



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS ECONÓMICO ADMINISTRATIVAS

EFECTOS EN EL USO DEL AGUA EN UN DISTRITO DE RIEGO, ANTE CAMBIOS DE POLÍTICA AGRÍCOLA Y MEJORAS DE LA INVESTIGACION PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

Que como requisito parcial para obtener el grado de:
MAESTRO EN CIENCIAS EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES

Presenta: **MARINA ITZEL PINEDA ESPEJEL**



Bajo la supervisión de: **DR. RAMÓN VALDIVIA ALCALÀ**



Chapingo, Estado de México, enero de 2019

La presente tesis titulada: **EFFECTOS EN EL USO DEL AGUA EN UN DISTRITO DE RIEGO, ANTE CAMBIOS DE POLÍTICA AGRÍCOLA Y MEJORAS DE LA INVESTIGACION PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.** realizada por el alumno: **MARINA ITZEL PINEDA ESPEJEL** 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
EN ECONOMÍA AGRÍCOLA Y DE LOS RECURSOS NATURALES**

CONSEJO PARTICULAR

PRESIDENTE



Dr. Ramón Valdivia Alcalá

ASESOR



Dr. Juan Hernández Ortiz

ASESOR



Dr. Fermín Sandoval Romero

Chapingo, Estado de México, enero de 2019

Índice de Contenido

Índice de Contenido	iii
Índice de Figuras	v
Índice de Tablas.....	vi
Abreviaturas.....	vii
Agradecimientos	viii
Dedicatoria.....	ix
Datos biográficos	x
RESUMEN GENERAL.....	xi
GENERAL ABSTRACT.....	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema	5
1.2. Objetivo General.....	6
1.2.1. Objetivos Específicos	6
1.3. Hipótesis.....	7
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Los inicios: valor y precio.....	8
2.2. La economía del agua	11
2.1.1. Características del agua.....	12
2.1.2. Demanda de agua desde las perspectivas de los usuarios	15
2.1.3. Actitudes sociales hacia el agua	16
2.1.4. Consideraciones institucionales, legales y políticas	16
2.3. El papel de la valoración económica en la admiración del agua.....	18

2.4.	El valor económico versus otros conceptos de valor	22
2.5.	El criterio económico para la asignación de recursos y la valoración ..	24
2.6.	Métodos de valoración del agua	25
2.7.	Programación matemática	26
2.7.1.	Programación lineal.....	27
3.	ASPECTOS HÍDRICOS RELEVANTES Y ZONA DE ESTUDIO	37
3.1	Aspectos hídricos relevantes.....	37
3.2	Características de Zona de estudio	39
4.	REVISIÓN DE LITERATURA	60
5.	METODOLOGÍA.....	63
5.1.	Actividades del modelo	63
5.2.	Cuantificación de los precios netos	64
5.3.	Restricciones.	65
5.3.1.	Tierra	66
5.3.2.	Agua	66
5.4.	Construcción del modelo	67
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
7.	CONCLUSIONES	88
	BIBLIOGRAFÍA.....	89
	ANEXOS.....	1

Índice de Figuras

Figura 1. Oferta, demanda, y precios y cantidades de equilibrio.	10
Figura 2. Condición de máxima ganancia Py (ingreso marginal) igual a Costo marginal (MC)	35
Figura 3. Ilustración de una mejora tecnológica.....	35
Figura 4. Función de producción y obtención de producto medio (APP) y producto marginal (MPP)	36
Figura 5. Subcuencas del Río Lerma.....	40
Figura 6. Regionalización en base a la tendencia de los acuíferos del estado de Guanajuato al 2030, sin considerar el cambio climático.	41
Figura 7. Reducción del Volumen de agua subterránea disponible al 2030 bajo escenarios de cambio climático.	42
Figura 8. Disminución en la producción agrícola al 2030 bajo escenarios de cambio climático.	43
Figura 9. Incremento en el volumen de agua (superficial y subterránea) utilizado para fines agrícolas.....	44
Figura 10. Mapa del distrito de Riego 011, Alto Rio Lerma.....	45
Figura 11 Volumen autorizado en el DDR 011 2004-2015	48
Figura 12. Cuenca Lerma-Chapala y distrito de riego Alto Rio Lerma	49
Figura 13. Volumen de agua usado por módulo de riego 2016-2017.	59
Figura 14. Uso de tierra (ha) en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.	71
Figura 14. Uso de agua (dam ³) en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.	72

Índice de Tablas

Tabla 1: Asociaciones Civiles de Usuarios (módulos de riego) del DR 011	47
Tabla 2: Distritos de riego de la cuenca Lerma-Chapala	49
Tabla 3: Características de las presas abastecedoras del DR011	50
Tabla 4: Estado de los acuíferos que abastecen al del DR011	51
Tabla 5: Volumen concesionado por Asociación de Usuarios de Agua superficial y subterránea del DR011 Alto Río Lerma	52
Tabla 6: Asignación de agua del sistema de presas al DR011	54
Tabla 7: Volumen extraído de los acuíferos del DR011	55
Tabla 8: Evolución de la tarifa de riego con agua de gravedad en el DR011	56
Tabla 9: Patrón de cultivos en el DR011	57
Tabla 10: Superficie sembrada por modulo en el año agrícola 2016-2017	58
Tabla 11: Volumen de agua usado por módulo de riego 2016-2017	59
Tabla 12: Padrón de cultivos año agrícola 2016-2017	63
Tabla 13: Precios netos de las actividades de cultivo del módulo de riego “Valle” para el año agrícola 2016-2017	64
Tabla 14: Precios netos de las actividades de cultivo del módulo de riego “Cortázar” para el año agrícola 2016-2017	65
Tabla 14: Tierra disponible para los módulos M04 y M05 y superficie sembrada del ciclo 2016-2017	66
Tabla 16: Agua disponible para los módulos M04 y M05	66
Tabla 17: Tabla Patrón de cultivos en condiciones de sequia	69
Tabla 18: Tabla Uso de tierra mensual en condiciones de sequía (ha)	70
Tabla 19: Tabla Uso de agua mensual en condiciones de sequía (dam³)	71

Abreviaturas

CONAGUA	Comisión Nacional del Agua
dam ³	Decámetros cúbicos (1000 m ³)
DOF	Diario oficial de la federación
DR	Distrito de Riego
DR011	Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
ha.	Hectárea(s)
m ³	Metros cúbicos
Mm3	Millones de metros cúbicos
MXN \$	Pesos mexicanos
PM	Programación matemática
PL	Programación lineal
PMP	Programación matemática positiva
REPDA	Registro público de derechos de agua
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SE	Secretaría de Economía
S. de. R.L.	Sociedad de Responsabilidad Limitada
t.	Tonelada(s)

Agradecimientos

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

A la Universidad Autónoma Chapingo, por los recursos bibliográficos, materiales y humanos que fueron esenciales para mi formación académica e investigación.

A los miembros de mi consejo en especial al Dr. Ramón Valdivia Alcalá por su paciencia, consejos y motivación. Al Dr. Juan Hernández Ortiz y al Dr. Fermín Sandoval Romero, por sus recomendaciones y apoyo.

Al Ing. Alfredo Marmolejo Cervantes, coordinador de operación hidráulica y cultura del agua de la Sociedad de Responsabilidad Limitada del Distrito de Riego 011, por la proporción de los datos para esta investigación.

Al Ing. Vertario Trejo Segura, jefe de operaciones de la Jefatura del Distrito de Riego 011, dirección local de Guanajuato, de CONAGUA y al Ing. Juan Martín Vera Arroyo, jefe de unidad de riego Cortázar, del Distrito de Riego 011, por su gran apoyo y tiempo para la proporción de datos.

A los profesores del Posgrado de Economía Agrícola y de los Recursos Naturales que me aconsejaron y asesoraron en el tiempo que pase como estudiante y que con su academia me brindaron un panorama más amplio para la investigación.

Dedicatoria

Con mucho cariño a mis padres Guillermina Espejel Valdez y José Luis Pineda Sánchez que con su amor, su apoyo y comprensión, me encuentro concluyendo esta etapa de mi vida.

A mis abuelitas Ernestina Sánchez Mejía y Rosa Valdez Meraz que siempre tienen consejos de vida y me llenan de cariño.

A mis abuelitos que a pesar que ya no se encuentran con nosotros fueron parte importante de mi vida.

A mis hermanas Montserrat y Sarai que siempre están a mi lado y he contado con su apoyo incondicional, y porque me motivan a ser mejor persona.

A mi amigo Byron Zayas Pérez que siempre me asesoro y por su gran paciencia.

A la M.I. Ma. Magdalena Sánchez Astello y al M.C. Alejandro Hernández Tapia por su confianza y apoyo

Datos biográficos



Datos personales

Nombre	Marina Itzel Pineda Espejel
Fecha de nacimiento	26 de febrero de 1989
Lugar de nacimiento	Texcoco, Estado de Mexico
CURP	PIEM890226MMCNSR00
Profesión	Ingeniero en Irrigación
Cédula Profesional	09881095

Desarrollo Académico

Bachillerato	Preparatoria Agrícola UACH
Licenciatura	Ingeniero en Irrigación UACH

RESUMEN GENERAL

EFFECTOS EN EL USO DEL AGUA EN UN DISTRITO DE RIEGO, ANTE CAMBIOS DE POLÍTICA AGRÍCOLA Y MEJORAS DE LA INVESTIGACION PARA LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO.

En esta investigación se abordan dos eventos. El primero es el caso del aporte de la investigación agrícola de origen público, como elemento atenuante del cambio climático, en un distrito de riego. Básicamente se considera el desarrollo de una variedad de trigo y cebada que usan menos agua para su desarrollo, para competir con otros cultivos que en algunos casos usan menos agua y en otros registran una mayor utilidad, como las hortalizas. El otro evento que se analiza es la eliminación del apoyo a la comercialización que el gobierno otorgaba a los granos básicos y lo que acontece con el uso de insumos como agua, mano de obra y tierra en esas condiciones. Se usa la programación matemática para conocer los probables efectos de esos eventos; en ambos casos se construyen varios escenarios con supuestos de reducción del recurso agua para conocer su productividad. En el primer caso, aunque se registra una reducción de trigo, la semilla mejorada reduce el efecto que tendría la superficie sembrada de este cultivo. En el segundo, la eliminación del apoyo a la comercialización reduce la competitividad por el uso de los recursos hídricos de los cultivos básicos.

Palabras Clave: cambio climático; política agrícola; productividad del agua; programación matemática.

Tesis de Maestría en Ciencias en Economía Agrícola y de los Recursos Naturales, División de Ciencias Económico Administrativas, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: Marina Itzel Pineda Espejel

Director de Tesis: Dr. Ramón Valdivia Alcalá

GENERAL ABSTRACT

EFFECTS ON THE USE OF WATER IN AN IRRIGATION DISTRICT, OF THE CHANGE IN AGRICULTURAL POLICY: ELIMINATION OF SUPPORT FOR MARKETING AND AGRICULTURAL RESEARCH AND ITS CONTRIBUTION TO THE ADAPTATION OF CLIMATE CHANGE IN BASIC CROPS.

In this investigation, two events are addressed. The first is the case of the contribution of agricultural research of public origin, as an attenuating element of climate change, in an irrigation district. The development of a variety of wheat and barley that uses less water for its development it is basically considered to compete with other crops that in some cases use less water, and in others register a greater utility, such as vegetables. The other analyzed event is the elimination of support for marketing that the government granted to basic grains and what happens with the use of inputs such as water, labor and land in those conditions. Mathematical programming is used to know the probable effects of those events; in both cases several scenarios are constructed with water resource reduction assumptions to know their productivity. In the first case, although there is a reduction in wheat, the improved seed reduces the effect that the planted surface of this crop may have. In the second, the elimination of marketing support reduces competitiveness due to the use of water resources from basic crops.

Keywords: climate change; agricultural policy; water productivity; mathematical programming.

Thesis of Master of Science in Agricultural Economics and Natural Resources, Division of Economic and Administrative Sciences, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: Marina Itzel Pineda Espejel

Advisor: Dr. Ramón Valdivia Alcalá

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento que se puede encontrar en la naturaleza en estado sólido líquido y gaseoso, y de suma importancia para los organismos vivos, por lo que se considera un recurso estratégico en el desarrollo económico y social de cualquier país (INEGI, 2018). La seguridad hídrica se define como la provisión confiable de agua cuantitativa y cualitativamente aceptable para la salud, la producción de bienes y servicios y los medios de subsistencia, junto un nivel aceptable de riesgos relacionados con el agua (Sadoff & Muller, 2010). El Gobierno de la Republica de México, bajo el (Plan Nacional de Desarrollo, 2013), en el Programa Nacional Hídrico (2014-2018), realizó una sólida apuesta para atender la seguridad hídrica, el derecho humano al agua y saneamiento básico y, por ende, el apoyo objetivo y bien sustentado a la población en el mejoramiento integral de la gestión del agua. Sin embargo, garantizar la seguridad hídrica, es tema de interés mundial, pues, entra dentro de los ocho Objetivos del Milenio (Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente), representa uno de los compromisos de suma importancia en atender.

En el caso mexicano, la apuesta de lograr la seguridad y la sustentabilidad hídrica, nace por la tendencia creciente del número de mexicanos y por ende de la mayor demanda que se requiere del recurso hídrico para satisfacer las actividades domésticas, industriales, comerciales y agrícolas; que en conjunto son traducidas como una sobreexplotación de los mantos acuíferos y una degradación de las cuencas, añadiendo a éstas, la presente contaminación que el hombre realiza en los cuerpos hídricos y los efectos adversos que el cambio climático ha ocasionado en el mundo, conforman la problemática que se enfrenta.

En México el uso del agua se conforma con un 77% en la agricultura cuyo destino es utilizado para el riego de cultivos, en abastecimiento público el 14%, 5% en termoeléctricas y solo el 4% en la industria; la utilización del agua es necesaria para el desarrollo de productos naturales y la elaboración de productos en

fábricas (INEGI, 2018). La seguridad hídrica en suelo mexicano se requiere con grado de urgencia, buscando estrategias que logren brindar elementos capaces de contribuir en el desarrollo y crecimiento del país, ya que gestionando el recurso agua se traduce como una capacidad mayor en la recuperación de este, garantizando estabilidad en el momento y una seguridad eficaz en el futuro.

Una de las alternativas identificadas en garantizar seguridad hídrica se encuentra en la controversia de la valoración del recurso hídrico, ya que se necesita un planteamiento claro y bien definido sobre los temas culturales que los individuos presentan así como la forma de ver al mundo, para poder presentar una política de precios que engloben los aspectos económicos de los costos de recuperación del recurso, con ello se podría influenciar el desempeño que el recurso presenta en la gestión de demanda por sectores de la economía así como la eficiencia en la distribución óptima del líquido.

En el análisis de la asignación eficiente del agua es necesario hacer diversas consideraciones que involucren la definición de actividades alternativas en los diferentes sectores de la economía con el objeto de que el recurso agua reporte los mayores rendimientos económicos.

Cuando la asignación se realiza en el sector agrícola, es importante considerar el contexto de la asignación del agua, en lo que se refiere a las políticas agrícolas vigentes, las acciones de investigación y resultados disponibles para su uso en la agricultura, las condiciones de mercado para los diversos cultivos que se pueden seleccionar, el marco legal vigente que regula el uso del recurso y las restricciones institucionales, entre otras.

Este panorama se aplica a las actividades agrícolas que se desarrollan en el Distrito de Riego 011, de Celaya, Guanajuato. Está ubicado en el corredor del Bajío y va desde el municipio de Celaya hasta Romita, Gto., atravesando el sector más poblado y más industrializado del estado de Guanajuato, México.

Es un distrito con 11 módulos de riego (asociaciones de usuarios del agua) que reciben el agua en bloque por parte de la Sociedad de Responsabilidad Limitada, que a su vez la recibe de igual manera por parte de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Estos módulos en total están integrados por 26611 usuarios del agua, mismos que la usan para producir diversos cultivos, que van de granos básicos, hortalizas y algunos cultivos perennes en un poco más de 110 mil hectáreas de riego (Jefatura del DDR 011, 2018).

Hay diversas metodologías para valorar el agua (Young. R. 2015) que se han aplicado con ese objetivo en diversas situaciones. El conocimiento de la valoración del agua, aporta información valiosa para los tomadores de decisiones para asignar de manera eficiente el recurso y planificar con más elementos las actividades agrícolas en el área de estudio, para obtener mejores resultados. Con esta información es posible tomar mejores decisiones de financiamiento, así como de asignación del recurso entre sectores para procurar los mejores beneficios económicos, sociales y ambientales, previniendo la sobre explotación y garantizando el uso sostenible.

Así mismo, aporta elementos para la definición de políticas de precios del en el sector y entre usuarios, contribuye con información para el desarrollo de mercados de agua y genera mecanismos de asignación.

No reconocer el valor económico del agua conduce a un uso excesivo ya un desperdicio del recurso lo que se traduce en un daño al medio ambiente. Por lo tanto la valoración del agua como un bien económico, permite no solo su utilización en las actividades económicas más redituables, sino que, es una contribución a la protección del medio ambiente, evitando daños ecológicos irreversibles.

El Programa Nacional Hídrico (2014) señala que el agua se ha utilizado de manera intensiva en diversas actividades productivas, lo que ha ocasionado sobreexplotación tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas con el consecuente deterioro de los ecosistemas por las disminuciones en los escurrimientos y también reconoce que esa manera de utilizar el agua condujo a un sobre concesionamiento del agua en cuencas y acuíferos del país.

Aceptar por parte de los usuarios del agua, que el agua tiene valor y que esta aceptación y reconocimiento se traduzca en una disposición a pagar por su utilización en las actividades productivas, posibilita la creación de un marco para construir políticas y generar instrumentos económicos que permitan la transferencia del recurso de las actividades menos productivas a las más productivas, es decir, generar la posibilidad de reasignar el agua a las actividades donde el este recurso tenga mayor productividad.

En esta investigación se aplicó una metodología normativa para evaluar la productividad del agua en el marco de la nueva política agrícola y de acciones encaminadas a mitigar el cambio climático.

1.1. Planteamiento del problema

La sobreexplotación de los pozos es uno de los principales problemas, ya que provoca un agotamiento prematuro de los mismos, además se deteriora su calidad, aumenta la dureza y se filtran aguas azufrosas en ellos (ARAGÓN, 2009).

