan (SAGARPA, CONGUA, 2018)

4.5 Establecimiento del modelo base.

Con la información plantada anteriormente, el modelo de programación lineal representó a un sistema de producción del Distrito de Riego el cual está compuesto por una función lineal de las variables denominada función objetivo, la cual está sujeta a un conjunto de desigualdades

Una vez planteada la función objetivo, sujeta a las restricciones relacionadas con la disponibilidad de agua, tierra, mano de obra, maquinaria, y restricciones que limitan la producción de cada cultivo, el objetivo será maximizar el ingreso neto de los productores de la región y determinar el costo de oportunidad del agua.

La función objetivo está compuesta por i (1,2 ...,I) actividades para el ciclo O-I, j (1,2, ...,J) para el ciclo P-V y k (1,2, ..., L) para los cultivos perennes. La función lineal maximiza el ingreso neto total (INT) del Distrito de Riego 100, Alfajayucan. Aritmeticamente la función objetivo se expresa de la siguiente manera.

$$Max INT = \sum_{i=1}^I c_i x_i + \sum_{j=1}^J c_j x_j + \sum_{k=1}^K c_k x_k \quad (1)$$

O-I P-V PER

Donde

c_i, c_j, c_k = Ingreso neto de los cultivos i, j, k .

x_i, x_j, x_k = Cantidad de superficie (ha) para cada cultivo.

La función objetivo está sujeta a las siguientes restricciones:

$$\sum_{i=1}^I a_i x_i + \sum_{j=1}^J a_j x_j + \sum_{k=1}^k a_k x_k \leq S_t \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I b_i x_i + \sum_{j=1}^J b_j x_j + \sum_{k=1}^k b_k x_k \leq V_t \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I d_i x_i + \sum_{j=1}^J d_j x_j + \sum_{k=1}^k d_k x_k \leq MO_t \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I e_i x_i + \sum_{j=1}^J e_j x_j + \sum_{k=1}^k e_k x_k \leq MQ_t \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I a_i x_i \leq S_{O-I} \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^J a_j x_j \leq S_{P-V} \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^k a_k x_k \leq S_{PER} \quad (8)$$

Donde:

a_i, b_i, d_i, e_i = Coeficientes de superficie, requerimiento de riego, coeficientes de mano de obra y maquinaria para el ciclo OI.

a_j, b_j, d_j, e_j = Coeficientes de superficie, requerimiento de riego, coeficientes de mano de obra y maquinaria para el ciclo PV.

a_k, b_k, d_k, e_k = Coeficientes de superficie, requerimiento de riego, coeficientes de mano de obra y maquinaria para el ciclo perenes.

S_t, V_t, MO_t, MQ_t = Disponibilidad total mensual del recurso superficie, volumen de agua, mano de obra y maquinaria.

$S_{O-I}, S_{P-V}, S_{PER}$ = Superficie máxima y mínima permitida por sembrar en los ciclos OI, PV, perenes.

4.6 Escenarios construidos

Con base en la información recabada se establece el análisis del ciclo agrícola 2015-2016 del Distrito de Riego 100, Alfajayucan. Partiendo de esta información se construye el Modelo Base (MPL Base), el cual está constituido por 17 actividades

en la función objetivo y 66 componentes restrictivos (12 de superficie, 13 de volumen de agua, 12 de mano de obra, 12 de maquinaria y 17 de máximo y mínimo en cultivos), utiliza los precios y costos de producción que corresponden al ciclo 2015-2016. A partir de este modelo, se derivan 7 escenarios.

MPL 01 Supone una reducción del 25% de la disponibilidad de volumen de agua.

MPL 02 Supone una reducción del 50% de la disponibilidad de volumen de agua.

MPL 03 Representa una reducción del 75% de la disponibilidad de volumen de agua.

MPL 04 Constituye una disponibilidad uniforme de agua todos los meses del año (41666.6 Mm³).

MPL 05 Simboliza una disminución del 20% en la superficie y 20% en la disponibilidad de Agua, simulando un crecimiento poblacional y una disminución de la superficie agrícola.

MPL 06 Modelo sin restricciones de máximo y mínimo para la superficie de los cultivos perenes.

MPL 07 Se eliminan las restricciones de máximos y mínimos por cultivo, permitiendo que el modelo asigne la superficie con base en el ingreso neto.

CAPÍTULO 5 : ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

A partir de la metodología utilizada, los resultados hacen referencia al análisis del modelo de optimización, modelo de simulación y productividad del agua.

5.1 Modelo base vs situación actual

El modelo de programación lineal hace referencia al ciclo agrícola 2015-2016, el cual consiste en determinar el patrón óptimo de cultivos que se deberían sembrar en el Distrito de Riego 100, Alafajayucan, haciendo que se obtenga el mayor ingreso posible con base en la disponibilidad de recursos (tierra, agua, mano de obra y maquinaria).

Utilizando los precios del año agrícola 2015-2016 el modelo de programación lineal estimó el patrón óptimo de cultivos, en el cual los productores obtienen un ingreso máximo de \$1,213 millones. Teniendo en cuenta el patrón de cultivos del año agrícola los productores obtuvieron en 2016, un ingreso total de \$939.741 millones; es así que los productores dejaron de percibir \$273.441 millones (22% menos de su ingreso) al no implementar de manera óptima los cultivos. Los resultados anteriores concuerdan con los reportados por Ortega et. al. (2009) para el Distrito de Riego 005, Delicias, Chihuahua, en donde con una asignación óptima de los recursos en los cultivos se obtiene un ingreso de la optimización de los cultivos de \$16.10 millones.

5.1.1 Patrón óptimo de cultivos

Cuadro 5.1 Comparación del patrón actual de cultivos, ciclo agrícola 2015-2016 con el patrón óptimo de cultivos del modelo base MPL00.

Cultivo	año agrícola 2015-2016 (ha)	%	Patrón optimo (ha)	%
Ciclo: Otoño-Invierno				
Avena Forrajera	1312	4.53	993	3.57
Cebada Forrajera	35	0.12	35	0.13
Coliflor	840	2.90	1329	4.77
Haba	118	0.41	118	0.42
Trigo Grano	215	0.74	155	0.56
Otros Cultivos	63	0.22	0	0.00
Ciclo: Primavera-Verano				
Calabacita (calabacín)	331	1.14	1415	5.08
Chile	834	2.88	1486	5.34
Frijol (Alubia)	271	0.93	208	0.75
Coliflor	1208	4.17	1868	6.71
Maíz grano	9551	32.95	7750	27.83
Jitomate (tomate rojo)	5	0.02	42	0.15
Tomate de cáscara (Tomatillo)	412	1.42	916	3.29
Otros Cultivos	62	0.21	0	0.00
Cultivos Perennes				
Alfalfa	13468	46.46	11147	40.03
Frutales Asociados	186	0.64	313	1.12
Otros Pastos	74	0.26	74	0.27
Total	28985	100	27849	100