El contexto actual en el DDR 011 Celaya, Gto., caracterizado por la sobre explotación de los acuíferos que lo abastecen, el continuo aumento en los volúmenes de agua que demandan las actividades productivas y la creciente población mayoritariamente urbana, aunados a la escasez de nuevas fuentes de abastecimiento han originado una situación en la que optimizar la extracción, distribución, aprovechamiento y disposición del agua se constituye en premisa indispensable para lograr el desarrollo sostenido, al mismo tiempo el aumento de la presencia de eventos climatológicos extremos derivados del cambio climático, que han provocado en el pasado reciente, años agrícolas con escasez de agua, cuyos efectos han limitado la producción agrícola bajo riego en el Distrito y la reducido los ingresos de los productores, aumentado la volatilidad de los mismos y la merma en el bienestar de la población que depende de las actividades agrícolas, motiva a el estudio y análisis de la productividad y asignación del agua en el DR 011 Celya Gto., por lo que se requieren acciones a corto plazo,

1.2. Objetivo General

Conocer la productividad del agua en módulos del DR 011 con diferentes características en cuanto a patrones de cultivos, en condiciones de cambio de política agrícola y de aplicación de tecnologías de mitigación del cambio climático.

1.2.1. Objetivos Específicos

Conocer los probables efectos del cambio de política agrícola, específicamente con relación a los apoyos a la comercialización en la asignación del recurso agua en dos módulos de riego del DDR 011, uno con mayor concentración en cultivos básicos y el otro con más presencia de cultivos hortícolas.

Identificar los probables efectos en la asignación del recurso agua cuando se utiliza una variedad de trigo desarrollada para mitigar los efectos del cambio climático, sobre todo, con características de menor utilización de agua.

Conocer la productividad del agua en los dos escenarios descritos anteriormente.

1.3. Hipótesis

Cuando se hace presente la optimización del agua que se utiliza en la agricultura, por cada distrito de riego, se genera un uso eficiente del recurso, la estimación del valor económico del agua en diferentes escenarios de escasez contribuirá a la identificación del escenario óptimo. Las tarifas actuales de agua que son cobradas por las autoridades competentes no reflejan el verdadero valor económico del recurso

La distribución del recurso agua utilizada en la agricultura se daría de forma eficiente en mercados de agua, provocando que la zona muestre fortaleza en sus indicadores económicos ante el panorama de escasez.

2. MARCO TEÓRICO

En esta parte se presentan los conceptos de la teoría económica relevantes con el tema de la productividad del agua y su correspondencia con el precio que se paga por ella en las actividades agrícolas.

2.1. Los inicios: valor y precio

La historia de la teoría económica es en relación a la historia de la humanidad, relativamente reciente. Aunque las actividades económicas de diferente índole se han realizado en todas las culturas de la antigüedad, no fue hasta el siglo XVIII cuando se inició su sistematización.

La teoría del valor indaga acerca de los determinantes del “valor” de un bien. No es exagerado señalar que este tema es el “corazón” de la Teoría Microeconómica actual, temática que responde a los objetivos de la microeconomía que tienen que ver con la asignación de recursos escasos entre actividades alternativas o competitivas (Nicholson, 2007).

No es extraño encontrar aseveraciones en la actualidad de que el “valor” es sinónimo de “precio” de un bien, por lo que es bueno recordar que en los inicios de la teoría económica, se hacía una clara distinción entre el precio de mercado de un bien y su “valor”. Al “valor” se le identificaba con sinónimos como “importancia” y hasta “divinidad”; mientras que el precio era un concepto fijado por los humanos, mas terrenal.

En la última parte del siglo XVIII y la primera del Siglo XIX se siguió discutiendo las diferencias entre “precio” y “valor”. Concretamente Adam Smith señalaba que el “valor” de un bien se refería a su “valor de uso”, mientras que su “precio” representaba su “valor de cambio”. Smith usó para ilustrar las diferencias con la

paradoja entre el agua y los diamantes. El agua es un elemento indispensable para la vida en general, en consecuencia con mucho “valor”, registraba un “precio” demasiado bajo, mientras que los diamantes, que para con pocos usos prácticos, reflejaba poco “valor”, tenían un alto “valor de cambio”, es decir un “precio” alto. En este contexto, se le atribuyó tal diferencia, a la cantidad de trabajo requerido para producir los bienes en cuestión, de tal manera que, los bienes que requerían un mayor tiempo de trabajo para producirlos, eran los bienes que registraban los mayores “precios”, y por lo tanto se dejaba de lado lo que representaba para la determinación de los precios las fuerzas del mercado, concentradas en lo que se conoce como la ley de la oferta y la demanda (Nicholson, 2007).

En la segunda parte del siglo XIX, se tuvieron avances importantes en este debate. Se concluyó de que no era la utilidad total de un bien la que determinaba su “valor de cambio”, sino que esto le correspondía a la utilidad de la última unidad del bien consumido. Entonces aceptando que el agua es muy útil para la vida, dígase esencial, debe también reconocerse que es relativamente “abundante”, por lo que consumir un vaso de agua adicional tiene un “valor” relativamente bajo (o utilidad baja) y en cierto momento hasta pudiera representar una desutilidad después de consumir un número importante de vasos de agua.

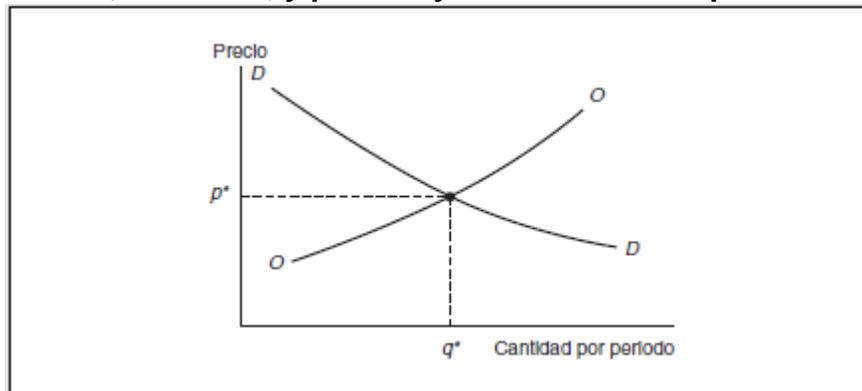
Este enfoque, de la demanda de una unidad adicional se contraponía al concepto de “valor” basado en los costos de producción en la determinación de los precios (Binger & Hoffman, 1988).

Le correspondió a Alfred Marshall el aporte que incluyó la aseveración de que es la acción conjunta de la oferta y la demanda las que determinan el precio de mercado de un bien.

En la Figura 1. (Nicholson, 2009), la curva DD representa la cantidad del bien demandado por periodo a precios alternativos posibles. La pendiente negativa

corresponde al principio marginalista que se explica por el hecho de que los consumidores querrán pagar cada vez menos por cantidades adicionales. El valor de la última unidad es el que determina el precio de todas las unidades adquiridas.

Figura 1. Oferta, demanda, y precios y cantidades de equilibrio.



Fuente: Nicholson (2011)

La curva OO muestra como aumentan los costos de producción (costos marginales), cuando aumenta el nivel de producción. De forma equivalente a la demanda, la pendiente positiva de la curva de oferta representa los costos marginales de producción crecientes a medida que aumenta la cantidad producida.

La intersección de ambas curvas determinan tanto el precio como la cantidad de equilibrio que los agentes económicos estarán dispuestos a intercambiar en el mercado (p^* y q^*). Entonces los consumidores estarán dispuestos a adquirir mayores cantidades del bien en un periodo específico, siempre y cuando el precio del bien disminuya, manteniendo los determinantes de la demanda sin cambio. En tanto los oferentes, (productores), estarán dispuestos a ofrecer mayores cantidades del bien en un periodo específico a medida que el precio del bien se incrementa, manteniendo los otros determinantes de la oferta sin cambio.

La explicación desarrollada por Marshall resuelve la paradoja expuesta entre el agua y los diamantes. Los precios reflejan el valor marginal que los demandantes le otorgan al bien en cuestión, como los costos marginales registrados en la producción de dicho bien. De esta manera se determina que el agua tiene un precio bajo porque tiene un bajo valor marginal atribuido por los consumidores y un bajo costo de producción marginal. Los diamantes tienen un alto valor marginal definido por los consumidores, así como un alto costo marginal de producción.

2.2. La economía del agua

Los mercados por conducto de la oferta y la demanda, tienen en muchas condiciones la capacidad de asignar los recursos de manera eficiente. Tanto oferentes y demandantes tendrán incentivos vía los precios para reaccionar y conseguir una cantidad de que estén de acuerdo en intercambiar. Esa es una cantidad de equilibrio. Cualquier cambio en los determinantes tanto de la demanda como de la oferta provocará cambios en esa cantidad. La economía ha identificado fallas que alejan o dificultan que la asignación de los recursos se haga de manera eficiente, a estas fallas les ha denominado fallas del mercado, mismas que son: competencia imperfecta, información imperfecta, externalidades, y bienes públicos.

En el mundo las políticas que tienen que ver con la oferta y la calidad del agua tienen efectos sobre los hogares, las fincas agrícolas, las comunidades y las empresas. En muchos países el agua a usos que tienen bajos valores; en este contexto no es sorprendente que la calidad del agua fresca se esté deteriorando cada vez más, que el agua subterránea de las cuencas se esté sobre explotando, que el agua asignada al mantenimiento de los servicios de los ecosistemas reciba

poca o nula atención, provocando inundaciones y sequías con efectos devastadores sobre la vida y las propiedades.

De acuerdo a pronósticos realizados, los efectos del cambio climático incrementaran las temperaturas y la demanda de agua resultante será cada vez mayor, lo que combinado con aumentos significativos en la variación de la oferta de agua ocasionará grandes dificultades para la vida en cuanto a la producción de alimentos y en algunos casos de energía. Los efectos del cambio climático combinados con el constante incremento de la población que demanda más agua, alimentos y energía complicarán el manejo del recurso hídrico. Esta situación motiva un mejor entendimiento por parte de las instituciones relacionadas con la gestión del agua y de los gobiernos, la comprensión del valor económico del agua, así como la importancia de su asignación a los mejores usos alternativos con el fin de aprovechar al máximo las cantidades limitadas del recurso.

2.1.1. Características del agua

El agua se distingue entre todos los recursos y las commodities por características que la hacen especial, lo que plantea importantes retos para el diseño y definición de instituciones para la asignación y la gestión del agua y también para los mercados del recurso. Dichas características se pueden agrupar en los siguientes tipos: Hidrológicos y físicos; demanda de agua, características desde las perspectivas de los usuarios; actitudes sociales hacia el agua y; consideraciones institucionales, legales y políticas. Dichas consideraciones explican que el agua no sea valorada en los mercados tradicionales y generalmente la falta de precios apropiados afectan de manera importante su uso, lo que hace que sea necesario el diseño de instituciones gubernamentales y un conjunto de reglas para regular el acceso al recurso, o de lo contrario el incremento en su agotamiento y deterioro será cada vez mayor e irreversible.

Un elemento cada vez más presente en la toma de decisiones para regular el acceso al agua, es el criterio económico, para lo cual se hace necesario estimar precios de mercado, o lo que en economía se denomina “precios sombra” para guiar la asignación eficiente del agua y orientar en las decisiones de inversión en el sector (Young, R. and Loomis, J., 2014).

2.7.1.1 Atributos físicos e hidrológicos del agua

a) El agua es móvil. Generalmente se encuentra en estado líquido, el agua fluye, se evapora y se filtra, cumpliendo con el ciclo hidrológico. Mover agua de un sitio a otro, es complicado y costoso. También la estimación de su disponibilidad y medición. Debido a esta característica en economía se le denomina recurso de “altos costos de exclusión”, por lo que los derechos de propiedad que constituyen la base del mercado son difíciles y caros de establecer y de hacer cumplir. Es costoso excluir a usuarios adicionales;

b) La oferta tiende ser altamente variable. Es un recurso renovable, y la oferta de agua cruda en su mayoría está fuera del control humano, constituye una variable impredecible en el tiempo, el espacio y la calidad. Está relacionada con las estaciones del año. El cambio climático ha incrementado esta volatilidad ocasionando inundaciones y sequías afectando de manera importante a la población y a las actividades económicas, particularmente las agrícolas;

c) El agua es un solvente casi universal. El agua provee una capacidad barata para absorber desperdicios y contaminantes, además los diluye y los transporta a otros lugares (genera externalidades);

d) La interdependencia entre los usuarios es generalizada. Cuando el agua se emplea en cualquier actividad raramente se usa por completo, ya que una parte regresa a la corriente. Cuando se emplea en los cultivos, un porcentaje importante regresa a la escorrentía superficial aguas abajo o al subsuelo. Lo

mismo ocurre con los usos municipales e industriales, pero en mayores cantidades. Los usuarios aguas abajo resultan afectados por los usuarios aguas arriba en cantidad, calidad y temporalidad relacionadas con el uso. Esta interdependencia da lugar a lo que se denomina externalidades (Nicholson, 2007; Varian 2010), los cuales son efectos no compensados por las actividades económicas individuales. Esto aleja de la eficiencia el uso del recurso, al menos que las instituciones gubernamentales definan reglas que conduzcan a resultados eficientes;

e) La infraestructura para la oferta presenta economías de largo plazo. La captura, el almacenamiento y la distribución (entrega) (agua superficial) del agua presentan economías de escala, lo cual significa una disminución de los costos medios a medida que aumenta la escala de la producción (Varian, 2010) ;

f) Las aguas subterráneas tienen atributos distintivos. Son grandes abastecedores del agua que se consume en el mundo. Es difícil evaluar su cantidad y su calidad. Las economías de producción se obtienen relativamente en pequeñas cantidades, pero eso se puede contrarrestar por el aumento de los costos del bombeo y por las acciones de otros usuarios que reducen el nivel del manto freático;

g) El agua es un producto voluminoso. En general el valor económico por unidad de peso o por el volumen del agua, tiende a ser relativamente bajo, como los bienes que se denominan “voluminosos” (bulky). El capital y los costos de energía para la transportación, elevación y almacenamiento tienden a ser muy altos con relación al valor económico en el sitio de uso. Aunque el agua es un bien de bajo costo, por lo general los precios que se le asignan están por debajo de los costos de oferta o costos de oportunidad, en prácticamente todos sus usos.

2.1.2. Demanda de agua desde las perspectivas de los usuarios

Estos atributos se identifican debido a los diferentes beneficios que se obtienen del agua. Una tipología de la demanda de agua se basa en sus usos finales: municipal, industrial, irrigación (agricultura) y medioambiental (flujos e corrientes para pesca recreacional, paseo en botes y mantenimiento de ambientes naturales).

La demanda municipal tiene que ver con uso en los hogares. Esta es relativamente estable y predecible en el tiempo. La demanda para mantenimiento de céspedes en jardines y áreas deportivas varía estacionalmente. Las necesidades de riego dependen de la temperatura y de los patrones de lluvia de las estaciones. La demanda de agua industrial varía dependiendo del día de la semana y de consideraciones estacionales. En estos casos con adecuados sistemas de almacenamiento y de instituciones de gestión robustas pueden prepararse para hacer frente a los picos en demandas del recurso.

Los usos del agua para beber, cocinar y saneamiento, así como la usada para actividades en fincas agrícolas y en negocios comerciales e industriales, son usos que están dentro del ciclo hidrológico natural también llamado “offstream” y tiene que ver con sacar agua de un reservorio. Estos usos llevan consigo una pérdida parcial por evo transpiración o evaporación y se conocen como “usos consuntivos”.

Otros usos para los cuales no se requiere retirar el agua del reservorio y del sistema hidrológico natural, se llaman usos de agua “instream”, involucran pocas o nulas pérdidas como la generación de energía eléctrica, y usos como vía de transporte y se conocen como usos “no consuntivos”. Aunque estos usos no requieren el consumo del agua, en muchas ocasiones entren en rivalidad o competencia con bienes privados. No tener rivalidad, significa que el uso de un usuario de ese recurso, no disminuye la cantidad disponible para otros.

2.1.3. Actitudes sociales hacia el agua

A diferencia de la mayoría de las mercancías, los valores sociales y culturales del agua entran frecuentemente en conflicto con los valores económicos. Dado que el agua es esencial para la vida y porque la limpieza y la sanidad son esenciales para la salud humana muchos argumentan que los mecanismos de mercado son inapropiados para asignar el agua y que se deberían aplicar otros mecanismos de regulación.

El reconocimiento por organismos internacionales de esa realidad quedó establecido en la conferencia de Dublín cuando se señaló en uno de sus principios guías que “.es vital reconocer primero que el derecho básico de todos los seres humanos es tener acceso a agua limpia y saneamiento a un precio asequible” (ONU, 1992).

Para muchos, el agua tiene valores culturales especiales, religiosos y sociales, y prefieren no tratar el agua como una mercancía con valor económico. En consecuencia no tienen en su horizonte las metas de la eficiencia económica con el recurso agua. Rechazan intuitivamente poner un precio a este recurso que es esencial para la vida y algunas culturas y religiones prohíben que el agua se asigne por las fuerzas del mercado. Sin embargo, ese enfoque, oculta el hecho de que en la mayoría de los países se usa solo una pequeña parte del agua para beber y para preservar la vida humana.

2.1.4. Consideraciones institucionales, legales y políticas

Un importante número de consideraciones que se aplican en el diseño de políticas de agua están en los límites de las ciencias económicas y políticas o economía política.

Costos de transacción versus escasez relativa del agua. El concepto de “costos de transacción” a los recursos requeridos para establecer, operar y hacer valer una asignación de recursos, administración o la aplicación de un sistema regulatorio. Estos costos comprenden los costos de obtener información (acerca de las necesidades y actitudes de otros participantes), los costos de contratación (recursos necesarios para alcanzar acuerdos) y costos de aplicación (costos para hacer cumplir contratos, leyes públicas y regulaciones) por sus siglas en inglés costos “ICE”. Dadas las características de la oferta y la demanda del agua ya comentadas, (sobre todo la interdependencia entre usuarios), los costos de transacción para la administración y la asignación del agua tienden a ser bastante altos con relación a su valor.

Dependiendo de las interrelaciones entre oferta y demanda del agua hay más condiciones para ser tratados por mercados (usos industrias), por los gobiernos (corrientes internas “instream”), y algunas que podrían ser tratados con otro tipo de instituciones como las asociaciones de usuarios del agua (distritos y unidades de riego). Para evitar la tragedia de los comunes (Hardin, 1968), asociado con características de rivalidad y exclusión, se requiere limitaciones a los intereses individuales de los usuarios. El gobierno puede decidir cómo internalizar las externalidades, basado en si el acuífero esta administrativamente en una o varias jurisdicciones políticas. La autoridad del agua puede regular la extracción de agua de un acuífero por medio de un conjunto de reglas para definir el número de extractores y el promedio de extracción por individuo. Si los costos de transacción son relativamente bajos y son pocos los usuarios, resulta relativamente sencillo llegar a acuerdos para autorregularse a través de reglas y normas formales e informales.

Impacto acumulado de muchas pequeñas decisiones. Los diseñadores de política del agua, en muchas ocasiones se enfrentan a lo que se ha llamado “la tiranía de las pequeñas decisiones”, mismas que se presentan en ausencia de mercados o de otros mecanismos de racionamientos. Aunque cada hecho

individual con relación al uso del agua, tomado aislado puede tener un efecto imperceptible, la acumulación de estas acciones puede expresarse en resultados de mucha relevancia. Se pueden enumerar varios casos: la acción individual de usuarios del agua de extracciones en un acuífero determinado; la aplicación de agroquímicos realizada por un sin número de pequeños productores agrícolas; la cosecha de pequeñas áreas forestales realizadas por actores individuales sobre los sedimentos y la erosión. En estas condiciones resulta difícil aplicar una regulación pública efectiva por lo disperso de los actores, pero sin duda se requiere.

2.3. El papel de la valoración económica en la admiración del agua

El reconocimiento hecho en la reunión de Dublín acerca de la definición del agua como un bien económico, no significa que necesariamente deba usarse el instrumento del mercado para asignar el agua, debido fundamentalmente a la existencia de fallas del mercado, como ya ha sido mencionado anteriormente (presencia de externalidades, bienes públicos como servicios eco sistémicos, y costos de producción decrecientes), hacen que los mercados sean aplicables en un número limitado de situaciones. Más bien, esa declaratoria invita a que las políticas que tengan que ver con la asignación del agua se analicen aplicando técnicas de valoración económica (análisis beneficio-costos) justificando el marco de referencia, así como los procedimientos usados.

La estimación del valor del agua, proporciona información que no está disponible debido a la ausencia de mercados; el manejo económicamente eficiente de una cuenca, mide los beneficios económicos o de valores monetarios de los cambios en la disponibilidad del agua. Estas acciones deberían aplicarse a inversiones para capturar, almacenar, distribuir y tratar nuevas ofertas de agua. Los valores marginales del agua pueden ser de utilidad para establecer precios que

contribuyan a la recuperación de las inversiones hechas para aumentar la oferta de agua en na región o en un sector de la economía. El conocimiento del valor del recurso agua aporta elementos para reasignar el agua entre sectores competitivos en el mediano plazo, lo que es un instrumento para diseñar acciones para mitigar los efectos del cambio climático.

Hay grandes proyectos que deberían ser analizados con criterios de factibilidad económica como los que tienen que ver con la inversión en infraestructura de instalaciones de abastecimiento, almacenamiento y transporte de agua, en este caso se sugiere calcular la estimación del valor presente neto de los beneficios (VPN), la hipótesis que se establece es que este valor es positivo.

La creciente competencia intersectorial por el agua, motivada por el incremento en la población (y sus cambios de composición de rural a urbana) los cambios climáticos y sociales modifican la demanda de agua traerán cada vez con más énfasis la necesidad de considerar la reasignación del recurso desde los usos de bajos valores a los usos de mayores valores. El uso del agua para regar cultivos, es el uso que se reporta como el que concentra la mayor cantidad de agua en el mundo (FAO, CONAGUA) y aunque en general presenta valores marginales relativamente bajos. Otras fuentes de incremento de la demanda de agua los constituyen los usos residenciales, industriales y comerciales, todos ellos usos consuntivos.

Es importante señalar que los usos no consuntivos como la generación de energía eléctrica y el agua para servicios ecosistémicos tales como dilución de desperdicios, recreación, biodiversidad y conservación de hábitats de peces y vida silvestre se están incrementando, en algunos casos por disposiciones legales. Otras consideraciones, como los costos crecientes de la energía y el capital, así como el reconocimiento de los beneficios ambientales perdidos representan consideraciones adicionales de escasez. La combinación de estos factores fomenta la búsqueda para que las ofertas disponibles de usos de agua,

cuyo valor económico marginal es menor que el costo de desarrollar nuevas ofertas.

Proponer una reasignación del agua entre sectores debería estimar las pérdidas en el sector donde el agua es menos productiva y compararlas con las ganancias del sector a donde se destina, expresadas en términos monetarios. Otra condición, es que los beneficios directos perdidos en el sector de origen, debería ser la última fuente de costo para el sector que compra el agua. Es decir, se debería asignar el agua según su costo de oportunidad (Nicholson, 2007).

El análisis económico de estas acciones involucra pues, la estimación de beneficios marginales o incrementales y de los beneficios perdidos por los cambios en la oferta o uso del agua.

No solo los cambios en la disponibilidad del agua influyen en su valor económico, sino también su calidad. El agua en su recorrido y dependiendo de la fuente acarrea con diferentes tipos de contaminantes, que no la hacen apta para el consumo humano en la manera como está disponible. La superficial por el proceso natural de erosión de los suelos, por lo que transporta, tierra impurezas, plantas y animales. Para su eliminación, se usan cuerpos receptores, con el objetivo de que el agua pueda ser usada en actividades de producción y consumo. Existen concentraciones de micro organismos y componentes disueltos o en suspensión en varios niveles; cuando es muy alto afecta la salud y las actividades productivas. El tratamiento de estas aguas para ponerlas aptas para su uso, involucra costos, por lo que requiere estimar su valor económico. Esta estimación de los beneficios de las mejoras en la calidad del agua plantea complejos y desafiantes aspectos de política. Se requiere conocer la disposición a pagar (WTP por sus siglas en inglés) de pretender aplicar estos proyectos de los daños evitados por los siguientes usuarios del recurso.

Para que pueda haber reasignaciones de agua entre sectores y entre usuarios del agua individuales, debe existir un contexto legal que tenga bien definidos los derechos de agua y estén plenamente reconocidos, es decir, debe existir un “sistema para la titulación formal y el registro de esos derechos” (FAO, 2004). En México la Ley de aguas considera esos instrumentos y permite la transferencia de los derechos, además considera la existencia de un Banco de Agua (SEMARNAT, 2017).

Políticas para mitigar o aliviar los daños por inundaciones. Las inundaciones dañan las propiedades, interrumpen la actividad económica, causan lesiones y muertes cada año. Se señala que las inundaciones causan más daños y muertes a la humanidad que cualquier otro fenómeno natural. Esto ha motivado a muchos gobiernos a diseñar programas para enfrentar inundaciones, con el objeto de minimizar los daños en la producción y en la población. Los beneficios de dichos programas los constituye la reducción de riesgos de inundaciones. Los efectos del cambio climático se han manifestado en mayores riesgos de inundaciones, por lo que se requiere estimar los beneficios económicos de la reducción de los riesgos de las inundaciones a medida que se incrementan los efectos del cambio climático. Los beneficios de los proyectos para reducir las inundaciones se miden generalmente como la diferencia entre las pérdidas esperadas por la inundación con y sin intervención.

Es importante reconocer la problemática en general que se presenta en la gestión del agua. Dado el gran número de usuarios de diferente naturaleza y de instituciones relacionadas con la administración del agua, en el sector hídrico se presentan en su gestión, una variedad de brechas que dificultan su adecuada gobernanza, además de la diversidad de externalidades que genera. Por la complejidad en su manejo, operación, financiamiento y características de tipo administrativo y de otra naturaleza se ha desarrollado una metodología por parte de la OCDE (2012), para estudiar la gobernanza del agua y así enfrentar

situaciones extremas que se presentan cuando hay mucha agua, poco agua o agua muy contaminada.

En relación con la contaminación del agua atribuida a descargas se presenta una cadena de eventos que se registran para la producción de beneficios por mejorar la calidad del agua. La reducción de las descargas de agua contaminada con varios componentes (sólidos suspendidos, toxinas, bacterias, mezcla de químicos de diferente naturaleza y otros) provoca cambios en las características de los indicadores físicos y químicos de la calidad del agua (oxígeno disuelto, temperatura, turbidez, olor, cantidad y calidad de nutrientes, pH, así como otros químicos); además provoca cambios en los indicadores biológicos de la calidad del agua (afecta a las poblaciones de peces, algas, zooplancton y bacterias). Ambos cambios transmiten modificaciones en cuerpos de agua en la oferta de agua para uso humano (agua de uso residencial, industrial, irrigación, etc.) en las pesquerías, en el agua destinada a la recreación. Todo lo anterior repercute en las valoraciones que hacen los humanos del agua y de los recursos, productos y servicios que se relacionan con ella y que se expresa y se mide en unidades monetarias (Freeman III, et al., 2014).

La toma de decisiones racionales presupone la previsión de consecuencias y la asignación de valores para esas consecuencias. En la mayor parte del mundo, no existen mercados de agua que proporcionen precios competitivos y que permitan asignar el recurso de manera eficiente, por lo que es necesario estimar los precios sombra o precios de oportunidad del agua, de tal forma que aporte elementos para conocer el nivel de eficiencia de la asignación del recurso.

2.4. El valor económico versus otros conceptos de valor

Las metodologías de valoración desarrolladas en economía, buscan medidas monetarias de las pérdidas en el bienestar debido a los cambios en la oferta de

agua o por el en agua degradada o contaminada. El uso del dinero como patrón de medida, facilita las comparaciones con los costos monetarios de inversión y con valores de los usos alternativos que también se expresan en las mismas unidades. Los conceptos que se han desarrollado en la teoría económica que se usan como medida de los cambios en el bienestar, es la disposición a pagar (WTP por sus siglas en inglés) y la disposición a aceptar (WTA por sus siglas en inglés) por dichos cambios. Los recursos que tienen un valor económico o que producen beneficios, los usuarios deberían estar dispuestos a pagar un precio por su uso o bien estar dispuestos a aceptar una compensación por su no uso. La operación efectiva de los mercados produce un conjunto de precios los cuales sirven para asignar los recursos y mercancías en una manera consistente con los objetivos de los consumidores y los productores. En muchas ocasiones por su abundancia, el agua ha sido considerada como un bien “libre”; últimamente los arreglos institucionales para administrar la escasez del agua han atendido serias preocupaciones.

Cuando los mercados de agua no existen, o bien están distorsionados, la valoración de las decisiones para la asignación de recursos requiere la aplicación de medios “sintéticos” para estimar el valor del recurso. El valor del recurso se mide en el contexto de objetivos específicos; el valor de los recursos refleja su contribución a esos objetivos. Para los recursos hídricos, los gobiernos han identificado varios objetivos: incrementar el desarrollo económico nacional, mejorar el desarrollo económico regional, mejorar la calidad ambiental y mejorar el bienestar social.

Hay otra clasificación de los enfoques para la valoración de los recursos naturales, en adición a los arriba mencionados: los extrínsecos y los intrínsecos. Esta distinción descansa en si las bases para la evaluación deriva en consecuencias para la vida humana. Los valores extrínsecos son aquellos que surgen debido a las posibles utilidades para obtener algún valor para los humanos (los recursos hídricos pueden ser valorados en su contribución a la

salud humana, al bienestar o a las satisfacciones humanas, en la obtención de bienes o servicios). Los valores intrínsecos, por el contrario, se asignan a cosas, acciones o resultados, por su propia existencia, independientemente de su aporte a la satisfacción o bienestar de los humanos.

2.5. El criterio económico para la asignación de recursos y la valoración

La adecuada utilización del agua puede tener múltiples objetivos, pero aquí lo importante es analizar los requisitos para alcanzar el objetivo de la eficiencia económica en el desarrollo, asignación y administración de la oferta y la calidad del agua. Hay dos razones fundamentales para eso: la primera, bajo condiciones de incremento de la escasez y aumento de competencia entre usuarios del agua la maximización de los beneficios netos de una cantidad dada de agua conduce a incrementar objetivos sociales importantes; en algunos casos esa información puede ser de utilidad para ayudar a solucionar conflictos de agua pública. Segundo, en un marco de referencia más amplio con criterios múltiples, la eficiencia proporciona medios constructivos para evaluar los costos de oportunidad de objetivos alternativos.

La valoración del agua a través del tiempo ha ido incorporando criterios, principios y enfoques cada vez más sofisticados. Una idea central fue que el agua que se usa en bienes privados podría considerarse como una mercancía; por lo que el diseño de instituciones (mercados de agua, bancos de agua) que favorecieran el intercambio, podrían usarse de manera garantizada como mecanismos de asignación. Se afirmó que los bajos precios del agua, creaban una demanda artificial por agua de usos urbanos, industriales y agrícolas, lo que implica que lo que se entendió como grandes necesidades de agua, en realidad eran necesidades de agua barata.

2.6. Métodos de valoración del agua

Se reportan 17 métodos para valorar el agua, cada uno con fortalezas y debilidades y para usarse en usos específicos del agua. Young R. and Loomis (2014), proponen una clasificación para medir los valores económicos de los usos del agua, basada en dos grupos: la primera en si se usa en bienes y servicios públicos y privados y la segunda se usa métodos cuantitativos inductivos o deductivos.

Entre los métodos inductivos que Young R. and Loomis (2014) enumeran 11, y son: observaciones de transacciones de mercados de agua; estimaciones econométricas defunciones de producción y de costos; estimaciones econométricas de funciones de agua municipal; el método del costo de viaje; el método del valor hedónico de las propiedades; el método de la conducta defensiva; el método del costo del daño; el método de valoración contingente; modelos de elección; transferencia de beneficios; función de la transferencia de beneficios/meta análisis.

Los métodos deductivos (ídem) incluyen: método residual básico; cambio en las rentas netas; programación matemática; valor añadido; modelos de equilibrio general computable y; costo alternativo.

Cada método de los enumerados requiere datos específicos y se usa para valorar el agua con un determinado enfoque.

2.7. Programación matemática

La aplicación de la programación matemática en la agricultura, concretamente la programación lineal, tiene su origen en los intentos por modelar la producción agrícola desde mediados del siglo pasado. Los agricultores, agrónomos y otros especialistas agrícolas usaron una manera común de expresar tanto los insumos como los productos agrícolas en forma de cultivos anuales, en coeficientes de producción relacionados a superficies como acres o hectáreas. De la misma manera, los insumos aplicados se expresan en unidades definidas y relacionadas a la unidad de superficie. Los temas relacionados con los costos se desagregan en mano de obra, maquinaria, animales de tiro, costos de fertilizantes y crédito, como ya se dijo, por unidad de superficie. Vista así la producción agrícola permite construir vectores y matrices con insumos, productos, costos e ingresos, es la columna vertebral de los modelos de programación.

La necesidad de expresar los modelos en términos de restricciones de desigualdad, ya sea como restricciones de máximo o de la disponibilidad estacional de los recursos, permite plantear en el modelo, la posibilidad de que existan sobrantes de recursos en algunos periodos, mientras que en otros pueden registrarse faltantes. Esta manera de ver la producción agrícola es apropiada para la aplicación de los modelos de programación.

Los modelos de programación matemática tienen mucha utilidad para calcular las probables implicaciones de diferentes condiciones de mercado, tanto para productos como para insumos agrícolas; los probables efectos de nuevas tecnologías; probables efectos en el uso de insumos de políticas públicas y otras acciones incluyendo restricciones de mercado e institucionales, por ejemplo.

Los cálculos involucran variaciones paramétricas que se usan para generar funciones respuesta. Algunos ejemplos son: sustitución entre insumos, funciones de oferta respuesta, asociadas a la aplicación de instrumentos de política

agropecuaria particulares. Se han desarrollado tanto de técnicas de modelación de micro nivel (fincas), como de macro nivel (sector). El planteamiento de muchos modelos involucra el uso combinado de ambas para modelar y obtener los resultados esperados.

2.7.1. Programación lineal

La construcción de un modelo de programación lineal para una finca dada requiere de la especificación de (Hazell, P. and Norton R., 1986):

1. Las actividades alternativas, su unidad de medida, sus fuentes de requisitos y restricciones específicas de producción.
2. Las restricciones de recursos fijos de la finca.
3. Los ingresos netos de costos variables pronosticados para las actividades (márgenes brutos)

2.7.1.1 Problema primal

El problema de programación lineal puede escribirse de la siguiente manera:

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

Sujeta a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i, \quad \text{para todo } i=1 \text{ a } m \quad 2$$

Y

$$X_j \geq 0, \quad \text{para todo } j=1 \text{ a } n \quad 3$$

Donde:

X_j = Es el nivel de la j-esima actividad de la finca, como la cantidad de hectáreas a sembrarse de sorgo.

C_j = son los márgenes brutos pronosticados (también llamados precios netos), de la j-esima unidad de actividad (pesos por hectárea).

A_{ij} = es la cantidad del i -ésimo recurso (días de trabajo, horas máquina, metros cúbicos de agua, etc.) requeridos para producir una unidad de la j -ésima actividad. Se denota con m el número de recursos, por lo que $i=1$ a m .

b_i = es la cantidad del i -ésimo recurso disponible (jornales, metros cúbicos de agua, etc.)

Expresado en palabras, el problema consiste en encontrar un plan (definido por un conjunto de niveles de actividad para X_j , $j= 1$ a n) que tenga los mayores márgenes brutos Z , sin violar ninguna de las restricciones expresadas en 2 y 3. Este problema expresado de esta manera se le conoce como el problema primal de programación lineal.

En el planteamiento práctico del problema a la ecuación 1, se le denomina función objetivo, a las restricciones se les llama hileras y a las actividades columnas. A la oferta de recursos fijos b_i , se les denomina el lado derecho de la ecuación (RHS, por sus siglas en inglés), mismas que deben especificar el tipo de relación menor o igual (\leq), mayor o igual (\geq), y también es posible que sea de igualdad ($=$).

Generalmente las restricciones de no negatividad expresada por el vector 3 no se incluyen cuando el problema es procesado por un software comercial.

Los supuestos de la programación lineal. Hay un número de supuestos que se emplean en la programación lineal que tienen que ver con la naturaleza de la producción y aspectos económicos relacionados. A continuación, se presentan:

Optimización: Se asume que una apropiada función de utilidad es maximizada o minimizada

Fijeza: Al menos una restricción tiene un coeficiente distinto de cero

Finitud: Se asume que hay una cantidad finita de actividades y restricciones consideradas para obtener la solución.

Determinismo: Todos los coeficientes de las variables en el modelo se asumen ser constantes

Continuidad: Se asume que tanto los recursos que pueden ser usados como las actividades producidas puedan ser cantidades fraccionales.

Homogeneidad: Se asume que todas las unidades de un mismo recurso o actividad son idénticas

Aditividad: Se asume que las actividades son aditivas, es decir que el producto total es la suma de los productos individuales.