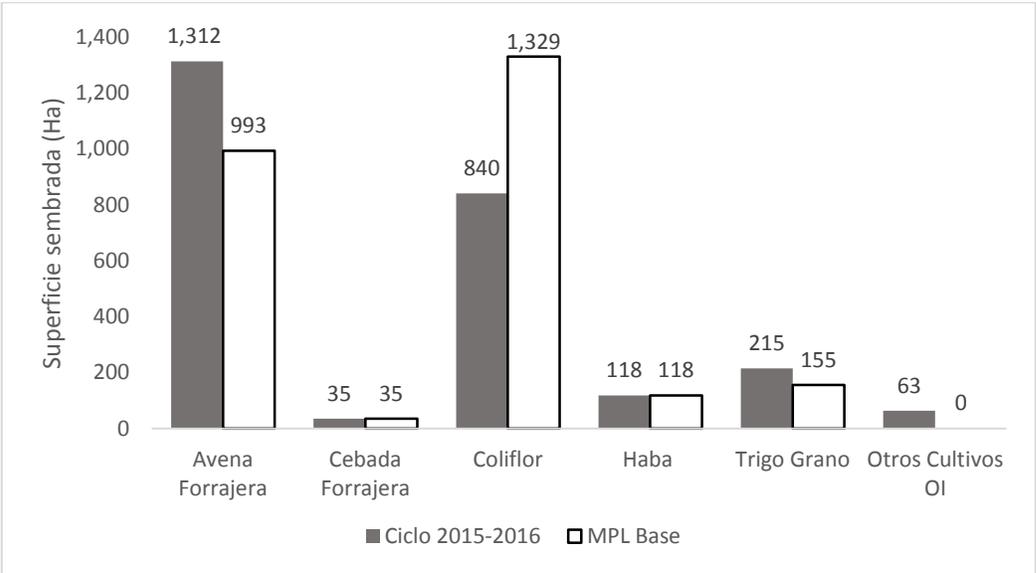
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo base (SAGARPA, 2018)

En el año agrícola 2015-2016 en el ciclo Otoño-Invierno se sembraron 1312 ha de avena forrajera, 35 ha de cebada, 840 ha de coliflor, 118 ha de haba, 215 ha de trigo. En contraste, el modelo de programación lineal se deben sembrar 993 ha de avena, 35 ha de cebada, incrementar a 1329 ha la coliflor, 118 ha de haba, disminuir a 155 ha el trigo (Grafica 5.1). Los resultados concuerdan con los determinados por Godínez et al (2007), para la Comarca Lagunera, donde la avena en la optimización de los cultivos disminuye la cantidad sembrada, debido a su alta demanda de agua.

En el año agrícola 2015-2016 vs patrón óptimo de cultivos, para el ciclo primavera verano. Se incrementan 1084 ha la calabacita, 652 ha el chile, 660 ha la coliflor, 37 ha el jitomate, 506 ha el tomate. Los cultivos que disminuyen la superficie sembrada son el frijol con 63 ha y el maíz con 1800 ha (Grafica 5.2). Los cultivos de los que se obtiene mayor ingreso neto en el ciclo PV son la coliflor que aporta 53%, el maíz aporta 21.08% y el chile 16%.

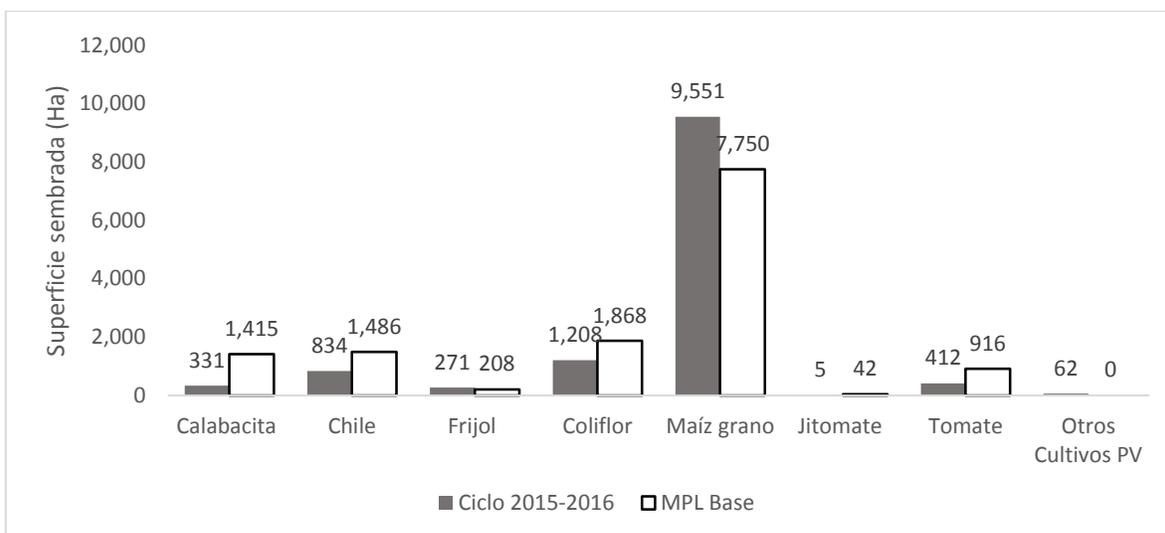
Los cultivos perenes en comparación del año agrícola 2015-2016 vs el modelo base (MPL 00) disminuye la superficie sembrada de alfalfa en 2320 ha y se incrementan 127 ha los frutales asociados (Grafica 5.3). Los resultados coinciden con los obtenidos por Godínez et. al. (2007), en donde disminuye la siembra de alfalfa, como consecuencia de su baja rentabilidad y su alta demanda de agua.

Gráfica 5.1 Patrón de cultivos optimo vs año agrícola 2015-2016. Ciclo otoño-invierno.



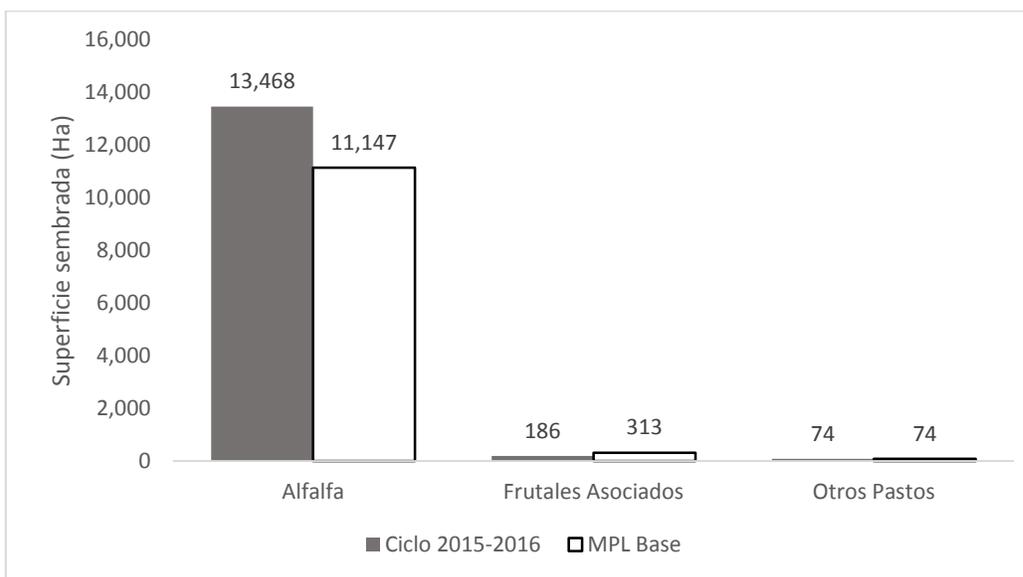
Fuente: Elaborado con base al Anexo 1, CuadroI-1 (2018)

Gráfica 5.2 Patrón de cultivos optimo vs año agrícola 2015-2016. Ciclo Primavera Verano.



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, CuadroI-1 (2018)

Gráfica 5.3 Patrón de cultivos óptimos vs año agrícola 2015-2016. Cultivos perenes.