Proporcionalidad: Se asume que el margen bruto y los requisitos de recursos por unidad de actividad son constantes para cualquier nivel de actividad. Un margen bruto constante por unidad de actividad implica una curva de demanda elástica para el producto y un abastecimiento perfectamente elástico de cualquier input que pueda ser usado. Los requisitos de recursos constantes por unidad de actividad son equivalentes a una función de producción de Leontieff.

$$x_i \geq 0 \quad (A.4)$$

Donde: p es el vector de los precios de cada actividad; x es la variable de decisión, el nivel de cada actividad a producir; c es el vector de los costos asociados a producir una actividad. Se tienen las mismas restricciones estructurales, limitadas por la cantidad de recursos disponibles (A.2) y la condición de no-negatividad (A.4) al ser un modelo calibrado existe una nueva restricción de calibración (A.3), \tilde{x} es el vector de nivel de producción observado y ε es una perturbación mínima, con esta restricción se busca que el modelo reproduzca el nivel de producción del año o periodo base. La perturbación (ε) es una tolerancia al desacoplamiento la cual tiende a cero y es positiva.

Donde

$$Z = \sum_j c_j X_j$$

Y los coeficientes c_j son constantes, sigue que

$$kZ = \sum_j c_j (kX_j)$$

Así, si la oferta de los factores fijos se incrementa por un factor de proporcionalidad k , entonces los niveles óptimos de la actividad también se incrementa por k . Si todos los factores de la producción se duplican, entonces los niveles óptimos de actividad en la solución óptima, también se duplicarán, así como el valor óptimo de la función objetivo Z . En la programación matemática, se aplican rendimientos constantes a escala.

Una propiedad importante de las funciones de producción que muestran rendimientos constantes a escala, es el teorema de Euler, el cual señala que en condiciones de rendimientos constantes a escala, si a cada insumo se le paga de acuerdo a su contribución definida por el producto marginal, el producto total, será distribuido exactamente por la participación de todos los insumos, en otras palabras, la ganancia económica pura, será cero (Chiang, A. 2006)

2.7.1.2 La dualidad

Un aspecto esencial es que para cada problema primal existe un problema dual y si este tiene solución óptima sus valores son iguales (Kaiser, H.. M.& Messer, K. D., 2011) . Es posible especificar un modelo de programación lineal para encontrar los precios sombra óptimos de los recursos escasos. Se usará λ_i para

denotar el precio sombra del i -ésimo recurso fijo, relacionando esto con las ecuaciones de 1 a 3 se puede definir como:

$$\min W = \sum_{i=1}^m b_i \lambda_i \quad 4$$

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} \lambda_i \geq c_j \quad \text{para todo } j = 1 \text{ a } n \quad 5$$

Y

$$\lambda_i \geq 0, \quad \text{para todo } i = 1 \text{ a } m \quad 6$$

Los precios sombra λ_i algunas veces se les denomina multiplicadores de Lagrange.

Por ejemplo, si el problema es:

$$\max Z = c_1 X_1 + c_2 X_2 + c_3 X_3$$

sujeto a:

$$a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + a_{13} X_3 = b_1$$

$$a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + a_{23} X_3 = b_2$$

Lagrange demostró que su solución óptima es la misma que la solución al siguiente problema que no tiene restricciones:

$$\max \quad \mathcal{L} = \{c_1 X_1 + c_2 X_2 + c_3 X_3 + \gamma_1 (b_1 - a_{11} X_1 - a_{12} X_2 - a_{13} X_3) + \gamma_2 (a_{21} X_1 - a_{22} X_2 - a_{23} X_3)\}$$

En su honor a \mathcal{L} función Lagrangiana y a las variables γ_1 , se les llama multiplicadores de Lagrange. La solución numérica al problema al problema Lagrangiano puede encontrarse con los métodos clásicos de cálculo. Se obtienen las derivadas parciales de la función \mathcal{L} y se igualan a cero, como sigue:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial X_1} = c_1 - a_{11}\gamma_1 - a_{21}\gamma_2 = 0 \quad 7.1$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial X_2} = c_2 - a_{12}\gamma_1 - a_{22}\gamma_2 = 0 \quad 7.2$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial X_3} = c_3 - a_{13}\gamma_1 - a_{23}\gamma_2 = 0 \quad 7.3$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \gamma_1} = b_1 - a_{11}X_1 - a_{12}X_2 - a_{13}X_3 = 0 \quad 7.4$$

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \gamma_2} = b_2 - a_{21}X_1 - a_{22}X_2 - a_{23}X_3 = 0 \quad 7.5$$

La a las cinco variables X_1 , X_2 , X_3 , γ_1 y γ_2 , se obtienen con una solución simultanea de las cinco ecuaciones anteriores. De esta manera la solución al problema se reduce a un problema de ecuaciones simultáneas.

El conjunto de ecuaciones anterior se descompone en dos sub conjuntos. El primero compuesto de las tres primeras, esta sobre determinado. El segundo que lo integran las dos últimas, esta subdeterminado. En general esto ocurrirá con el método Lagrangiano a menos que el número de restricciones sea igual al número de variables.

Las tres primeras ecuaciones (7.1 – 7.3), son equivalentes a las restricciones del dual de las ecuaciones 5. De manera similar las ecuaciones 7.4 y 7.5 son equivalentes a las restricciones del primal de las ecuaciones 2. De manera intuitiva estas equivalencias sugieren en la optimización las variables λ_i de 7.1 a 7.3 son las variables duales o precios sombra.

Un siglo después H. Kuhn y A. W. Tucker, generalizaron el método Lagrangiano aplicado a problemas con restricciones de desigualdad. Ellos desarrollaron las condiciones que caracterizan solución del problema primal de 1 a 3 como sigue (Hazell & Norton 1986; Henderson & Quant, 1980):

$$\frac{\partial \mathcal{L}_p}{\partial X_j} = c_j - \sum_i a_{ij} \gamma_i \leq 0 \quad 8$$

y

$$\frac{\partial \mathcal{L}_p}{\partial \gamma_i} = b_i - \sum_j a_{ij} X_j \geq 0 \quad 9$$

Donde \mathcal{L}_p es el Lagrangeano del problema primal

$$\mathcal{L}_p = \sum_j c_j X_j + \sum_i \gamma_i \left(b_i - \sum_j a_{ij} X_j \right)$$

De manera similar el Lagrangeano del problema dual es

$$\mathcal{L}_D = \sum_i b_i \lambda_i + \sum_j \mu_j \left(c_j - \sum_i a_{ij} \lambda_i \right)$$

Donde las μ_j , $j=1$ hasta n son los nuevos multiplicadores de Lagrange; las condiciones Kuhn-Tucker para el dual son:

$$\frac{\partial \mathcal{L}_D}{\partial \mu_j} = c_j - \sum_i a_{ij} \lambda_i \leq 0 \quad 10$$

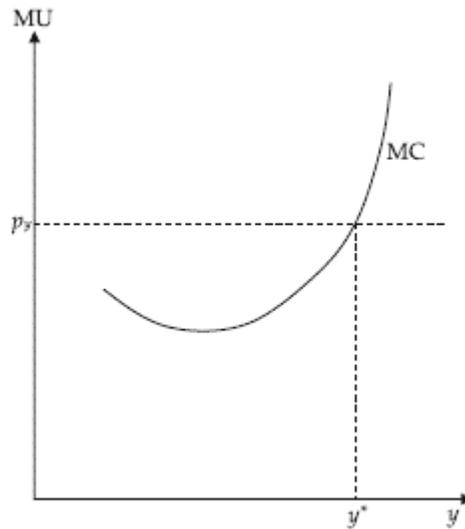
Y

$$\frac{\partial \mathcal{L}_D}{\partial \lambda_i} = b_i - \sum_j a_{ij} \mu_j \geq 0 \quad 11$$

Las ecuaciones 8 y 10 están relacionadas con 9 y 11 de hecho si $Y_i = \lambda_i$ para todo i , y además $\mu_j = X_j$, para toda j , entonces las condiciones Kuhn-Tucker serán idénticas para ambos problemas. Puesto que los valores óptimos de los dos problemas son idénticos, es lógico que las condiciones Kuhn-Tucker correspondientes sea idénticas. También el primer conjunto de condiciones Kuhn-Tucker para el primal (ecuaciones 8), son las restricciones del dual (ecuaciones 5), y viceversa.

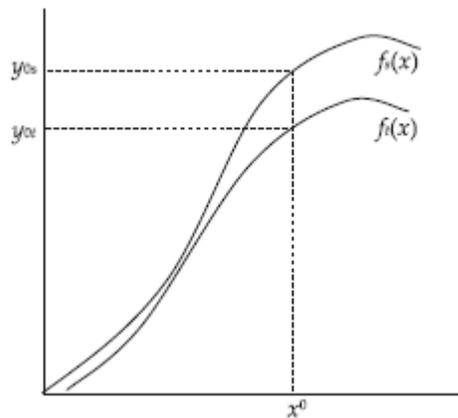
Esto significa que: si después de resolver el problema primal, los multiplicadores de Lagrange (los Y), se pueden extraer de la solución, estos serán los precios sombra (el valor del producto marginal, o los λ_i , de los recursos fijos de la finca. Esta información puede estar disponible con o sin la solución del problema dual. En términos económicos, un problema típico de producción con programación lineal, cumple con los criterios que establece la teoría para alcanzar la maximización de ganancias, los cuales consisten en igualar el ingreso marginal (IMg), que en condiciones de competencia perfecta, que es un supuesto de la programación matemática es igual al precio del producto (P_y) al costo marginal (MC) (Rasmussen S. 2011; Binger & Hoffman 1988; Henderson & Quant, 1980). La Figura 3 muestra una mejora tecnológica en la producción de un bien. Trátese el caso de la mejora de un insumo agrícola P.E la semilla. La semilla mejorada se ilustra con un desplazamiento hacia arriba de la función de producción, como se ilustra en la Figura 3 Lo que quiere decir que el resto de los insumos variables que se combinan con ella, así como el fijo aumentan su productividad. Eso ocurre también cuando se utiliza riego (Rasmussen S. 2011; Binger & Hoffman 1988; Henderson & Quant, 1980).

Figura 2. Condición de máxima ganancia P_y (ingreso marginal) igual a Costo marginal (MC)



Fuente: Rasmussen S. 2011

Figura 3. Ilustración de una mejora tecnológica.

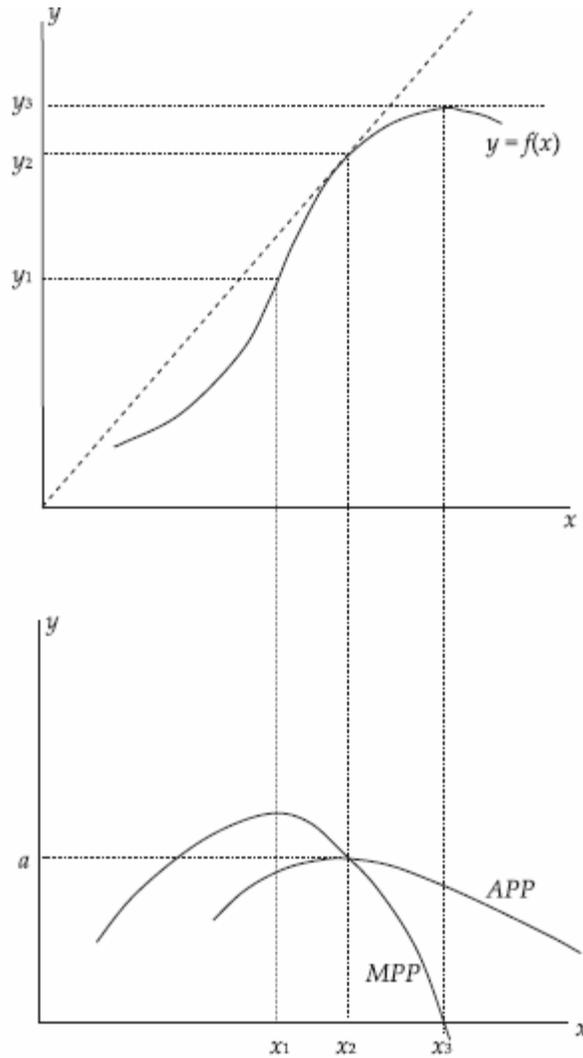


Fuente: Rasmussen S. 2011.

Un criterio alternativo es el que tiene que ver con el punto donde se iguala el valor del producto marginal del insumo (VPM_x) con el precio del insumo en cuestión (P_x). La siguiente grafica muestra las características económicas de este criterio.

La Figura 4, muestra los conceptos económicos relevantes para la aplicación de este criterio y su relación con la función de producción.

Figura 4. Función de producción y obtención de producto medio (APP) y producto marginal (MPP)



Fuente: Fuente: Rasmussen S. 2011.

3. ASPECTOS HÍDRICOS RELEVANTES Y ZONA DE ESTUDIO

En este apartado se presentan aspectos que tienen que ver con las condiciones de utilización del agua en el mundo, en México y en la zona en que se desarrolló la investigación.

3.1 Aspectos hídricos relevantes

El agua es uno de los recursos más abundantes de la tierra, se estima que la proporción disponible para consumo humano es menor al uno por ciento. Aunque el agua es indispensable para la vida humana, también en el mundo hay reportes de una cantidad importante de muertes debido a enfermedades de origen hídrico (FAO, 1993).

A principios de 1992 la Organización de las Naciones Unidas patrocinó en Dublín, la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente, donde se puso de relevancia la necesidad impostergable de aplicar métodos innovadores para evaluar, desarrollar y manejar los recursos de agua dulce. Tanto en ese evento como en otros se identificó al agua dulce como un recurso valioso y escaso. La competencia entre los diferentes sectores que hacen uso del agua crecerá a medida que crezca la población y la actividad económica asociada con el desarrollo y con ella, crecerán los conflictos entre los usuarios.

A pesar de la aceptación de escasez del agua en el mundo, la manera en que se utiliza en las diferentes actividades: agricultura, industria, servicios, hogares, etc., se identifica un mal manejo de los recursos hídricos. El deterioro de las cuencas es en muchos casos evidente y peligroso. Se reporta en casi todo el mundo una cantidad importante de acuíferos sobreexplotados (con el consecuente hundimiento de tierras) y/o contaminados por desechos urbanos, industriales o agrícolas. En otros casos el deterioro es irreversible por la intrusión de agua salada.

Las ciudades y otros centros de población no han sido capaces de hacer un suministro apropiado de agua potable y de un manejo adecuado de las aguas residuales; las malas prácticas de riego están dejando por la salinización una cantidad importante de tierras inutilizables; se han disminuido los caudales, lo que ha repercutido en las capacidades para generar energía eléctrica, la asimilación de contaminantes y el deterioro de hábitats de peces y fauna silvestre. Todos los procesos comentados tienen un efecto directo o indirecto con el sector agrícola debido a la cantidad de agua dulce que éste utiliza.

En México en 1950 con una población de 25.8 millones de habitantes, tenía una disponibilidad de agua por habitante de 18, 035 m³ / hab /año; en 2013 con 118.4 millones de habitantes, registró una disponibilidad de agua de 3, 982 m³ /hab/año, cifra que se considera baja. También se identificó que aproximadamente 35 millones de habitantes se encontraban en condiciones de poca disponibilidad de agua en cantidad y calidad (PNH, 2014).

En México el uso del agua dulce disponible se distribuye de la siguiente manera: 77% para riego agrícola, 14% para uso público urbano y para industrias autoabastecidas y termoeléctricas. Existen 731 cuencas hidrológicas, de las cuales 104 registran problemas de disponibilidad de agua. La Norma NMX-AA-159-SCFI-2012, establece el procedimiento para determinar el caudal ecológico en cuencas hidrológicas. En lo que respecta a aguas subterráneas se tienen definidos 653 acuíferos, mismos que satisfacen gran parte de la demanda de agua para desarrollos industriales y aproximadamente el 65% del agua que demandan las ciudades donde se concentra más de la mitad de la población. De estos acuíferos se abastece casi toda la población rural y aproximadamente dos millones de hectáreas de riego (el 35%); es importante señalar el aumento que ha tenido la sobreexplotación de acuíferos ya que pasó de 32 en 1975 a 106 en 2013 (PNH, 2014).

Según el Artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su reforma del 2012, toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.

Para atender la problemática que se presenta con la gobernanza del agua, el PNH (2014) identificó varios objetivos, en particular el 5, establece “Asegurar el agua para riego agrícola, industria, turismo y otras actividades económicas y financieras de manera sustentable”. Para alcanzar este y otros objetivos relacionados definió algunas estrategias entre las que se pueden mencionar las contenidas en la 5.1 que señalan acciones para “Mejorar la productividad del agua en la agricultura” que incluye varias acciones específicas para zonas agrícolas; las contenidas en la 5.2, “Utilizar sustentablemente el agua para impulsar el desarrollo en zonas con disponibilidad” que también contiene acciones específicas para zonas agrícolas; además la 1.6.5 “Reforzar los sistemas de medición y verificación del cumplimiento de los volúmenes concesionados y asignados” y la 1.6.6 “condicionar la posibilidad del incremento de asignaciones y concesiones a los niveles de eficiencia de los usuarios (municipios, industria y agricultura)” .

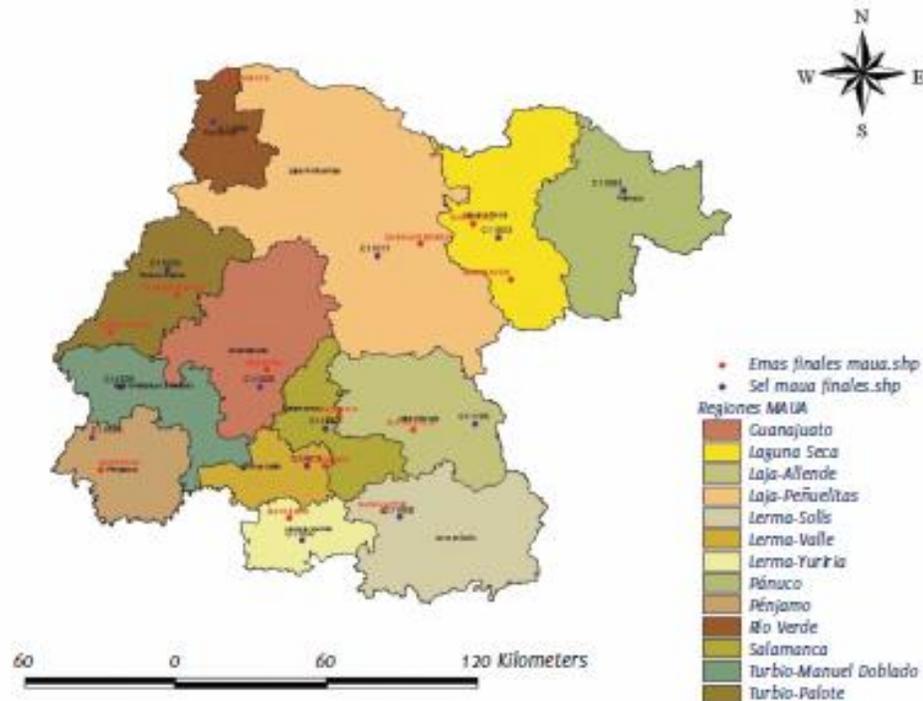
Dentro de las Líneas transversales 1.2.3, 1.4.4, 2.4.3, 2.5.8 y 3.5.8. Concretamente se definió la línea de Acción Específica 1.4.3 para “Establecer precios y tarifas que reflejen el costo económico del agua y promuevan su conservación y uso eficiente” (PNH, 2014).

3.2 Características de Zona de estudio

La zona de estudio está comprendida en la cuenca hidrológica que incluye a los estados de Querétaro, México, Michoacán, Guanajuato y Jalisco. Tiene una superficie total de 54, 448 Km², una población de más de 12 millones de

habitantes. La superficie de riego es de 830,000 has, con el mayor índice nacional de uso agropecuario, la producción industrial asciende a un tercio de la nacional y una aportación al Producto nacional bruto de casi el 10%.

Figura 5. Subcuencas del Río Lerma.



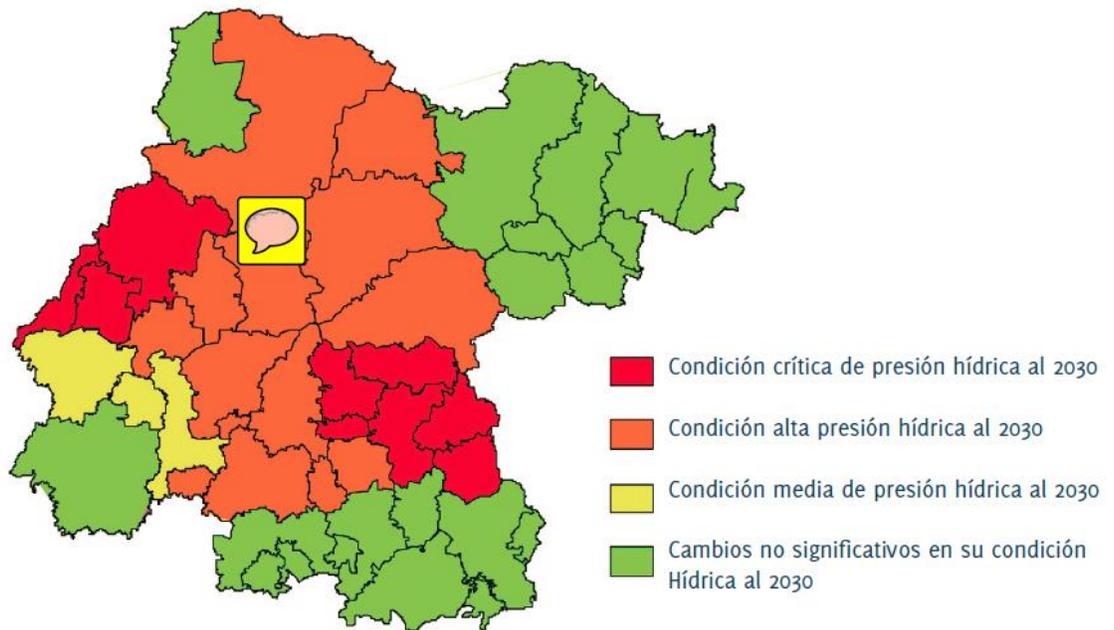
Fuente: Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. (2011)

En esta sub región hay nueve distritos de riego, de los cuales el que registra el mayor consumo de agua es el DDR 011.

Hay diferentes estudios (INE, Guanajuato) que han identificado riesgos climáticos para la zona donde se desarrolló la investigación, como se muestra a continuación.

La figura 6 muestra los probables cambios de abasto en el suministro de agua para todas las actividades económicas. Se aprecia que los municipios que se encuentran en las cuencas Turbio-papalote y Laja-Allende son los más expuestos a una situación crítica por los pronósticos de desarrollo industrial, aun sin cambio climático.

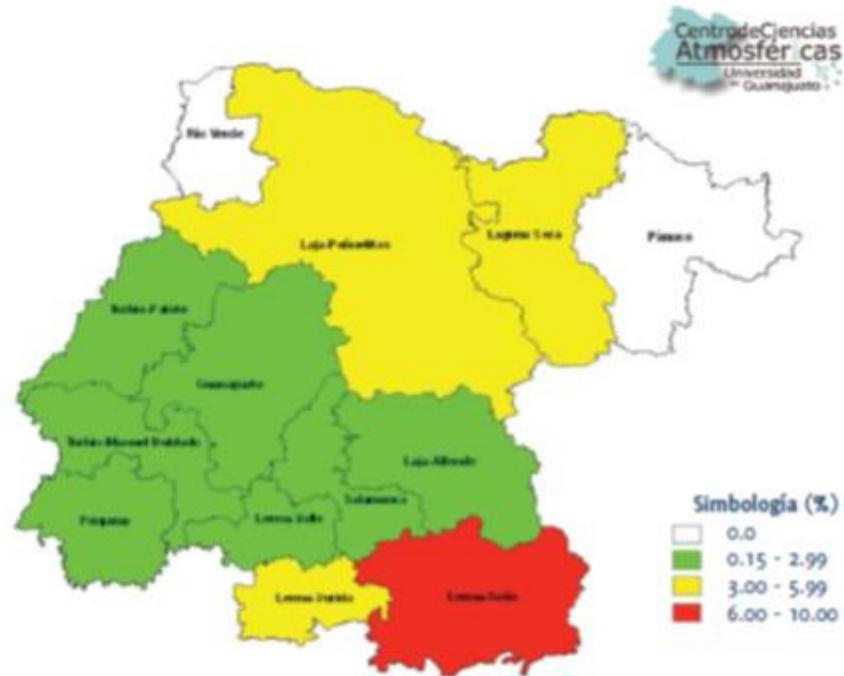
Figura 6. Regionalización en base a la tendencia de los acuíferos del estado de Guanajuato al 2030, sin considerar el cambio climático.



Fuente: Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. (2011)

La Figura 7, muestra las disminuciones en la disponibilidad del agua subterránea, con escenarios de cambio climático. La vulnerabilidad más alta se presenta en las cuencas de Turbio-Papalote, Laja-Peñuelitas y Laja-Allende debido a la disminución de agua subterránea disponible con disminuciones probables del 5 al 20%. Aunque el riesgo es en todo el Estado

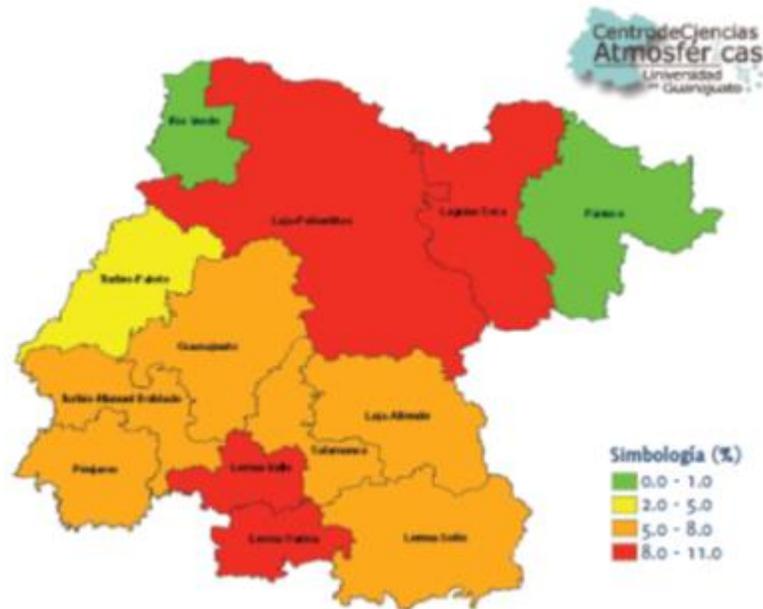
Figura 8. Disminución en la producción agrícola al 2030 bajo escenarios de cambio climático.



Fuente: Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. (2011)

La siguiente Figura (9), muestra los aumentos en la demanda de agua para uso agrícola, tanto superficial como subterránea. En la zona que interesa en esta investigación se estiman incrementos que van de 5 al 10%.

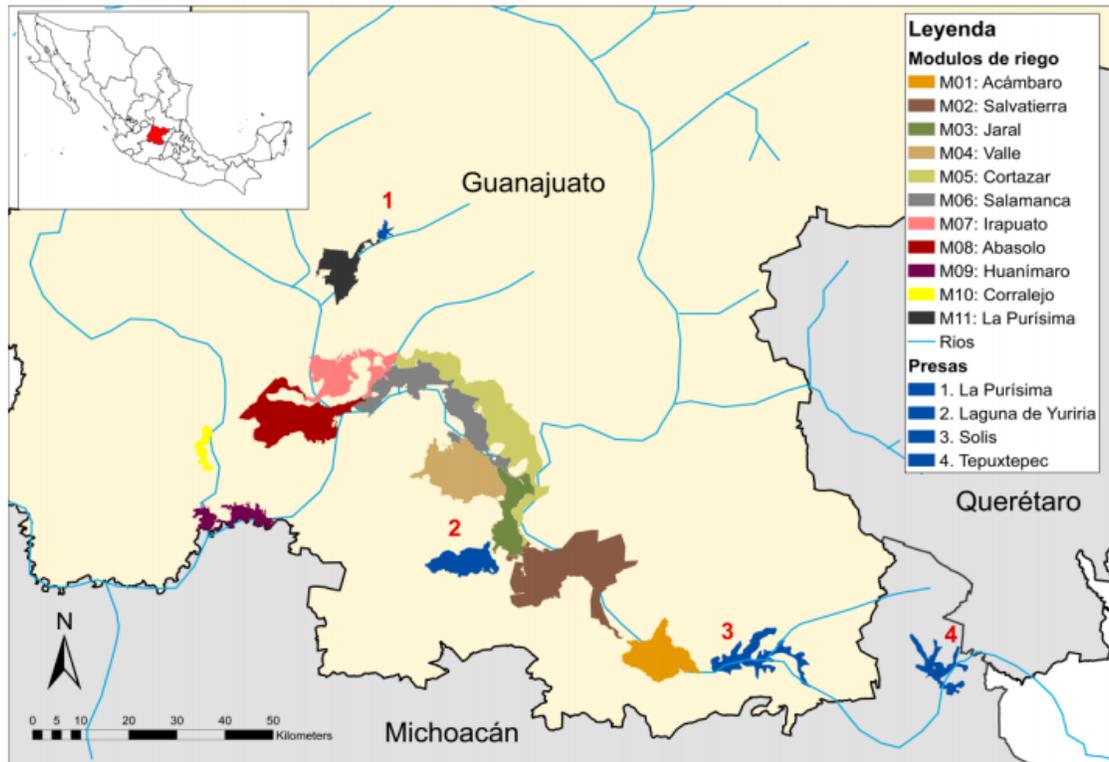
Figura 9. Incremento en el volumen de agua (superficial y subterránea) utilizado para fines agrícolas.



Fuente: Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. (2011)

La investigación se realizó en el Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma, localizado en el sur del estado de Guanajuato. Se ubica geográficamente entre los paralelos 19° 55´ y 21° 52´ de longitud norte y los meridianos 99° 39´ y 102° 05´ de longitud oeste, a una altitud de 1,722 metros sobre el nivel de mar. Dentro de los municipios de Acámbaro, Salvatierra, Santiago Maravatío, Jaral, Yuriria, Valle de Santiago, Villagrán, Cortazar, Salamanca, Irapuato, Guanajuato, Silao, Tarimoro, Pueblo Nuevo, Abasolo, Huanímaro y Pénjamo.

Figura 10. Mapa del distrito de Riego 011, Alto Rio Lerma



Fuente: Jefatura del Distrito de Riego 011, INEGI y CONAGUA

Una de las primeras obras de irrigación importantes después de la conquista, se registrò en lo que es hoy el Distrito de Riego Alto Rio Lerma, cuando en 1548 Fray Diego de Chávez desarrolló la irrigación con aguas de la laguna Yuriria. En la época del desarrollo de las grandes obras de irrigación en México, se dio la creación del DDR 011, con la publicación en marzo del 1939 Decreto de creación del Distrito de Riego No. 011 Alto Rio Lerma, pero no fue hasta 10 años más tarde, en el año de 1949, cuando inició operaciones.

Prácticamente desde la creación de la Comisión Nacional del Agua se tenía la determinación de realizar la transferencia de los distritos de riego a los usuarios, por lo que se inició un proceso de organización en cada distrito de riego del país, de los usuarios en Asociaciones Civiles de Usuarios a fin de cumplir con los

requisitos de la Ley, con el objeto de pasar a los usuarios de cada distrito las actividades de operación y mantenimiento de las obras de infraestructura secundarias y terciarias. Después de que durante décadas el gobierno mexicano realizó grandes inversiones en obras de infraestructura y la apertura de grandes superficies a la irrigación, el presupuesto dedicado al sector agrícola fue insuficiente para cubrir los costos asociados a la operación y mantenimiento de los mismos.

El DDR 011 se transfirió a los usuarios a finales de 1992. En este proceso los productores del Distrito, éstos fueron organizados en 11 Asociaciones Civiles, que tenían la responsabilidad de operar, conservar y administrar la infraestructura hidroagrícola menor. Los once módulos, así como características en superficie total, de riego y número de usuarios se presentan en la Tabla 1. El distrito de riego tiene un total de 111,242.55 hectáreas de las cuales 110,299.45 son de riego y tiene 26,611 usuarios de riego. El de mayor superficie es el de Cortázar (18,376 ha) y el de mayor número de usuarios es el de Salvatierra.

El proceso de transferencia consideró la creación de una figura jurídica que juntara a las Asociaciones Civiles de Usuarios. En el caso del DDR, ésta se creó el 10 de diciembre de 1996. Con la integración del DRR 011 Rio Lerma, Guanajuato, S.R.L de I.P DE C.V, (SRL) y su entrada en operación en febrero de 1997, se concreta la transferencia del DDR 011, y desde entonces es responsabilidad de los usuarios la operación, conservación y administración de la red mayor para la entrega de agua en bloque a cada uno de los módulos, que les es asignada por el consejo de cuenca y CONAGUA, siendo la Sociedad de Responsabilidad Limitada el vínculo entre los módulos y la Jefatura del Distrito de Riego de la Comisión Nacional del Agua. La CONAGUA entrega el agua en bloque a la SRL, y esta lo hace a cada Asociación de Usuarios (módulos).

Tabla 1: Asociaciones Civiles de Usuarios (módulos de riego) del DR 011

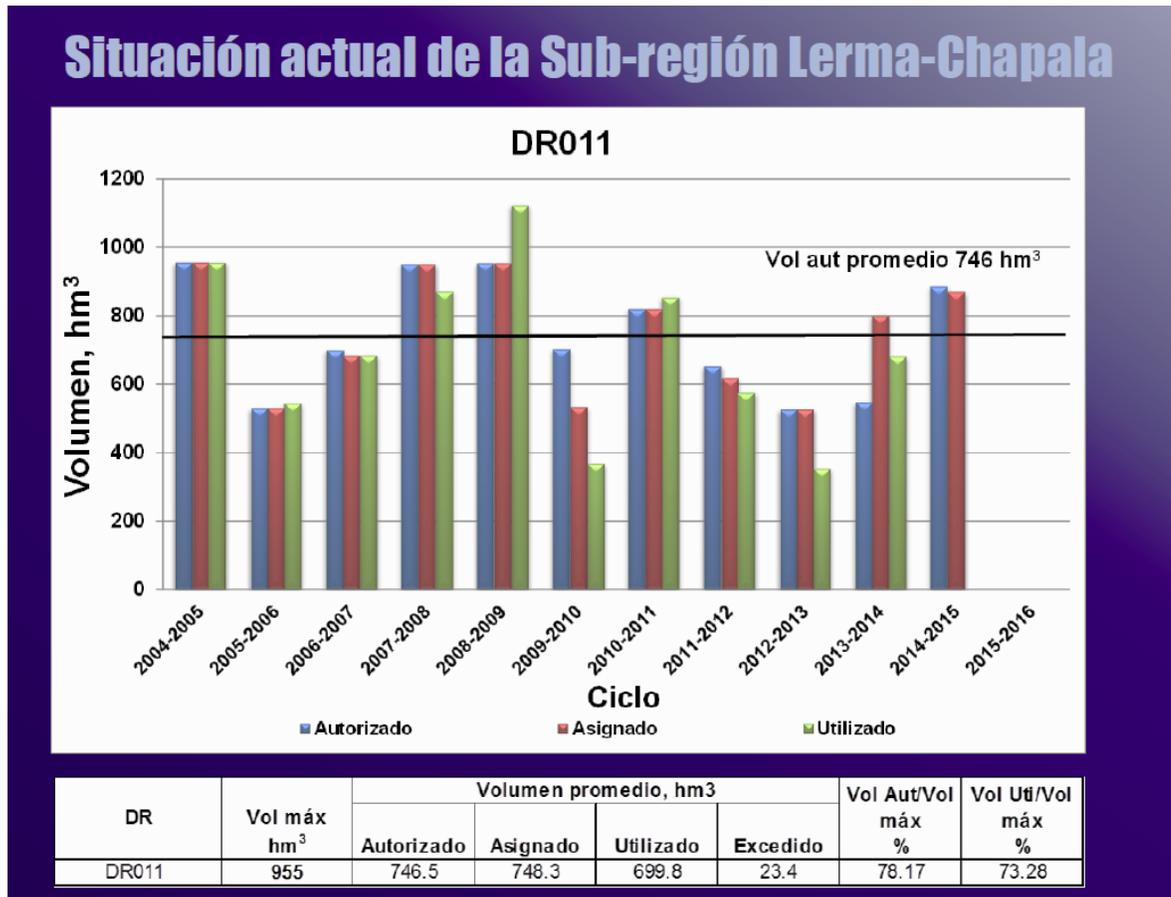
Modulo	Superficie (ha)	Superficie de riego (ha)	Número de usuarios
Acámbaro	8,459.02	8,426.00	2,234
Salvatierra	16,389.96	16,246.00	6,441
Jaral	6,753.86	6,739.54	1,589
Valle	13,389.91	13,341.58	2,462
Cortazar	18,376.51	18,316.22	3,687
Salamanca	14,071.86	13,599.52	2,951
Irapuato	8,392.76	8,361.00	1,507
Abasolo	14,985.80	14,890.85	2,850
Huanímaro	3,864.98	3,823.35	1069
Corralejo	1,575.99	1,575.99	342
La Purísima	4,981.90	4,979.40	1,479
Total	111,242.55	110,299.45	26,611

Fuente: Jefatura del Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma, 2018.