Fuente: Elaborado con base al Anexo I, CuadroI-1 (2018)

5.1.2 Uso de los recursos en el modelo de programación lineal base. (MPL base).

Las restricciones de recursos a las cuales se encuentra sujeta la función objetivo son superficie, agua, mano de obra y maquinaria. Los resultados que se obtienen del modelo de programación lineal base indican para superficie lo siguiente: los

meses con menos cantidad de hectáreas sembradas son septiembre y febrero con 11534 y 11842 ha, respectivamente. El mes con mayor superficie sembrada es septiembre con 25,409 ha.

En cuanto a volumen de agua mensual utilizado por los cultivos en el mes de septiembre, no se presentan riegos, debido a la época de lluvias; la mayor demanda de agua se da en los meses abril y mayo, con 51,754 y 68,441 millones de m³ respectivamente.

La mano de obra es un recurso abundante el cual no se agota; el mes con menor demanda es septiembre con 1870 jornales, esto se debe a que en ese mes se tiene la menor superficie sembrada. El mes que demanda mayor cantidad de jornales es abril con 13,132 jornales, esto debido a que se inició del ciclo Primavera Verano, en el cual se deben realizar las labores de cultivo iniciales.

En Maquinaria, los meses de mayo, junio, julio y diciembre son los meses donde no se utiliza maquinaria, debido a que en estos meses no hay labores culturales previas a la siembra. El mes donde se utiliza mayor cantidad de tractores es marzo, esto se debe a que se realizan las labores culturales para el inicio del ciclo Primavera Verano.

5.2 Escenarios contruidos a partir del MPL00.

Una vez establecido el modelo de programación lineal base MPL00 se establecieron escenarios en los cuales la función objetivo utiliza los precios correspondientes a 2015, se obtienen los siguientes resultados:

En el escenario MPL01, en el cual se simula una reducción del 25% de las disponibilidad de volumen de agua anual, el ingreso neto disminuye en 16% (Cuadro 5.3), la superficie sembrada disminuye en 33%, la disponibilidad de agua es un recurso que se agota, la cual presenta un precio sombra de 2.15 \$/m³ (Cuadro 5.4). En cuanto a mano de obra y maquinaria, son recursos abundantes (Grafica 5.7 y

5.8). Los cultivos seleccionados en comparación con el modelo base, se deja de producir maíz debido a la alta demanda de agua y a la baja rentabilidad del cultivo (Cuadro5.2).

En el escenario MPL02, en el cual se supone una reducción del volumen disponible de agua en 50%, en comparación con el modelo base MPL00, el ingreso disminuye en 16% (Cuadro 5.3), la superficie sembrada se reduce en 43% , la disponibilidad de agua se manifiesta como un recurso escaso, teniendo un precio sombra de 2.11 $\$/m^3$ (Cuadro 5.4), la demanda de mano de obra se incrementa en 8% y el uso de maquinaria disminuye en 43% (Grafica 5.7 y 5.8). Debido a la alta demanda de agua, la alfalfa no es un cultivo seleccionado por el modelo ante este escenario (Cuadro 5.2).

En el escenario MPL03, el cual representa una disminución en el volumen de agua en 75%, de acuerdo al MBPL00, el ingreso disminuye en 34% (Cuadro 5.3), solo se permite sembrar 6652 de las 27849 ha sembradas en el MPL00. Se agota el volumen de agua, el precio sombra del agua es 4.20 $\$/m^3$ (Cuadro 5.4), la mano de obra y la maquinaria se presentan como recursos disponibles (Grafica 5.7 y 5.8). Debido a la poca disponibilidad de agua el modelo no selecciona a los cultivos con alta demanda de agua (maíz y alfalfa) (Cuadro5.2). Los resultados anteriores coinciden con los obtenidos por Ortega et. al. (2009) para el Distrito de Riego 005, Delicias, en donde ante una disminución del volumen disponible de agua para riego se disminuye la superficie sembrada, dando prioridad a los cultivos más rentables.

En el escenario MPL04, el cual plantea una disponibilidad uniforme de agua todos los meses del año (41666.6 Mm^3) en comparación con MPL00, el ingreso disminuye 36% (Cuadro 5.3), la superficie sembrada son 16723 ha (Grafica 5.5). La disponibilidad de agua se establece como un recurso escaso, el mes de mayo es donde se presenta la mayor demanda de agua. Debido a que se presenta una alta demanda de agua, el precio sombra es de 40.85 $\$/m^3$ (Cuadro 5.4). La mano de obra y maquinaria son recursos disponibles (Grafica 5.7 y 5.8). Dado que la

disponibilidad de agua es uniforme de manera mensual, hay meses en los que la demanda de agua es mayor que en otros, dando como resultado un decremento de 673 ha para el cultivo coliflor OI; el maíz no es un cultivo seleccionado por el modelo, debido a su alta demanda de agua y la baja rentabilidad (Cuadro5.2).

En el escenario MPL05, se efectúa una disminución del 20% en la superficie y 20% en la disponibilidad de agua, simulando un crecimiento poblacional y una reducción de la superficie agrícola, y comparándolo con el MPL00. El ingreso disminuye en 50% (Cuadro 5.3), la superficie sembrada se reduce a 23689 ha, el volumen de agua es un recurso que se agota, arrojando un precio sombra de 13.72 \$/m³ (Cuadro 5.4). La mano de obra y maquinaria son recursos abundantes (Grafica 5.7 y 5.8). Disminuye de 1329 a 184 la producción de Coliflor en el ciclo OI, la producción de chile reduce la superficie sembrada de 1486 a 542 ha y la calabaza disminuye su área sembrada de 1415 a 331 ha (Cuadro5.2).

En el escenario MPL06, sin restricciones de máximo y mínimo para la superficie de los cultivos perenes en contraste con el MPL00, el ingreso se incrementa en 85% (Cuadro 5.3), se asigna una superficie sembrada de 23689 ha, el agua es un recurso que se agota, teniendo un precio sombra de 4.69 \$/m³ (Cuadro 5.4). La maquinaria y mano de obra son recursos que no se agotan (Grafica 5.7 y 5.8). Los cultivos que se modifican ante este escenario son, en el ciclo Primavera Verano la calabacita disminuye de 1415 a 331 ha, el chile reduce de 1486 a 542ha y la siembra de tomate de 916 ha a 412 ha al quitar la restricción de los cultivos perenes la producción de alfalfa no es un cultivo seleccionado debido a su alta demanda de agua y baja rentabilidad. En este escenario se genera un incremento en el ingreso pero en la comunidad es necesaria la producción de alfalfa debido a la alta demanda (Cuadro 5.2).

En el modelo MPL07, se eliminan las restricciones de máximos y mínimos por cultivo, permitiendo que el modelo asigne la superficie con base en el ingreso neto. El ingreso se incrementa en 4,660 millones de pesos (Cuadro 5.3). Se siembran 23687 ha. El volumen de agua en un recurso que se agota, dando un precio sombra

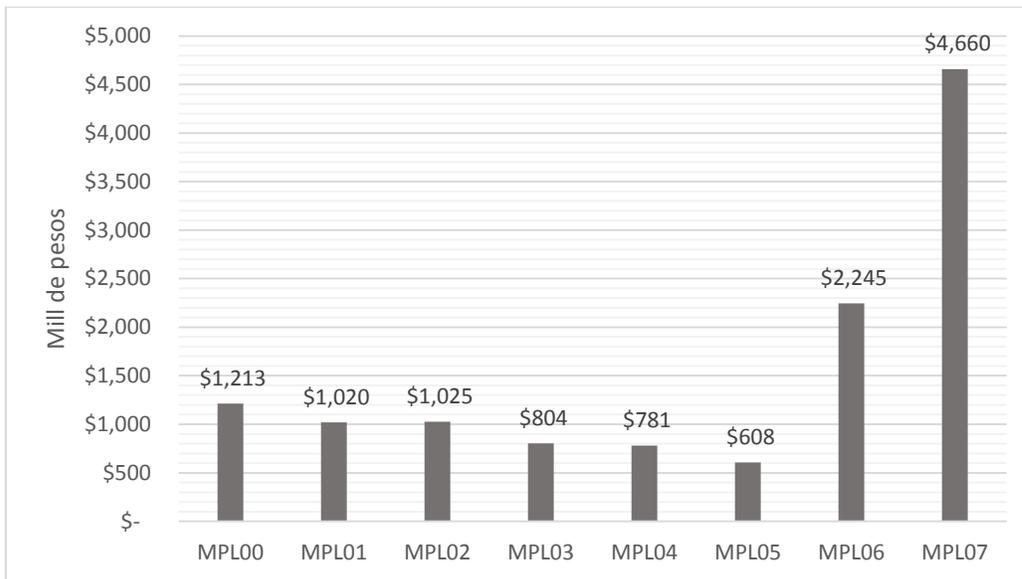
de 0.11 \$/m³ (Cuadro 5.5). La maquinaria y mano de obra son recursos disponibles (Grafica 5.7 y 5.8). Al no presentarse restricciones en cuanto a la superficie sembrada máxima y mínima, el modelo seleccionó los cultivos más rentables y con menos demanda de agua, para el ciclo OI, seleccionó 10498 ha de Coliflor, 1706 ha de haba y para el ciclo PV eligió 11423 ha de coliflor (Cuadro 5.2). Los resultados concuerdan con los determinados por Godínez et al (2007), para la Comarca Lagunera, donde la alfalfa no es un cultivo seleccionado por el modelo, debido a su bajo beneficio, pero dicho cultivo es necesario en el Distrito de Riego, para el sector ganadero.

Cuadro 5.2 Superficies sembrada (ha) para cada escenario.

Cultivo	Ciclo agrícola 2015-2016	MPL00	MPL01	MPL02	MPL03	MPL04	MPL05	MPL06	MPL07
		Ciclo: Otoño Invierno							
Avena	1312	993	993	993	993	993	993	993	0
Cebada	35	35	35	35	35	87	35	35	0
Coliflor OI	840	1329	1329	1329	1329	673	184	1329	10498
Haba	118	118	118	118	118	118	118	118	1706
Trigo Grano	215	155	155	155	155	155	155	155	0
Otros Cultivos OI	63	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciclo: Primavera Verano									
Calabacita	331	1415	331	1116	331	331	331	331	0
Chile	834	1486	1486	1486	885	542	542	542p	0
Frijol	271	208	208	208	208	208	208	208	0
Coliflor PV	1208	1868	1868	1868	1868	1868	828	1868	11423
Maíz grano	9551	7750	0	7231	0	0	7231	7231	0
Jitomate	5	42	5	5	5	5	5	5	0
Tomate	412	916	564	916	412	412	412	412	0
Otros Cultivos PV	62	0	0	0	0	0	0	0	0
Cultivos Perenes									
Alfalfa	13468	11147	11147	0	0	11147	11147	0	0
Frutales									
Asociados	186	313	313	313	313	184	184	10462	0
Otros Pastos	74	74	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	28985	27849	18552	15773	6652	16723	22373	23689	23627

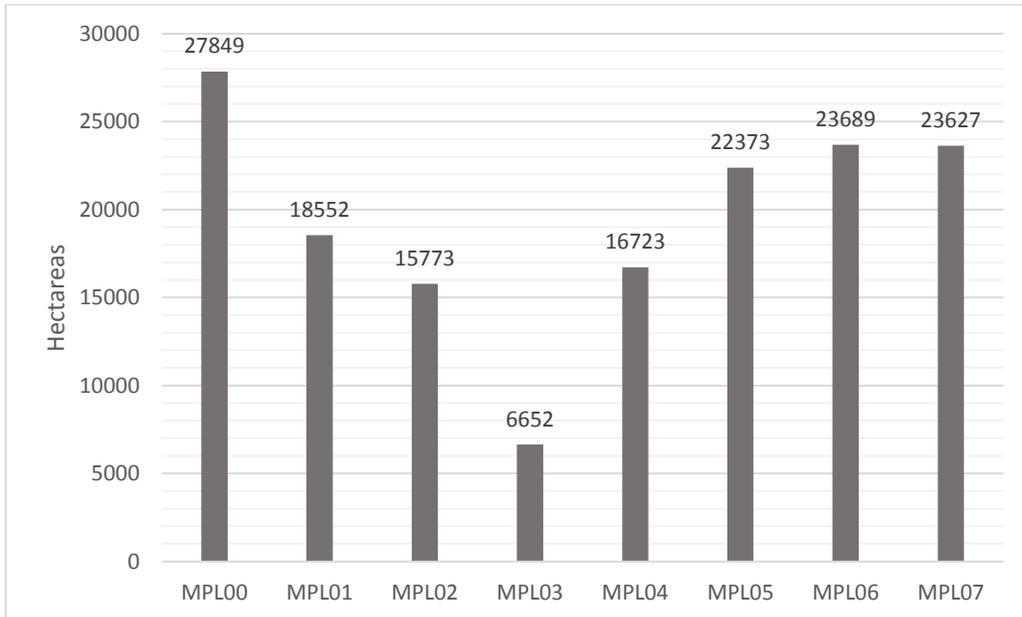
Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL (2018)

Gráfica 5.4 Ingreso neto de los escenarios establecidos



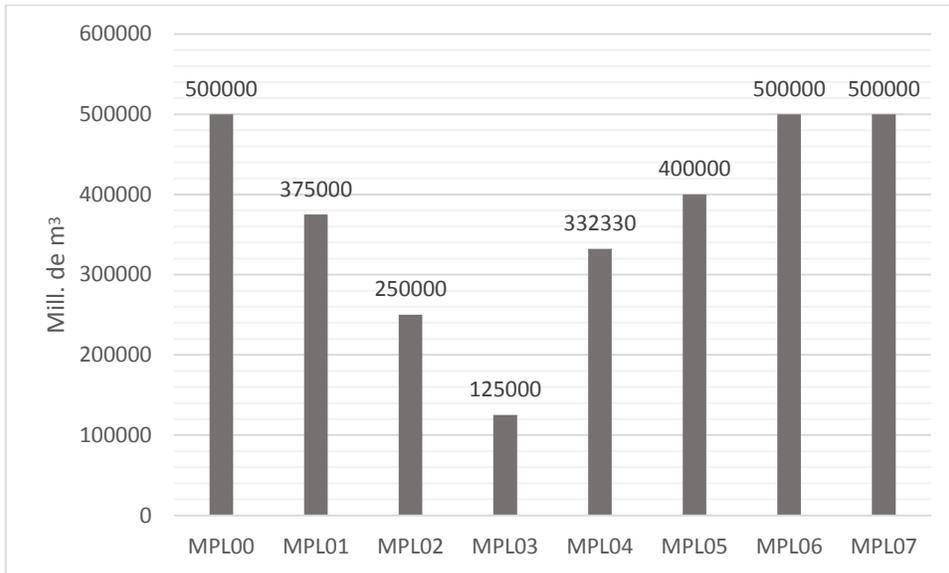
Fuente: Elaborado con base al Anexo 1, CuadroI-4 (2018)

Gráfica 5.5 Superficie sembrada (ha) en los escenarios establecidos.