En el DR 011 se presenta un clima de tipo semicálido subhúmedo [(A)C(wo)] y [(A)C(w1)] (García, 2004), con lluvias en verano; con una precipitación media anual de 744.4 mm. La temperatura media mensual oscila entre los 18° y 20°, con un rango de heladas de 10 a 30 días anuales entre noviembre y febrero.

En lo que respecta a la orografía el DDR 011 se encuentra en sub provincias de las sierras volcánicas y lagos centrales, bajíos michoacanos, y bajíos guanajuatenses. Los suelos predominantes son los vertisoles, mismos que se caracterizan por ser de gran profundidad, alto contenido de arcilla, fértiles y ricos en materia orgánica.

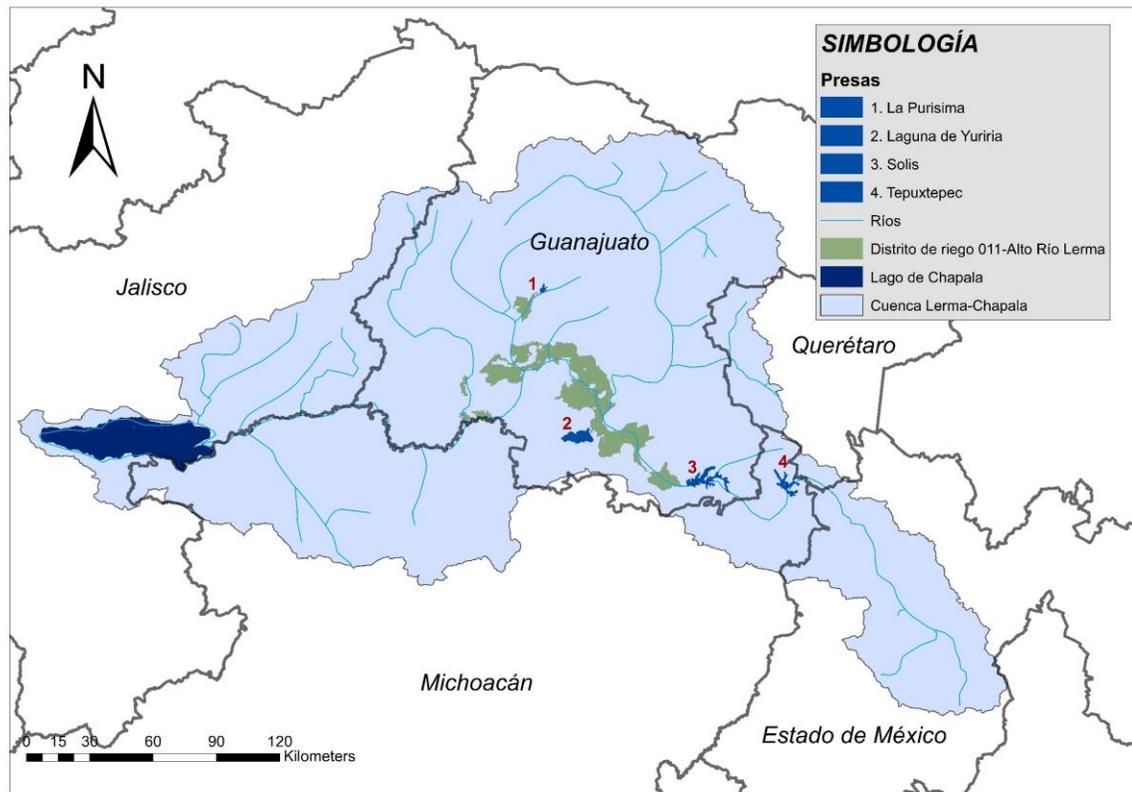
Figura 11 Volumen autorizado en el DDR 011 2004-2015



Fuente: Jefatura del DDR 011 Alto Rio Lerma, 2018.

El Río Lerma tiene 750 km de longitud nace de la meseta central de México y desemboca en el lago de Chapala (Figura 12), el cual es el lago tropical más grande de México (Mestre, 1997), en su recorrido pasa por cinco Estados y siete distritos de riego, incluyendo el DDR 011, desde la Presa Solís hasta la confluencia con el Río Turbio, límite del Distrito. Este recorrido tiene una longitud de 229.6 km, y un área de cuenca propia de aproximadamente 2,078 km², a la que se le agregan la cuenca de la Laguna de Yuriria y la cuenca del Lago de Cuitzeo que forman parte del mismo sistema de escurrimientos (Martinez-Pérez, 2013). El Distrito de Riego Alto Rio Lerma es el distrito de riego más grande y que más agua demanda dentro de la cuenca (Tabla 2).

Figura 12. Cuenca Lerma-Chapala y distrito de riego Alto Rio Lerma



Fuente: Jefatura del Distrito de Riego 011, INEGI y CONAGUA, 2018.

Tabla 2: Distritos de riego de la cuenca Lerma-Chapala

Distrito	Usuarios	Superficie regada (ha)	Volumen distribuido (dam ³)
DR011	26611	110,299.45	964,898.84
DR013	6041	24,784.69	187,973.73
DR024	2783	15,354.013	77,966.448
DR033	5851	6,288.3	33,416.28
DR045	6875	16,944	145,368.86
DR061	2866	11,756.73	218,504.25
DR085	2577	8,663.21	113,233.87

Fuente: Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego, CONAGUA 2018

Los aprovechamientos hídricos del DDR 011 los constituyen aguas superficiales y aguas subterráneas concesionadas de pozos oficiales y pozos particulares. Las fuentes de agua superficial son: la presa Tepuxtepec (creada para la generación de energía eléctrica). De ésta aproximadamente el 90% del agua llega a la Presa Solís, se alimenta de escurrimientos del cauce del Río Lerma. Esta presa abastece a diez de once módulos del Distrito; la presa la Purísima, localizada al noroeste del DDR 011 abastece al Módulo la Purísima y se encuentra sobre el Río Guanajuato. La Laguna de Yuriria funciona como vaso regulador del sistema.

El DDR Alto Río Lerma tiene cinco presas derivadoras: Chamacuaro, Reforma, Loma de Toro, Santa Julia y Markazuza, y una red de 475 km de canales principales, 1,183 canales secundarios, 260 km drenes principales y 761 km de drenes secundarios (Jefatura del DDR 011, 2018).

Tabla 3: Características de las presas abastecedoras del DR011

	Capacidad NAME	Capacidad NAMO	Capacidad muerta	Capacidad para riego
Presa	dam ³			
Tepuxtepec	537,527	425,000	25,000	4,000,000
Presa Solís	1,071,022	800,000	25,000	798,107
Laguna de Yuriria	325,195	288,800	100	187,856
La Purísima	196,000	110,000	1,893	110,000

Nomenclatura: Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias (NAME), nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso bajo cualquier condición. Nivel de Aguas Máximas Ordinarias (NAMO), máximo nivel con que se puede operar la presa para satisfacer las demandas.

Fuente: Estadísticas del Agua en México, CONAGUA (2016b).

En lo que se refiere al agua subterránea, existen en el Distrito 1981 pozos particulares y 190 pozos oficiales (Jefatura del DDR 011). Los acuíferos de que se abastecen para la extracción del agua son: Valle de Acámbaro, Valle de la Cuevita, Salvatierra-Acámbaro, Irapuato-Valle, Valle de Celaya, Silao-Romita, Lago de Cuitzeo, Ciénega Prieta-Moroleón y Pénjamo-Abasolo. Casi todos estos han sido clasificados como en déficit; los más explotados son el de Pénjamo-Abasolo y el Valle de Celaya con un déficit 127.89 y 113.59 millones de metros cúbicos respectivamente (Tabla 4).

Tabla 4: Estado de los acuíferos que abastecen al del DR011

Clave	Acuífero	Área km2	R	DNC	VEAS		DMA	
					VCAS	VAPTYR	Positiva	Negativa (déficit)
					Mm ³			
1110	Silao-Romita	1,880.97	280.0	0.0	162.541094	0.271357	117.187549	0.000000
1115	Valle de Celaya	2,793.81	317.1	3.3	425.211481	2.180785	0.000000	-113.592266
1116	Valle de la Cuevita	782.84	9.9	0.3	10.018066	0.058263	0.000000	-0.476329
1117	Valle de Acámbaro	1,123.24	118.4	1.1	90.232352	0.002160	27.065488	0.000000
1118	Salvatierra-Acámbaro	747.57	28.4	0.0	71.131662	0.306209	0.000000	-43.037871
1119	Irapuato-Valle	2,436.93	507.8	28.3	550.625810	0.332128	0.000000	-71.457938
1120	Pénjamo-Abasolo	2,413.67	225.0	0.0	352.404724	0.481955	0.000000	-127.886679
1122	Ciénega Prieta-Moroleón	1,220.11	85.0	9.0	86.254869	0.763400	0.000000	-11.018269

NOMENCLATURA: R: recarga total media anual; DNC: descarga natural comprometida; VCAS: volumen concesionado/asignado de aguas subterráneas; VAPTYR: volumen de extracción de agua pendiente de titulación y/o registro en el REPDA; DMA: disponibilidad media anual de agua del subsuelo.

Fuente: Elaborada a partir del “Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos”, Diario Oficial de la Federación, 4 de Enero del 2018, SEMARNAT.

El DR 011 en promedio utiliza anualmente 699.8 hm³ y tiene concesionado 881.6 hm³; del agua usada en el distrito el 60% es de gravedad, el 35% de los pozos y 5% de bombeo directo.

Tabla 5: Volumen concesionado por Asociación de Usuarios de Agua superficial y subterránea del DR011 Alto Río Lerma

Modulo	Titular	Fuente			
		Acuífero	Volumen subterráneo (Mm ³)	Presas	Volumen superficial (Mm ³)
1	Productores agrícolas del módulo Acámbaro del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	Valle de Acámbaro	3.3	Sistema de presas Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria, canal San Cristóbal	75.95
2	Productores agrícolas del módulo Salvatierra del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	Salvatierra-Acámbaro	8.7	Sistema de presas Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria; presas derivadoras: Chamácuaro y Reforma	130.47
3	Productores agrícolas del módulo jaral del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	Irapuato	5.6	Sistema de presas Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria	48.88
4	Productores agrícolas del módulo valle, del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	Irapuato	8.3	Sistema de presas Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria, presa derivadora Lomo de toro	100.32
5	Productores agrícolas del módulo Cortázar del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C..	Valle de Celaya	15.9	Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria, presa derivadora Lomo de toro	137.27
6	Productores agrícolas del módulo salamanca del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	Irapuato	8.1	Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria, presa derivadora Santa Julia	111.05

7	Productores agrícolas del módulo Irapuato del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	Irapuato	6.8	Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria, presa derivadora Lomo de toro	46.45
8	Agrupación de productores del módulo Abasolo del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	Pénjamo-Abasolo	11	Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria	109.05
9	Productores agrícolas del módulo Huanímaro del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	-		Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria	29.34
10	Productores agrícolas del módulo Corralejo del Distrito de Riego número 011 Alto Río Lerma, Gto., A.C.	Pénjamo - Abasolo	3.9	Tepuxtepec- Solís-Laguna de Yuriria	7.49
11	Productores agrícolas de la presa La Purísima, A.C.	-		Presa La Purísima	25.2
Total			67.7	Total	813.9

Fuente: Registro Público de Derechos de Agua (REPGA), CONAGUA 2016

La Ley de Aguas Nacionales permite la transmisión de los derechos de agua entre agentes económicos y entre sectores económicos, a través de los Bancos de Agua de forma completa o parcial según los artículos 33 a 37 de la misma, siempre y cuando se cumplan los reglamentos de la misma ley y las condiciones de cada cuenca.

La organización en la toma de decisiones para la operación del Distritos es: en el lugar de contacto directo con la producción están las Asociaciones de Usuarios (los módulos de riego), los cuales se integran por los usuarios que comparten canales menores para distribuir el agua a sus parcelas, los cuales son responsables de la operación, administración y mantenimiento de la red

menor de distribución y drenaje del sistema, (canales laterales y secundarios provenientes del canal general); el siguiente nivel se integra por el conjunto de estos módulos, que integran la Sociedad de Responsabilidad Limitada de Interés Público y Capital Variable (S. de R.L de I.P. y C.V) ,la cual recibe el agua concesionada por la Jefatura de Distrito (CONAGUA), para la entrega en bloque a cada módulo; El siguiente nivel es la Jefatura de Distrito (CONAGUA), que es encargado de administrar, mantener y operar el sistema de presas para abastecimiento de agua por gravedad; el ultimo nivel corresponde al Consejo de Cuenca, el cual toma las decisiones sobre el volumen de agua que se asigna al Distrito cada año. Gran parte de la eficiencia en la distribución del agua depende de la coordinación entre los participantes.

En la Tabla 6 se presenta la cantidad utilizada y asignada al DDR 011, Algo que vale la pena mencionar, es la falta de coincidencia de dichas cantidades, lo que a primera vista puede dar a pensar en una falta de planeación. En segundo lugar, las diferencias en las cantidades en los diferentes años en ambos conceptos. Para el caso del volumen de agua utilizado se tiene una diferencia entre el mayor y el menor de 749.7 Mm³ (diferencia que es mayor al volumen asignado en varios años); mientras que para el volumen asignado, la diferencia es de 407.9 Mm³. También la falta de coincidencia en que esto ocurrió, para el primer caso fue entre los años agrícolas 2008-2009 y 2012-2013. Mientras que para el volumen asignado, la diferencia se presentó entre 2016- 2017 y 2012-2013.

Tabla 6: Asignación de agua del sistema de presas al DR011

Ciclo Agrícola	Almacenamiento sistema de presas Tepuxtepec-Solís-Laguna de Yuriria-La purísima (Mm ³)	Asignado al DR011 (Mm ³)	Utilizado DR011 (Mm ³)
2008-2009	1,613.6	898.8	1,083.7
2009-2010	1,253.1	496.1	352.0
2010-2011	1,503.2	771.5	829.5
2011-2012	1,270.8	581.8	580.3
2012-2013	1,190.3	495.8	334.0

2013-2014	1,501.6	769.0	645.5
2014-2015	1,551.9	834.7	569.6
2015-2016	1,486.8	838.3	679.3
2016-2017	1,498.6	903.7	788.9

Fuente: Jefatura del Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma, CONAGUA 2018

En México, en general no hay control por parte de la autoridad del agua (CONAGUA), para asegurar que la extracción del recurso del subsuelo se haga de acuerdo a los volúmenes autorizados y que permita mantener el equilibrio de hídrico de los acuíferos. De tal manera que hay sobre explotación en muchos de ellos, lo que no es excepción para los acuíferos que abastecen al DDR 011. La Tabla 7 muestra los volúmenes extraídos del subsuelo en los últimos años, cantidad que en promedio asciende a 358.259 millones de m³ anuales para el uso agrícola.

Tabla 7: Volumen extraído de los acuíferos del DR011

Ciclo Agrícola	Utilizada DR011 (Mm ³)
2009-2010	379.818
2010-2011	431.591
2011-2012	375.024
2012-2013	370.905
2013-2014	351.708
2014-2015	302.087
2015-2016	315.595
2016-2017	339.343

Fuente: Jefatura Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma, CONAGUA 2018

La transferencia de los distritos de riego a los usuarios, como se dijo antes, implicaba la participación de éstos, no solo en responsabilidades de operación, mantenimiento y conservación de la infraestructura del Distrito, sino que en una aportación económica (tarifa, cuota) por el uso del agua. En general, siempre ha habido reticencia al pago de la tarifa de riego y a incrementos en la misma.

La FAO (2004), señala varias razones para que las Asociaciones de Usuarios del Agua se involucren en la administración y operación de los distritos de riego, algunas de tipo financiero y otras de tipo de apropiación de las obras que les permita garantizar su cuidado con el objeto de mantenerlas en condiciones apropiadas para su funcionamiento. La Tabla 8, reporta en precios nominales la tarifa cobrada por riego/hectárea en el DDR 011. En el año usado para la investigación la tarifa fue de 500 pesos por hectárea/riego. Autoridades de la Jefatura del distrito, comentan esta cuota no alcanza cubrir los costos de operación y mantenimiento.

En promedio por hectárea de riego le corresponden 3400 m³, por lo que se estaría pagando 150 pesos por mil metros cúbicos.

Tabla 8: Evolución de la tarifa de riego con agua de gravedad en el DR011

Año agrícola	MXN \$/ ha de riego
2008-2009	330
2009-2010	340
2010-2011	355
2011-2012	365
2012-2013	420
2013-2014	435
2014-2015	455
2015-2016	465
2016-2017	480
2017-2018	510

Fuente: Jefatura Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma, CONAGUA 2018

Nota: Pesos corrientes

En lo que respecta a los principales costos para la extracción del agua subterránea, La Comisión Federal de Electricidad (CFE), aplica la tarifa 09. Esta

tarifa cubre los servicios de baja tensión que destinen la energía para el bombeo de agua utilizada en el riego de tierras dedicadas al cultivo de productos agrícolas y a lo requerido en el local donde se encuentre instalado el equipo de bombeo.

Estructura productiva del DDR 011

Los ciclos de cultivo en el DDR 011 son: otoño-invierno (O-I) que va de octubre a febrero, y se cultivan principalmente trigo, cebada y hortalizas como brócoli y lechuga; el ciclo primavera-verano (P-V), que va de marzo a septiembre y se cultiva maíz y sorgo principalmente. Los cultivos perennes son alfalfa y espárrago principalmente. Hay segundos cultivos, que son maíz y sorgo, se siembran en mayo.

En el DDR 011, la mayor superficie se destina a los cereales, encabezando la lista el maíz para grano, seguido por la cebada, el trigo y el sorgo, cultivos que absorben casi el 90% de la superficie sembrada (Tabla 9), y utilizan un poco más del 80% del agua total.

Tabla 9: Patrón de cultivos en el DR011

Cultivo	Superficie sembrada media (ha)
Alfalfa	4,249.96
Brócoli	2,726.27
Cebada	35,260.70
Espárrago	4,651.60
Maíz grano	60,243.72
Sorgo Grano	18,262.40
Trigo Grano	24,024.04
Otros	9,243.99

Nota: es el promedio de 2014 a 2017

Fuente: Elaboración Propia con datos de la Jefatura del Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma, 2018

En el año agrícola 2018 los cultivos más importantes, cebada, trigo, maíz, sorgo, alfalfa y esparrago ocuparon el 93.07% de la superficie total sembrada y usaron el 89.8% del total de agua del Distrito.