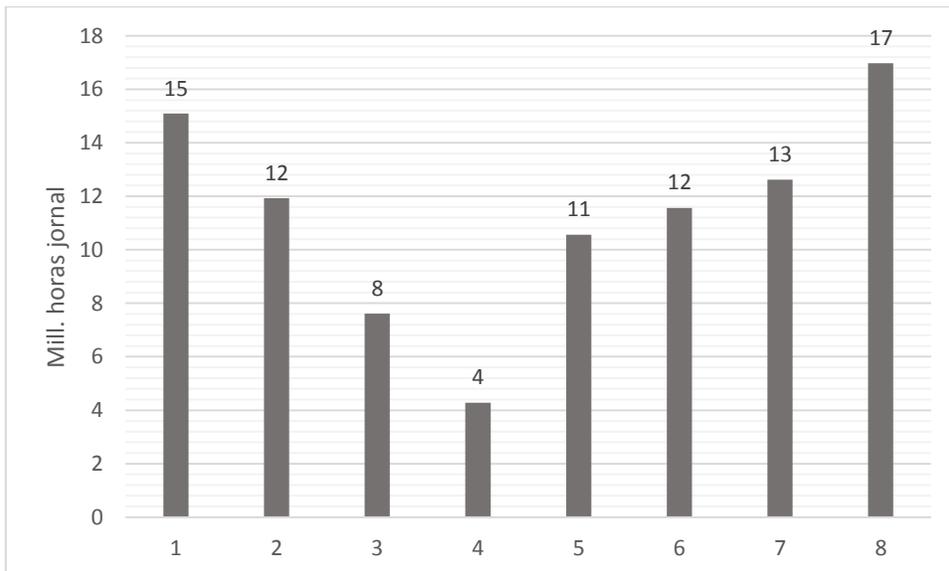
Fuente: Elaborado con base al Anexo 1, CuadroI-4 (2018)

Gráfica 5.6 Consumo de agua en los escenarios establecidos.



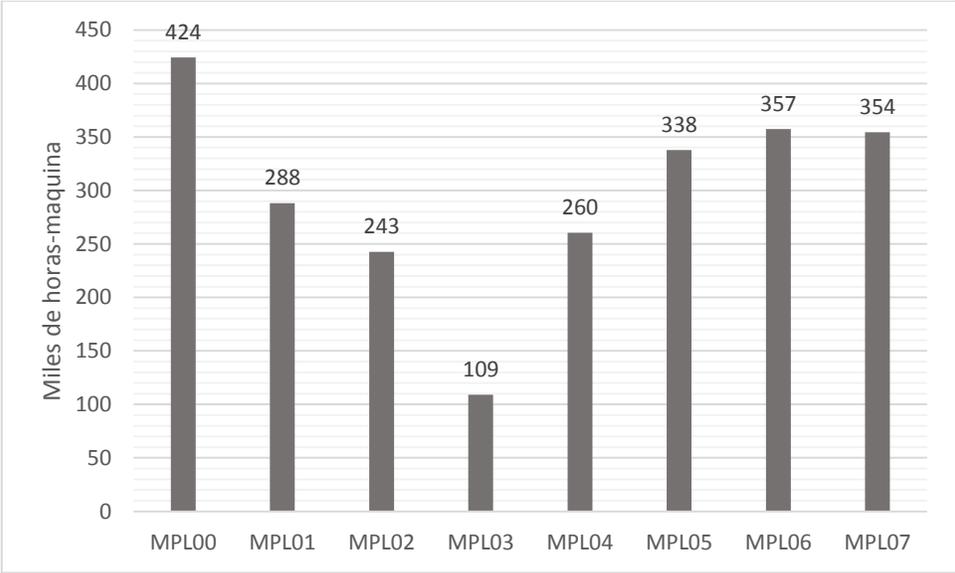
Fuente: Elaborado con base al Anexo 1, Cuadro I-4 (2018)

Gráfica 5.7 Uso de mano de obra durante todo el ciclo agrícola de cada escenario



Fuente: Elaborado con base al Anexo 1, Cuadro I-4 (2018)

Gráfica 5.8 Uso de maquinaria en escenarios establecidos



Fuente: Elaborado con base al Anexo 1, CuadroI-4 (2018)

Cuadro 5.3 Resultados de programación lineal

Modelo	MPL00	MPL01	MPL02	MPL03	MPL04	MPL05	MPL06	MPL07
Precio del Producto (Año)	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
Disponibilidad de Agua (mill. m ³)	500000	375000	250000	125000	41667	400000	500000	500000
	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$	\$
Ingreso Neto (mill. de pesos)	1,213	1,020	1,025	804	781	608	2,245	4,660
Variación (%) con el MPL00		-16	-16	-34	-36	-50	85	284
Superficie sembrada (Ha)	27849	18552	15773	6652	16723	22373	23689	23627
Variación (%) con el MPL00		-33	-43	-76	-40	-20	-15	-15
Consumo de Agua (mill de m ³)	500000	375000	250000	125000	332330	400000	500000	500000
Variación (%) con el MPL00		-25	-50	-75	-34	-20	0	0
Mano de Obra (mill. Horas jornal)	15	12	8	4	11	12	13	17
Variación (%) con el MPL00		-21	-50	-72	-30	-23	-16	12
Maquinaria (miles de horas-maq)	424	288	243	109	260	338	357	354
Variación (%) con el MPL00		-32	-43	-74	-39	-20	-16	-16

Fuente: Elaborado con base al Anexo 1, CuadroI-4

5.3 Precio sombra del agua

El precio sombra es aquel que refleja la escasez de los recursos tomando en cuenta el equilibrio de las fuerzas de oferta y demanda en un mercado competitivo; es llamado también precio social, precio económico y precio que refleja el costo de oportunidad (Hurtado, 1994).

El precio sombra representa el valor en que se incrementaría el ingreso neto si se dispusiera de una unidad adicional de agua, siempre y cuando se llevo a cabo el patrón de cultivos propuesto por el modelo. El precio sombra del agua toma el valor de cero cuando este no se emplea en toda su disponibilidad, es decir, el agua para riego sobrante habrá de considerarse como una mercancía gratis (abundante).

Cuadro 5.4 Valor del precio sombra del agua de riego para cada escenario establecido.

Modelo	MPL00	MPL 01	MPL 02	MPL 03	MPL 04	MPL 05	MPL 06	MPL 07
Superficie Sembrada (Ha)	27,849	18,552	15,773	6,652	16,723	22,373	23,689	23,627
Disponibilidad de agua (MM3)	500,000	375,000	250,000	125,000	41,667	400,000	250,000	500,000
Precio sombra agua (\$/m3)	1.44	2.15	2.11	4.20	40.85	13.72	4.69	0.11

Fuente: Elaborado con base al Anexo 1, Cuadro I-5

En el Cuadro 5.4 se observan los precios sombra del agua de riego para los escenarios establecidos, estos indican el precio máximo que los agricultores estarían dispuestos a pagar por cada metro cúbico adicional de agua en un año agrícola.

En lo que respecta a la agricultura en México, hay hectáreas de temporal y de riego, en donde las de temporal se ven afectadas seriamente por los cambios climáticos, por lo que las hectáreas de riego, a pesar de su alto consumo de agua tienden a predominar, pero para reducir el impacto al agua se tienden a implementar métodos de ahorro de agua para hacer más eficiente su uso en la agricultura. En México, muchos de los problemas derivados de la sobreexplotación del agua son provocados porque las tarifas que pagan los agricultores por el uso de este recurso no reflejan su verdadero costo; por lo

tanto, se debe replantear el actual esquema de subsidios al aprovechamiento de agua, y con esto promover un esquema que fomente la tecnificación y el uso eficiente de este vital líquido; como se evidencio en los precios económicos del agua obtenidos.

Para Roemer (2007), pese a la problemática que representaron los Distritos de Riego, el principal problema fue por el lado económico, puesto que no había suficiente dinero para financiar las obras, las cuales tuvieron que ser construidas en parte por empresas privadas y otra parte por el gobierno federal, pero este sistema de financiamiento no tuvo éxito, ya que los recursos invertidos no pudieron ser recuperados en mucho de los casos. Al respecto, destaca que se debe reconocer que hay proyectos de inversión que han sido un fracaso, puesto que el rendimiento social está por debajo del costo de inversión, consiguientemente se considera que el costo no es recuperable.

En el Distrito de Riego Alfajayucan, las cuotas de riego promedio y el precio que los usuarios del agua del sector agrícola pagan, los cuales fueron estimados por CONAGUA (2015) ascienden a \$0.02/m³. Al comparar el precio sombra del agua para riego que se obtuvo 1.44 \$/m³ (máxima disposición a pagar por parte de los productores agrícolas por tener una unidad de agua adicional en el proceso productivo) con la cuota (por la conservación y mantenimiento de los canales), se observa que el valor económico del agua es 72 veces mayor. Al comparar estas evidencias, en el Distrito de Riego 100, los usuarios, pagan cuotas que no reflejan su verdadero valor de escasez (valor económico), ya que pueden pagar más por cada unidad adicional del recurso, hasta el valor del precio sombra.

CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos en los modelos, el precio sombra y la productividad marginal del agua, expresan que las cuotas de riego pagadas por los productores en el distrito de riego 100, Alfajayucan, no reflejan su valor de escasez del agua (valor económico). La capacidad de pago de los productores de la región para adquirir una unidad adicional de agua es mayor que las cuotas pagadas actualmente, por lo que se recomienda un incremento gradual de las cotas de agua, para poder ofrecer un mejor mantenimiento y operación de la infraestructura que comprende al Distrito de Riego.

Al incrementar las cuotas de riego los usuarios se verían beneficiados porque tendrían la capacidad para acceder, explotar, usar y aprovechar el agua de forma sostenible, así como gestionar, planificar, manejar y administrar de manera íntegra las interrelaciones e intervenciones entre los diferentes sectores asociados al DR100, Alfajayucan.

Por consiguiente, si se pudieran implementar métodos o incentivos en los cuales el sector agrícola se viera motivado a ahorrar agua, de esa manera el sector se volverá más eficiente y así todos se beneficiarían.

Es un hecho que el incremento de las cuotas del agua aumentaría la conciencia social sobre el ahorro de la misma, ya que está comprobado que una alza en los precios de cualquier producto provoca como consecuencia una disminución en su consumo, ya sea que se utilice en menor medida o que se use conscientemente.

El modelo de programación lineal base en contraste con año agrícola 2015-2016 indica que el DR 100 Alfajayucan no opera bajo el óptimo económico, un cambio en la cantidad sembrada de los cultivos incrementaría el ingreso neto del DR 100, y por tanto el ingreso de los productores.

Se puede observar que los cultivos forrajeros son los que ocupan mayor volumen de agua y la rentabilidad de dichos cultivos es baja, no es económicamente viable producirlos, a pesar de ello, es necesario sembrarlos, ya que son insumo necesario para la actividad pecuaria de la región.

6.2 Recomendaciones

En el DR100 Alfajayucan se hace frente a una escasez creciente de agua, ya que no pueden lograrse aumentos substanciales de los suministros del líquido por medio de la construcción de nuevos proyectos de recuperación de agua, que se han ocupado los mejores sitios para una posible construcción de presas y embalses, y que a los costos de los nuevos proyectos pueden ser muy elevados. La mayor eficiencia del uso del agua constituye entonces la alternativa más eficaz desde el punto de vista del costo para hacer frente al reto de escasez de agua.

Se requiere hacer un análisis en los mercados de agua existentes y las transacciones reales para identificar los costos y beneficios privados y sociales relacionados con las transferencias. Los estudios sobre ganancias potenciales provenientes de transferencias de mercado necesitan equilibrarse con estudios sobre los costos de transacción y los costos de administración relacionados con las políticas actuales y propuestas que rijan las actividades de mercado.

A parte de las posibles implicaciones relacionadas con la asignación de costos, esta diferencia puede tener impacto sobre mecanismos descentralizados y alternativos que pudieran usarse para afectar los precios del agua, y por lo tanto, incentivos para el uso eficiente del agua. Con su tradición de preocupación por los usos para fines múltiples del agua, puede darse cabida con facilidad a los mecanismos por los que las demandas de competencia del agua se transmitan a través de los precios de la misma, dentro de los procedimientos existentes empleados por el Distrito de Riego 100 en sus esfuerzos por hacer frente a las necesidades de agua de sus diversos clientes.

CAPÍTULO 7 : LITERATURA CITADA

Banco Mundial, Agricultural Water Issues and Approaches. Shaping the Future of Irrigated and Rainfed Agriculture: An Investment Sourcebook on Agricultural Water Management, 2005.

Bueno, Graciela 1988, Introducción a la Programación Lineal y Análisis de sensibilidad. Ed. Trillas. México, D.F.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2016. Atlas del Agua en México.

Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2015. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. 2013-2014.

De la Madrid Cordero, Enrique (2009), "Agua y Agricultura en México y el Mundo", Financiera Rural, p. p. 1-5

Florencio, C. V.; Valdivia, A. R. y Scott, C. A. 2002. Productividad del agua en el Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma. Agrociencia. 36-004:483-493.

Godinez, M. L.; Garcia, S. J. A.; Fortis, H. M; Mora, F. J. S.; Martinez, D. M. A.; Valdivia, A. R.; Hernandez, M. J. 2007. Valor económico del agua en el sector agrícola de la Comarca Lagunera. Ed. Terra Latinoamericana, Universidad Autonoma Chapingo.25-1: 51-59.

Hurtado, Felix. 1994. Programación Lineal Multiobjetivo Aplicado a Sistemas Campesino: Simulación de Efectos Medioambientales. Ed. Instituto de Investigación Universidad y Región IIUR.

National Academies Press (NRC), Managing the Columbia River: Instream Flows, Water Withdrawals, and Salmon Survival, Washington, DC, 2004.

Ortega-G., D.; Mejia S., E.; Palacios V., E.; Rendon P., I.; Exebio G., A. (2009). Modelo de optimización de recursos para un distrito de riego. *Terra Latinoamericana*, 27(3), 219-226.

Palacios, Enrique, 2012. *La Operación de Los Sistemas de Riego con apoyo de las Técnicas de Información*. Ed. Colegio de Postgraduados.

Morales N. J. y Rodriguez T. L., *Economía del Agua Escasez del Agua y su Demanda Domestica e Industrial en Areas Urbanas*. Ed. Universida Autonoma Metropolitana.

Palacios V. y Exebio G. A. 1989. *Introducción a la Teoría de la Operación de Distritos y Sistemas de Riego, Segunda Reimpresión*. Colegio de Postgraduados, Centro de Hidrociencias, Montecillo, Edo. de México.

Perry, C. J., "Pricing, Charging and Recovering for Irrigation Services, Investemen Note 0104", *Agricultural Water Issues and Approaches Shaping the Feature of Irrigated and Rainfed Agriculture: an Invesment Sourcebook on Agricultural Water Management*, Washington, Banco Mundial, 2004.

Randall, A. 1988. *Market Failure and the Efficiency of Irrigated Agriculture*. In Gerald O'Mara (ed), *Efficiency in Irrigation. The Conjunctive Use of Surface and Groundwater Resources. A World Bank Symposium*. World Bank, Washington D.C. pp. 21-32, EE.UU.