El año agrícola que se considerará como “patrón histórico” es 2016-2017 y registra para cada Asociación de Usuarios la superficie sembrada que se reporta en la Tabla 10. Se observa que los de mayores dimensiones Cortázar, Abasolo y Salvatierra, mientras que los de menores superficies son Corralejo, Huanímaro y La Purísima. Consecuentemente, los primeros son los que demandan la mayor cantidad de agua y los últimos son los que utilizaron las menores cantidades del recurso.

Tabla 10: Superficie sembrada por modulo en el año agrícola 2016-2017

Modulo	Superficie total sembrada (ha)
01 Acámbaro	8,034.27
02 Salvatierra	21,008.79
03 Jaral	11,463.50
04 Valle	21,070.15
05 Cortázar	29,835.12
06 Salamanca	19,028.81
07 Irapuato	10,382.81
08 Abasolo	22,955.18
09 Huanímaro	7,048.03
10 Corralejo	2,635.00
11 La Purísima	7,208.81
<i>Total</i>	<i>160,670.47</i>

Fuente: Elaborado con datos de la Jefatura del Distrito de Riego 011, CONAGUA 2018

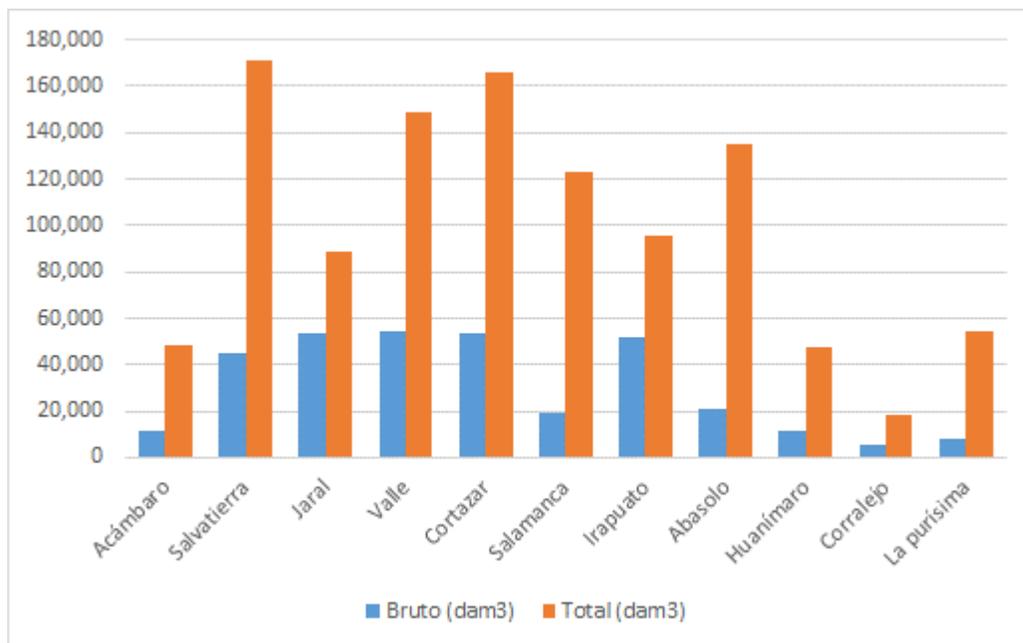
El volumen total utilizado en el DDR 011 asciende a 1, 096,347 (dam³), los módulos de mayor utilización son Cortázar, Salvatierra, Valle y Abasolo (Tabla 11). Valle y Cortázar usan un volumen de agua similar de las dos fuentes; la de pozos la destinan principalmente para el riego de hortalizas y cultivos perennes.

Tabla 11: Volumen de agua usado por módulo de riego 2016-2017

	Módulo	Superficial (Ha)	Bruto(dam ³)	Total (dam ³)
M01	Acámbaro	37,143.63	11,402.11	48,545.74
M02	Salvatierra	126,211.48	45,069.80	171,281.28
M03	Jaral	35,508.65	53,564.17	89,072.82
M04	Valle	94,017.24	54,565.79	148,583.03
M05	Cortazar	112,250.72	53,475.04	165,725.76
M06	Salamanca	103,425.02	19,211.04	122,636.06
M07	Irapuato	44,020.27	51,989.28	96,009.55
M08	Abasolo	113,840.04	21,262.00	135,102.04
M09	Huanímaro	35,369.09	11,828.98	47,198.07
M10	Corralejo	12,709.32	5,228.70	17,938.02
M11	La purísima	46,248.09	8,006.70	54,254.79
	DR011	760,743.55	335,603.61	1,096,347.16

Fuente: Elaborado con datos de la Jefatura del Distrito de Riego 011, CONAGUA 2018

Figura 13. Volumen de agua usado por módulo de riego 2016-2017.



4. REVISIÓN DE LITERATURA

La aplicación de la programación matemática para tratar los procesos productivos en la actividad agrícola han sido variados, y es una metodología que se ha aplicado desde los últimos años del siglo pasado. Particularmente los que tienen que ver con la selección de los planes de cultivo y la modelación en finca con ese objetivo.

La medición de la productividad del agua en el DDR 011 se ha calculado con diferentes metodologías. Florencio, C., et. al. (2002), aplicaron la programación matemática para estimar el valor económico del agua, se ensayó en el estudio la posibilidad de una reducción en 18 y en 24%; encontraron que el agua subterránea tiene mayor precio sombra que el agua superficial y que es más bajo cuando se destina al riego de granos básicos. Los mayores niveles para el precio sombra del agua es para el cultivo de fresa, además que el aporte del agua al valor de la función en todos los modelos probados, es mayor que las tarifas pagadas por los agricultores.

Rubiños, P., et, al. (2007), aplicaron funciones tipo Cobb-Douglas, Mitscherlich-Spillman y polinomiales para estimar el valor económico del agua a través de su productividad marginal, en asociaciones de usuarios del agua en los DDR 001, de Guanajuato, y 017 de la Región Lagunera de Durango y Coahuila. Se efectuaron simulaciones para analizar la disposición de las asociaciones para adquirir agua en función de su precio, de la superficie sembrada y de los jornales utilizados. Los resultados señalaron que las funciones tipo Cobb-Douglas registraron las mejores estimaciones. También se concluye que la productividad marginal de agua resultó superior a las magnitudes de las tarifas que pagan los usuarios por el agua y al monto pagado por las transmisiones del recurso. En el caso del DDR 011, las asociaciones que tienen mayor disposición a adquirir agua son las de Salvatierra, Cortázar y Salamanca, en intervalos que van de 3 a 12 millones de m³, mientras que en el DDR 017 son las asociaciones Vergel, Coyote

y La Marinera, en un intervalo que va de 4 a 22 millones de m³. En el DDR 011, la mayor productividad marginal del agua la presentaron las asociaciones de Corralejo y Purísima, mientras que las menores se registraron en Salamanca y Acámbaro.

La evaluación del efecto de políticas agrícolas sobre la intensidad en el uso de los factores de la producción, como el agua y por supuesto en el patrón de cultivos de grandes regiones, tiene un gran área de aplicación. Howitt y Medellín (2008), aplicaron un modelo de programación matemática positiva en la cuenca del Río Bravo. Primero se evalúa una disminución en factores como agua y mano de obra, y en una segunda etapa, se evalúan aumentos en los costos de los mismos. Utilizan tamaños para fincas tipo en la evaluación de los efectos en el caso de los cambios en los precios de los cultivos, consideraron incrementos del 10 y el 25% para alfalfa, maíz y sorgo. Concluyen que el nivel de las actividades agrícolas en la cuenca del Río Bravo son más sensibles a los cambios en la disponibilidad de recursos que al aumento en el costo de los mismos.

En algunas modelaciones donde se usa la programación matemática positiva se proponen reflejar la interacción de variables económicas con modelos que incluyen la red hidrológica, o modelos del sistema biofísico, como el aplicado para analizar diferentes aspectos del uso del recurso hídrico en California, USA, el Modelo para La Producción Agrícola de California (SWAP, por sus siglas en inglés), que es un modelo que integra todo el sector agrícola del estado de California. Howitt R, et. al. (2012) aplicaron esta metodología para evaluar en modelos de producción desagregada los resultados de transferencias potenciales de agua en condiciones de sequía, ligando las funciones de producción regional con la red de oferta de agua. Utilizaron funciones de costos exponenciales y funciones de producción de elasticidad constante (CES). Los resultados obtenidos muestran que asignaciones de agua en mercados más flexibles, pueden reducir las pérdidas en los ingresos por hasta un 30%.

Guzmán S., et. al., estimaron un modelo de ecuaciones simultáneas para identificar los factores que determinan la demanda en el riego agrícola por bombeo, el agua para riego por gravedad, el agua para uso pecuario, residencial e industrial, en la Comarca Lagunera mexicana. Encontraron que en general, la demanda de agua es inelástica.

Gallego, et. al. (2011), aplicaron la programación matemática positiva para evaluar diferentes formas de aplicar las tarifas de riego a los usuarios, incluyeron consideraciones de sostenibilidad (económicas, sociales y ambientales) para evaluar cada tipo de tarifa, señalan que la mejor forma de cobrar el agua es” la tarifación por tramos.”

5. METODOLOGÍA

Esta investigación se desarrolla con información del Distrito de Riego 011, Alto Rio Lerma, Guanajuato, del año 2016-2017. Se hace uso de la información estadística del Distrito de Riego proporcionada por las autoridades de la Jefatura del Distrito de Riego.

Se diseñó un Modelo de Programación Lineal (MPL), cuyos resultados permiten contrastar las hipótesis y lograr los objetivos planteados. Este modelo tiene como función objetivo maximizar el Ingreso Neto Total sujeto a la disponibilidad de tierra cultivable y agua de riego.

La aplicación de la modelación con programación matemática, se consideran las actividades de los módulos Valle y Cortázar del Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma.

5.1. Actividades del modelo

Se incluyeron 14 actividades en el modelo. Las primeras 5 corresponden a los cultivos del módulo Valle. Los cultivos incluidos en el modelo son aquellos que se han establecido en los últimos años, esto debido a que dentro de los últimos ciclos agrícolas esos cultivos han sido persistentes. Los segundos 8 corresponden a los cultivos del módulo del Cortázar. Este se consideró el patrón histórico.

Tabla 12: Padrón de cultivos año agrícola 2016-2017

MÓDULO VALLE			MODULO CORTÁZAR		
Otoño	- Primavera	Perennes	Otoño	- Primavera	- Perennes
Invierno	- Verano		Invierno	Verano	
Cebada	Maíz	Alfalfa	Avena F.	Avena F.	Alfalfa
Trigo	Sorgo		Brócoli	Cebada	Esparrago
			Cebada	Lechuga	
			Cebolla	Maíz	

Fuente: Elaboración propia con información de Jefatura del Distrito de Riego 2014-2018

5.2. Cuantificación de los precios netos

Los precios netos son el resultado de restar los costos totales de producción al ingreso bruto. El primero de ellos es el producto del rendimiento promedio por el precio de mercado regional mensual promedio durante el mes de la cosecha; el segundo fue obtenido de sumar los costos de preparación del terreno, siembra o plantación, fertilización, labores culturales, cosecha y acarreo. No se tomó en cuenta el costo de la cuota por agua por ser uno de los parámetros a estimar con el MPL.

Tabla 13: Precios netos de las actividades de cultivo del módulo de riego “Valle” para el año agrícola 2016-2017

Cultivo	Tierra Cultivada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural medio (MXN \$/ton)	Ingreso Bruto (\$)	Costo de producción ((MXN \$ /ha))	Ingreso Neto (\$)
Cebada	9205.79	6.4	4,533.33	267,090,457.48	\$18,671.67	\$95,202,984.51
Trigo	573.69	6.2	3,733.33	13,278,999.34	\$17,813.33	\$3,059,670.06
Alfalfa	682.95	32.17	2,123.33	46,650,624.95	\$22,000.00	\$31,625,724.95
Maíz	347	14.75	3,616.67	18,511,021.23	\$20,643.33	\$11,347,785.72
Maíz Sec.	8408.81	12.87	3,343.33	361,819,802.11	\$20,159.00	\$192,306,601.32
Sorgos Sec.	1492.47	9.83	3,433.33	50,370,316.11	\$20,892.00	\$19,189,632.87

Fuente: Elaboración propia con información de Jefatura Distrito de Riego 011 2016-2017

Tabla 14: Precios netos de las actividades de cultivo del módulo de riego “Cortázar” para el año agrícola 2016-2017

Cultivo	Tierra Cultivada (ha)	Rendimiento (ton/ha)	Precio medio rural medio (MXN \$/ton)	Ingreso Bruto (\$)	Costo de producción ((MXN \$/ha))	Ingreso Neto (\$)
Cebada	6925.83	6.67	\$4,247.33	\$196,206,624.51	\$16,284.00	\$83,426,408.79
Trigo	4956.99	6.85	\$3,715.00	\$126,144,242.27	\$19,062.00	\$31,654,098.89
Avena	27.82	11	\$1,706.65	\$522,269.03	\$13,065.00	\$158,800.73
Brócoli	571.1	14.23	\$4,524.33	\$36,768,112.40	\$54,673.67	\$5,543,979.46
Lechuga	891.37	20.17	\$2,873.90	\$51,669,655.26	\$27,997.00	\$26,713,969.37
Cebolla	235	30.95	\$3,451.67	\$25,104,858.83	\$42,467.67	\$15,124,956.38
Esparrago	484.5	3.05	\$31,023.31	\$45,843,920.77	\$60,582.00	\$16,491,941.77
Alfalfa	305.57	24.52	\$1,532.63	\$11,483,347.37	\$24,376.67	\$4,034,568.32
Maíz	936.5	9.97	\$3,383.33	\$31,589,830.79	\$19,350.00	\$13,468,555.79
Maíz Sec.	8155.95	9.69	\$3,352.20	\$264,928,239.47	\$21,246.00	\$91,646,925.77
Sorgos Sec.	5646.48	9.69	\$3,424.56	\$187,372,715.53	\$17,886.00	\$86,379,774.25

Fuente: Elaboración propia con información de Jefatura del Distrito de Riego 011 2016-2017

5.3. Restricciones.

El modelo diseñado está sujeto a 48 restricciones. Las mismas se agrupan en los siguientes rubros y corresponden a la disponibilidad de recursos durante el año 2016-2017.

24 restricciones de tierra cultivable disponible por mes durante el año agrícola.

24 restricciones de agua disponible por mes durante el año agrícola.

5.3.1. Tierra

La disponibilidad total de tierra cultivable fue estimada en 13,389.91 para el modulo del Valle y 18,376.51 para el módulo Cortázar. Esta cantidad se considera como el total de tierra cultivable por mes, y en el modelo se considera el hecho de que los cultivos hacen uso de tierra durante varios meses.

Tabla 15: Tierra disponible para los módulos M04 y M05 y superficie sembrada del ciclo 2016-2017.

Modulo	Superficie Disponible (ha)	Superficie Sembrada (ha)
M04 Valle	13,389.91	21,070.15
M05 Cortázar	18,376.51	29,835.12

Fuente: Elaboración propia con información de Jefatura del Distrito de Riego 011 2016-2017

5.3.2. Agua

La disponibilidad del agua en el modelo es el volumen bruto extraído y consumido por mes en el año agrícola 2016- 2017 cuantificado en decámetros cúbicos (dam³), de acuerdo con las estadísticas de los módulos de riego.

Tabla 16: Agua disponible para los módulos M04 y M05

Modulo	V. Asignado(dam ³) (promedio)	V. Utilizado (dam ³) (Ciclo 2016-2017)	
		Superficial	Pozo
M04 Valle	148,583.03	94,017.24	54,565.79
M05 Cortázar	165,725.76	112,250.72	53,475.04

Fuente: Elaboración propia con información de Jefatura del Distrito de Riego 011 2016-2017

El volumen total disponible se obtuvo a partir de la lámina bruta asignada a los cultivos por mes

Se utiliza la cantidad de los recursos agua y tierra reportadas para ese ciclo aun cuando en otros años pudieran haber sido diferentes.

5.4. Construcción del modelo

Con la información descrita anteriormente se construyó un modelo base de Programación Lineal, sujeto a la disponibilidad mensual de recursos y demás restricciones de máximos de superficies por cultivo y uso de agua mensual. Con este MPL Base se valida el patrón de cultivos durante el año agrícola 2016-2017.

El modelo incluye $j(1,2,\dots,j)$ actividades productivas para el modulo Valle, $k(1,2,\dots,k)$ para módulo Cortazar, la función objetivo maximiza el Ingreso Neto Total (INT) de los módulos M04 y M05

$$MAX INT = \sum_{j=1}^j C_j X_j + \sum_{k=1}^k C_k X_k$$

Donde:

$C_j, C_k,$ Ingreso neto de las actividades j,k .

$X_j, X_k,$ Cantidades optimas de superficie o volumen para cada actividad

La función objetivo está sujeta a:

$$\sum_{j=1}^j a_j x_j + \sum_{k=1}^k a_k x_k \leq A_t$$

$$\sum_{j=1}^j b_j x_j + \sum_{k=1}^k b_k x_k \leq B_t$$

$$X_j, X_k, \geq 0$$

Donde:

- a_j, b_j Coeficientes de tierra (a), agua (b) para los cultivos del módulo Valle.
- a_k, b_k Coeficientes de tierra (a), agua (b) para los cultivos de módulo Cortazar
- A_t, B_t Disponibilidad total mensual del recurso tierra y agua.

Se planteó un modelo base el cual maximiza el patrón de cultivo de ambos módulos de riego en el DR011, al mismo tiempo se calcula el óptimo económico en presencia de sequía con un 25% y 50% de agua disponible.

El segundo modelo se creó a partir del retiro de una política pública en el año 2019, que consiste en el retiro de apoyo económico para la comercialización de granos en este caso se redujo el apoyo de 800 pesos por hectárea para los granos cebada, trigo y maíz, por lo que se aumentó el costo de producción de estos granos, al mismo tiempo se calcula el óptimo económico en presencia de sequía con un 25% y 50% de agua disponible.