Roemer, Andres (2007); "Derecho y Economía: Políticas publicas del agua"; Miguel Angel Porrua, Mexico, p.p. 25-30, 65-133.

Rubiños Panta, Juan Enrique, *Valor Económico del Agua y Análisis de las Transmisiones de Derechos de Agua en Distritos de Riego de México*. Tesis de Doctorado Programa de Economía Agrícola. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Edo. de México.

Zegarra M. E., Economía del agua: conceptos y aplicaciones para una mejor gestión, Lima: GRADE, 2014. Ed. Impresiones y Ediciones Arteta E.I.R.L.

Zetina-Espinosa, A. M., Mora-Flores, J. S., Martínez-Damian, Miguel A. Cruz-Jiménez, J., & Téllez-delgado, R. (2013). Valor económico del agua en el distrito de riego 044, Jilotepec, estado de México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 139–156.

ANEXO I

Cuadro I-1 Volumen de agua total (MM3) consumida por cultivo cíclico y perene en el año 2015-2016

Cultivos	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Ciclo Otoño-Invierno												
Avena Forrajera	621	1175	1463	1909	1467	436	28	11	0	0	0	0
Cebada Forrajera	8	57	25	61	69	11	2	0	0	0	0	0
Coliflor	1147	2647	1683	2275	1878	1224	272	11	0	0	0	0
Haba	280	43	52	38	91	1	0	0	0	0	0	0
Trigo Grano	15	87	353	363	265	266	170	1	0	0	0	0
Otros Cultivos OI	6	52	81	153	74	39	29	24	10	0	0	0
Ciclo Primavera-Verano												
Calabacita	0	0	0	0	51	161	263	615	220	284	393	0
Chile	0	0	0	0	101	877	1914	1573	1170	2058	1840	0
Frijol	0	0	0	0	23	92	263	220	192	346	291	0
Coliflor	0	0	0	0	210	1642	2937	3280	2181	2044	1778	0
Maíz grano	0	0	0	0	207	2035	8076	9023	9286	20768	21657	0
Jitomate	0	0	0	0	0	4	4	9	7	3	5	0
Tomate	0	0	0	0	32	327	634	878	428	368	412	0
Otros Cultivos PV	0	0	0	0	12	30	138	11	17	30	167	0
Perenes												
Alfalfa	14547	16941	13418	17008	19224	16130	18820	17091	13557	14393	15741	0
Frutales Asociados	57	151	35	115	265	218	239	427	228	373	230	0
Otros Pastos	45	54	78	71	40	46	40	37	42	27	38	0
Vol. Total Mensual (MM3)	16726	21207	17188	21993	24009	23539	33829	33211	27338	40694	42553	0

Fuente: Avance del plan de riego por mes, Jefatura del Distrito de riego 100, Alfajayucan (CONAGUA,2018).

Cuadro I-2 Superficie (ha) asignada para cada cultivo, para cada escenario.

Cultivos	Año agrícola 2015-2016	MPL 00	MPL 01	MPL 02	MPL 03	MPL 04	MPL 05	MPL 06
Ciclo Otoño-Invierno								
Avena Forrajera	1312	993	993	993	993	993	993	0
Cebada Forrajera	35	35	35	35	35	87	35	0
Coliflor	840	1329	1329	1329	1329	673	184	10498
Haba	118	118	118	118	118	118	118	1706
Trigo Grano	215	155	155	155	155	155	155	0
Otros Cultivos OI	63	0	0	0	0	0	0	0
Ciclo Primavera-Verano								
Calabacita	331	1415	331	1116	331	331	331	0
Chile	834	1486	1486	1486	885	542	542	0
Frijol	271	208	208	208	208	208	208	0
Coliflor	1208	1868	1868	1868	1868	1868	828	11423
Maíz grano	9551	7750	0	7231	0	0	7231	0
Jitomate	5	42	5	5	5	5	5	0
Tomate	412	916	564	916	412	412	412	0
Otros Cultivos PV	62	0	0	0	0	0	0	0
Perenes								
Alfalfa	13468	11147	11147	0	0	11147	11147	0
Frutales Asociados	186	313	313	313	313	184	184	0
Otros Pastos	74	74	0	0	0	0	0	0
TOTAL (Ha)	28985	27849	18552	15773	6652	16723	22373	23627

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL (2018).

Cuadro I-3 Volumen de agua miles de m3 utilizado en el modelo base MPL00

Cultivos	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Vol. Total por cultivo
Ciclo Otoño-Invierno													
Avena Forrajera	1927	1894	1687	1758	1825	1478	1738	5462	0	0	0	0	17769
Cebada Forrajera	56	62	49	45	49	64	35	0	0	0	0	0	361
Coliflor	4749	3913	2217	3241	2630	2403	2442	7310	0	0	0	0	28904
Haba	5168	1971	1440	1741	1861	1329	0	0	0	0	0	0	13510
Trigo Grano	233	245	232	186	171	194	266	155	0	0	0	0	1681
Otros Cultivos OI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ciclo Primavera-Verano													
Calabacita	0	0	0	0	3798	1794	2326	2645	2573	2149	1949	0	17234
Chile	0	0	0	0	7147	3074	3125	3499	3470	3452	2832	0	26599
Frijol	0	0	0	0	368	199	372	375	384	371	291	0	2360
Coliflor	0	0	0	0	7402	3188	3885	3997	3378	2599	2528	0	26978
Maíz grano	0	0	0	0	21977	10642	14724	17052	15471	14346	11701	0	105913
Jitomate	0	0	0	0	0	84	56	76	74	63	84	0	436
Tomate	0	0	0	0	1570	1616	1277	2015	1416	1527	1252	0	10673
Otros Cultivos PV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Perenes													
Alfalfa	22419	28496	17979	20212	21871	18313	20767	24406	22045	23118	17850	0	237476
Frutales Asociados	435	788	548	800	1202	593	598	1298	1049	822	574	0	8707
Otros Pastos	133	133	123	119	93	113	141	152	155	133	102	0	1398
Vol. Total Mensual													
	35120	37502	24274	28103	71964	45085	51754	68441	50015	48580	39163	0	

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL (2018).

Cuadro 1-4 Resultados de programación lineal

Modelo	MPL00	MPL01	MPL02	MPL03	MPL04	MPL05	MPL06	MPL07
Precio del Producto (Año)	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015
Disponibilidad de Agua (mill. m ³)	50000	37500	25000	12500	41667	40000	50000	50000
	0	0	0	0		0	0	0
Ingreso Neto (mill. de pesos)	\$ 1,213	\$ 1,020	\$ 1,025	\$ 804	\$ 781	\$ 608	\$ 2,245	\$ 4,660
Variación (%) con el MPL00		-16	-16	-34	-36	-50	85	284
Superficie sembrada (Ha)	27849	18552	15773	6652	16723	22373	23689	23627
Variación (%) con el MPL00		-33	-43	-76	-40	-20	-15	-15
Consumo de Agua (mill de m ³)	50000	37500	25000	12500	33233	40000	50000	50000
	0	0	0	0	0	0	0	0
Variación (%) con el MPL00		-25	-50	-75	-34	-20	0	0
Mano de Obra (mill. Horas jornal)	15	12	8	4	11	12	13	17
Variación (%) con el MPL00		-21	-50	-72	-30	-23	-16	12
Maquinaria (miles de horas-maq)	424	288	243	109	260	338	357	354
Variación (%) con el MPL00		-32	-43	-74	-39	-20	-16	-16

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL (2018).

Cuadro I-5 Precios sombra del agua para los MPL (\$/m3)

Modelo	MPL00	MPL 01	MPL 02	MPL 03	MPL 04	MPL 05	MPL 06	MPL 07
Superficie Sembrada (Ha)	27,849	18,552	15,773	6,652	16,723	22,373	23,689	23,627
Disponibilidad de agua (MM3)	500,000	375,000	29,016	29,016	29,016	23,213	29,016	29,016
Precio sombra agua (\$/m3)	1.44	2.15	2.11	4.20	40.85	13.72	4.69	0.11

Fuente: Elaborado con información de las salidas de los MPL (2018).

Cuadro I-6 Precio Medio Rural (\$/ton) de los cultivos cíclicos y perenes.

Cultivos	Precio Medio Rural (\$/m3)
Ciclo Otoño-Invierno	
Avena Forrajera	246.7
Cebada Forrajera	260.6
Coliflor	14343.6
Haba	7420.1
Trigo Grano	3696.7
Otros Cultivos OI	8452.7
Ciclo Primavera-Verano	
Calabacita	3430.6
Chile	24424.8
Frijol	13397.8
Coliflor	13947.0
Maíz grano	3566.1
Jitomate	3500.0
Tomate	5054.4
Otros Cultivos PV	3684.5
Perenes	
Alfalfa	254.7
Frutales Asociados	30827.7
Otros Pastos	330.1

Fuente: Jefatura del Distrito de riego 100, Alfajayucan (CONAGUA,2018).

ANEXO 2 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Cuadro II-1 Costos de producción del cultivo de avena forrajera

Operación y/o practicas Labores y Mano de Obra	Costo \$/ha	Insumos	Costo \$/ha
Barbecho	700.00	100 kg de semilla (\$12/kg)	1,200.00
Rastra	300.00	Urea (2bultos)	700.00
Siembra	300.00	SCFT (2 bultos)	700.00
Aplicación de agroquímicos	150.00	Cloruro de Potasio (un Bulto)	400.00
Corte y empacado	1,500.00	Esteron 47 (1.5 l/ha)	150.00
Acarreo	150.00	Pirimor 200 g/ha	250.00
Total	3,000.00	Total	3,400.00
Costo total			6,400.00

Fuente: Agenda Teacnica Agricola Hidalgo (SAGARPA,2015)

Cuadro II-2 Costos de Producción del cultivo cebada

Operación y/o practicas Labores y Mano de Obra	Costo \$/ha	Insumos	Costo \$/ha
Barbecho	700	120 kg de semilla (\$8/kg)	960
Rastra	350	Urea (3 bultos)	1,050
Fertilización	100	SCFT (2 bultos)	700
Siembra	350	Cloruro de Potasio (un Bulto)	380
Aplicación de herbicida	250	Esteron 47 (1.5 l/ha)	120
Aplicación de insecticida	100	Pirimor 200 g/ha	250
Trilla	800		
Acarreo	100		
Transporte a Maltera	250		
Total	3,000	Total	3,460
Costo total			6,460

Fuente: Agenda Técnica Agrícola Hidalgo (SAGARPA,2015)

Cuadro II-3 Costos de producción del cultivo frijol

Concepto	Cantidad	Unidad	Costos unitario (\$)	Costo Total (\$)
Labores mecanizadas				
Barbecho	1	labor	600	600
Rastra	1	labor	300	300
Surcado y siembra	1	labor	300	300
cultivos	2	labor	250	500
Total de labores mecanizadas				1,800
Insumos				
Semilla	40	kg	25	1,000
Inoculante	1	dosis (1kg)	100	100
fertilizante	174	kg	7	1,125
Herbicida Flex	1	kg	900	900
Plaguicida metomilo	300	g	150	150
Total de insumos				3,375
Labores manuales				
Aplicación de herbicida	1	jornal	150	150
Aplicación de plaguicida	1	jornal	150	150
Total de labores manuales				300
Servicios contratados				
Riegos	4	riego	200	800
Corte y pisca	8	jornal	150	1,200
Acarreo o trasplante	2	jornal	150	300
Total servicios contratados				2,300
Total costos directos				7,765

Fuente: Agenda Tecnica Agricola Hidalgo (SAGARPA,2015)

Cuadro II-4 Costos de producción del cultivo maíz

Concepto	Cantidad		Costos unitario (\$)	Costo Total (\$)
Unidad				
Barbecho	1	labor	600	600
Rastra	1	labor	300	300
Surcado	1	labor	300	300
Siembra	1	labor	300	300
Total de labores mecanizadas				1,500
Insumos				
Semilla	25	kg	75	1,875
Micorriza	1	dosis (1kg)	75	75
Azospirillum brasilense	1	dosis (360g)	120	120
18-46-00	1	Bulto	560	560
Urea	1	Bulto	400	400
Herbicida Gesaprim Calibre 90	1	kg	200	200
Plaguicida Cipermetrina	1	l	160	160
Total de insumos				3,390
Labores manuales				
Aplicación de herbicida	2	jornal	150	300
Aplicación de plaguicida	2	jornal	150	300
Total de labores manuales				600
Servicios contratados				
Corte y pisca	8	jornal	150	1,200
Acarreo o transplante	2	jornal	150	300
Total servicios contratados				1,500
Total costos directos				6,990

Fuente: Agenda Tecnica Agrícola Hidalgo (SAGARPA,2015)

Cuadro II.5 Costos de producción, para los cultivos del ciclo agrícola 2015-2016, en el distrito de riego 100, Alfajayucan.

Ciclo/Cultivo	Superficie		Rendimiento (ton/Ha)	Precio medio rural (\$/ton)	Costos de producción (\$/ha)	Producción (ton)	Valor de la producción (Miles \$)	Costo total de la producción (Miles \$)
	Sembrada (Ha)	Cosechada (Ha)						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Ciclo: Otoño- Invierno								
Avena Forrajera	1237	1237	19	206	3357	23998	4936	4153
Cebada Forrajera	54	54	18	247	2635	972	240	142
Cilantro	5	5	3	50000	5800	13	625	29
Coliflor	1122	1122	12	8400	14800	13240	111213	16606
Haba	57	57	2	12500	5500	114	1425	314
Otros Cultivos	62	62	3	7750	4625	205	1586	287
Otros cultivos	11	11	5	3750	3500	53	198	39
Trigo Grano	220	220	7	3800	6300	1430	5434	1386
SubTotal	2768	2768	68	86652	46517	40023	125656	22954
Ciclo: Primavera- Verano								
Calabacita	546	546	9	3429	10652	5128	17581	5811
Chile	1182	1182	6	7643	13644	6619	50590	16127
Coliflor	780	780	11	9640	14200	8580	82711	11076
Frijol	337	337	3	12333	7500	843	10391	2528
Jitomate	15	15	10	3000	8000	150	450	120
Maíz grano	9440	9440	7	3186	6300	61360	195475	59472
Nabo	15	15	4	3500	3500	53	184	53
Otras Flores	12	12	2	15000	3500	18	270	42
Otros Cultivos	75	75	3	3800	4380	232	882	328
Tomate	490	490	6	5000	8629	2939	14697	4227
Zempoalxochitl	11	11	3	4500	6000	33	149	66
SubTotal	12891	12902	6	6457	14391	85954	373379	99849
Ciclo: Perennes								
Alfalfa	12487	12487	95	260	10986	1191260	309728	137178
Frutales Asociados	243	243	4	11100	8260	875	9710	2007
Otros Pastos	56	56	94	270	5600	5264	1421	314
Total ciclo	12786	12786	64	3877	8282	1197399	320859	139499
Total	28456	28456	26	7055	9496	745555	819894	262302

Fuente: Jefatura del Distrito de riego 100, Alfajayucan (CONAGUA,2018).