El tercer modelo se planteó la existencia de una variedad de semilla mejorada para el cultivo de la cebada y el trigo, las cuales requieren una menor cantidad de agua pero al mismo tiempo se reduce un 10%, por lo que para el modelo se disminuyó este 10% en el rendimiento de estos dos cultivos al mismo tiempo que la lámina de riego se redujo a un mes menos de riego, al igual que los otros dos modelos se calcula el óptimo económico en presencia de sequía con un 25% y 50% de agua disponible.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de la información se utilizó el programa LINDO 6.1, del cual se obtuvieron los resultados siguientes.

Se parte del patrón histórico, se asocia al uso de tierra y sobre todo de agua marginal que se desarrolla en el modelo analizado. Posteriormente se obtienen los resultados de los escenarios que se presentaron en la metodología.

El primer modelo que representa solo las restricciones de agua y tierra mensual, para los módulos Valle y Cortázar del DR011, se presenta en la tabla 17.

Tabla 17: Tabla Patrón de cultivos en condiciones de sequia

Patrón de cultivos		Histórico	Base	Base -25%	Base -50%
XCV	Cabada(Valle)	9205.79	2063.53	4895.16	4934.58
XTV	Trigo (Valle)	573.69	0.00	0.00	0
XALV	Alfalfa (Valle)	682.95	686.17	514.89	343.61
XMV	Maíz (Valle)	347	0.00	0	0
XMSV	Maíz Sec (Valle)	8408.81	9146.15	6850.44	4572.72
XSV	Sorgo (Valle)	1492.47	1494.14	1120.50	746.86
XCC	Cebada (Cortázar)	6925.83	4780.59	8416.98	6365
XTC	Trigo (Cortázar)	4956.99	0.00	0	0
XAC	Avena (Cortázar)	27.82	0.00	0	0
XBC	Brócoli (Cortázar)	571.1	0.00	0	0
XLC	Lechuga (Cortázar)	891.37	890.16	430.66	89.16
XCBC	Cebolla (Cortázar)	235	1192.92	894.81	596.69
XEC	Esparrago (Cortázar)	484.5	1003.57	751.78	501.78
XALC	Alfalfa(Cortázar)	305.57	0.00	0	0
XMC	Maíz (Cortázar)	936.5	0.00	0	0
XMSC	Maíz Sec.(Cortázar)	8155.95	0.00	0	5055.24

XSC	Sorgo (Cortázar)	5646.48	11701.67	8776.56	2826.35
-----	------------------	---------	----------	---------	---------

Tabla 18: Tabla Uso de tierra mensual en condiciones de sequía (ha)

	Base	Base -25%	Base -50%
MODULO VALLE			
octubre	686.17	514.9	343.62
noviembre	686.97	514.9	343.62
diciembre	2749.71	5410.06	5278.21
enero	2749.71	5410.06	5278.21
febrero	11895.86	12269.5	9850.93
marzo	13390	13390	10597.79
abril	11326.47	8494.84	5663.21
mayo	11326.47	8494.84	5663.21
junio	9832.33	7374.34	4916.35
julio	686.17	514.9	343.62
agosto	686.17	514.9	343.62
septiembre	686.17	514.9	343.62
Modulo Cortázar			
octubre	2196.497	1646.6	1098.49
noviembre	3086.67	16746.26	1187.66
diciembre	3086.67	16746.26	1187.66
enero	7867.26	10494.25	7552.66
febrero	18376	18376	12607.9
marzo	17485.84	18376	14837.56
abril	12705.25	17945.34	14748.4
mayo	1003.58	9528.36	8383.4
junio	1003.58	751.79	5557.04
julio	1003.58	751.79	501.79
agosto	1003.58	751.79	501.79

septiembre	18376	751.79	501.79
------------	-------	--------	--------

Figura 14. Uso de tierra (ha) en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.

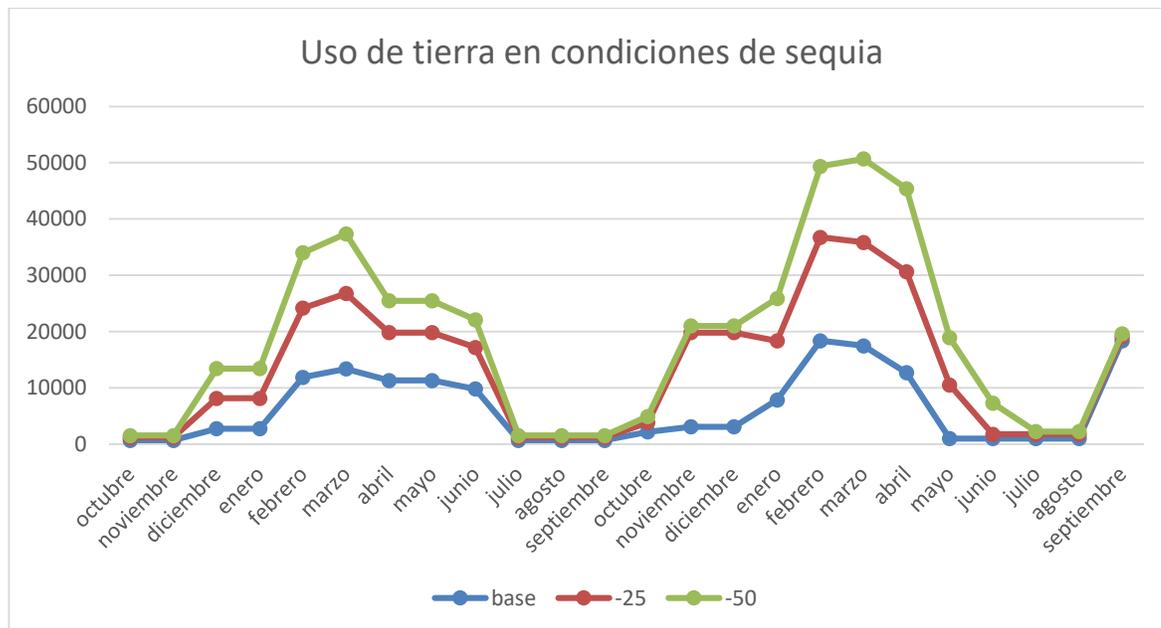
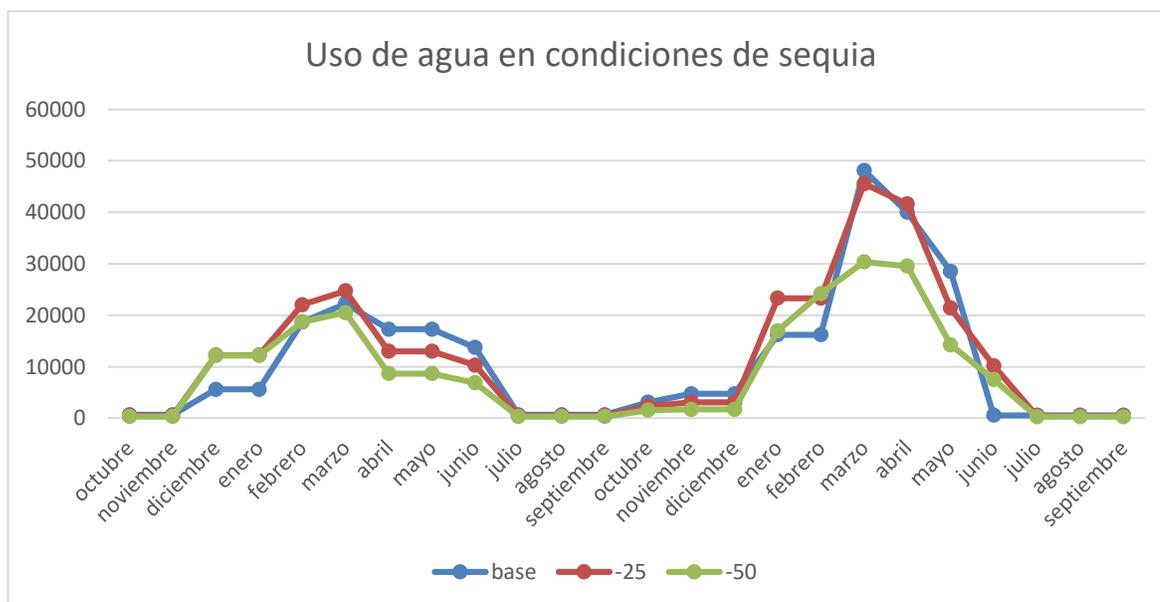


Tabla 19: Uso de agua mensual en condiciones de sequía (dam³)

	Base	Base -25%	Base -50%
MODULO VALLE			
octubre	645	484	323
noviembre	645	484	323
diciembre	5597	12233	12166
enero	5597	12233	12166
febrero	18675	22042	18705
marzo	22246	24720	20490
abril	17295	12971	8647
mayo	17295	12971	8647
junio	13724	10293	6862
julio	645	484	323

agosto	645	484	323
septiembre	645	484	323
MODULO CORTÁZAR			
octubre	3091	2318	1546
noviembre	4720	3106	1709
diciembre	4720	3106	1709
enero	16194	23307	16985
febrero	16193	23307	24215
marzo	48138	45534	30356
abril	40003	41597	29541
mayo	28529	21397	14265
junio	562	10181	7510
julio	562	421	281
agosto	562	421	281
septiembre	562	421	281

Figura 15. Uso de agua (dam3) en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.



Se realizó el análisis para el caso de la utilización de una variedad de semilla mejorada, la cual reduce el rendimiento en un 10% de rendimiento, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 20: Uso de tierra mensual, utilizando semilla mejorada en condiciones de sequía (ha)

	Mejoramiento de semilla	Mejoramiento -25%	Mejoramiento -50%
MODULO VALLE			
octubre	686.17	514.9	343.62
noviembre	686.17	514.9	343.62
diciembre	2749.71	5410.06	5278.21
enero	2749.71	5410.06	5278.21
febrero	11895.86	12269.5	9850.93
marzo	13390	13390	10597.79
abril	11326.47	8494.84	5663.21
mayo	11326.47	8494.84	5663.21
junio	9832.33	7374.34	4916.35
julio	686.17	514.9	343.62
agosto	686.17	514.9	343.62
septiembre	686.17	514.9	343.62
MODULO CORTÁZAR			
octubre	2196.497	1646.6	1098.49
noviembre	3086.67	2314.4	1098.69
diciembre	3086.67	2314.4	1098.69
enero	7867.26	9828.4	7802.69
febrero	7867.26	11486.1	12858
marzo	18376	18376	15087.6
abril	17485.84	17708.3	15087.5
mayo	12705.25	10194.3	8383.4

junio	1003.58	2409.5	5557.04
julio	1003.58	751.79	501.79
agosto	1003.58	751.79	501.79
septiembre	1003.58	751.79	501.79

Figura 16. Uso de tierra (ha), utilizando semilla mejorada en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.

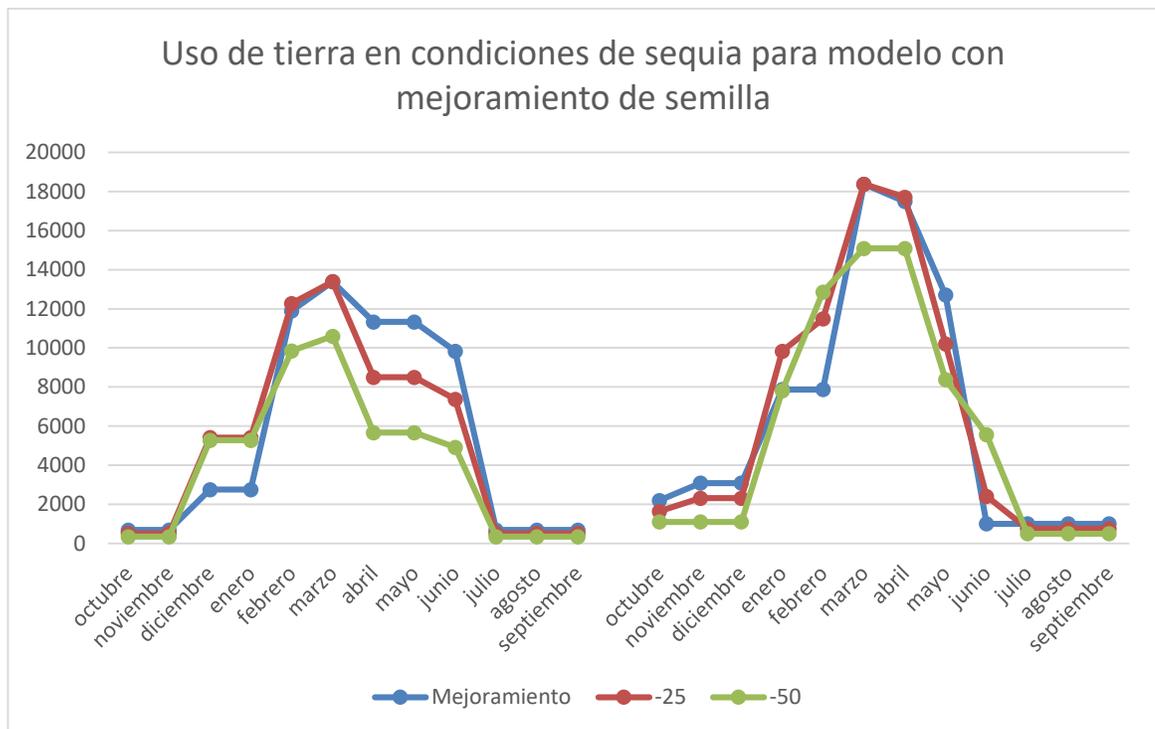
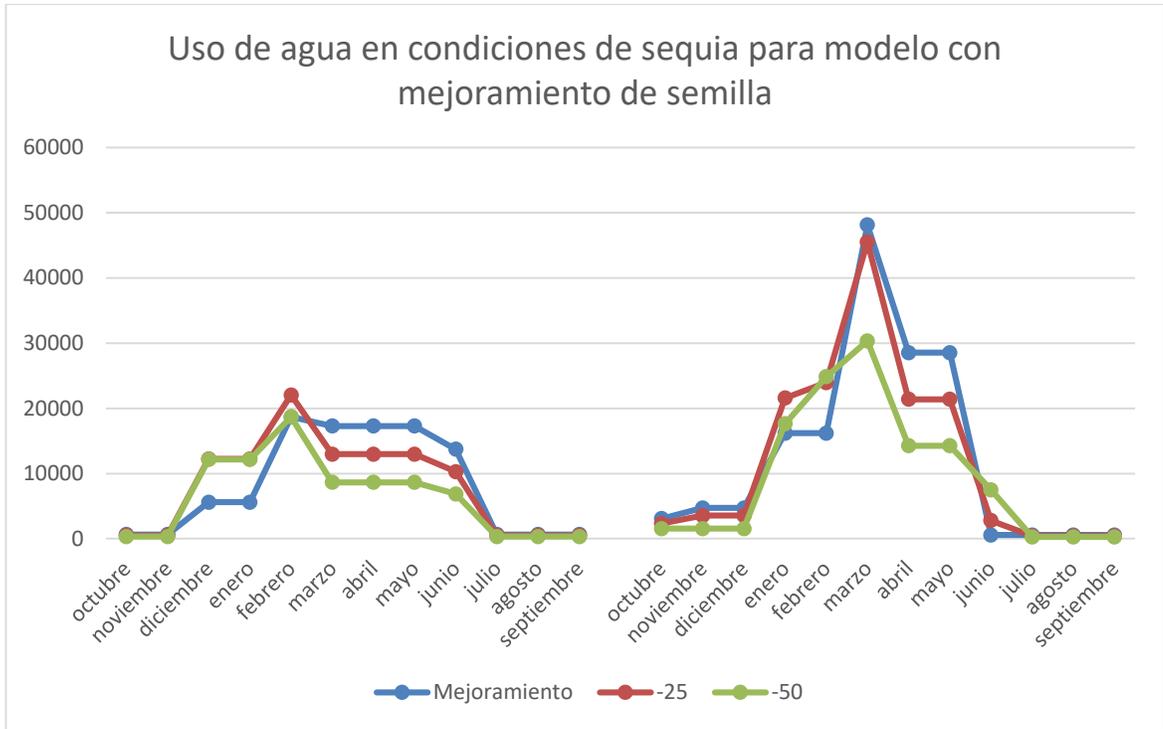


Tabla 21: Uso de agua mensual, utilizando semilla mejorada en condiciones de sequía (dam³)

	Mejoramiento de semilla	Mejoramiento -25%	Mejoramiento -50%
MODULO VALLE			
octubre	645	484	323
noviembre	645	484	323
diciembre	5597	12233	12166
enero	5597	12233	12166

febrero	18676	22042	18705
marzo	17295	12971	8647
abril	17295	12971	8647
mayo	17295	12971	8647
junio	13724	10293	6862
julio	645	484	323
agosto	645	484	323
septiembre	645	484	323
MODULO CORTÁZAR			
octubre	3091	2318	1546
noviembre	4720	3540	1547
diciembre	4720	3540	1547
enero	16194	21574	17636
febrero	16193	23944	24865
marzo	48138	45534	30356
abril	28529	21397	14265
mayo	28529	21397	14265
junio	562	2792	7510
julio	562	421	281
agosto	562	421	281
septiembre	562	421	281

Figura 17. Uso de agua (dam3) utilizando semilla mejorada en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.



En el último apartado se analizó el patrón de cultivos ante una nueva política agrícola, en la que se retiró un apoyo económico para la comercialización de granos, en este caso se redujo el apoyo de 800 pesos por hectárea para los granos cebada, trigo y maíz, los resultados son los siguientes:

Tabla 22: Uso de tierra mensual, implementando una política agrícola, en condiciones de sequía (ha)

	Politica	-25	-50
MODULO VALLE			
octubre	686.17	514.9	343.62
noviembre	686.17	514.9	343.62
diciembre	2749.71	5410.06	5278.21
enero	2749.71	5410.06	5278.21
febrero	11895.86	12269.5	9850.93
marzo	13390	13390	10597.79

abril	11326.47	8494.84	5663.21
mayo	11326.47	8494.84	5663.21
junio	9832.33	7374.34	4916.35
julio	686.17	514.9	343.62
agosto	686.17	514.9	343.62
septiembre	686.17	514.9	343.62
MODULO CORTÁZAR			
octubre	2196.5	1646.6	1098.49
noviembre	3086.67	2314.4	1187.69
diciembre	3086.67	2314.4	1187.69
enero	7867.26	9828.4	7552.7
febrero	7867.26	11486.1	12607.9
marzo	18376	18376	14837.6
abril	17485.84	17708.3	14748.4
mayo	12705.25	10194.3	8383.4
junio	1003.58	2409.5	5557.04
julio	1003.58	751.79	501.79
agosto	1003.58	751.79	501.79
septiembre	1003.58	751.79	501.79

Figura 18. Uso de tierra (ha), implementando una política agrícola, en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.

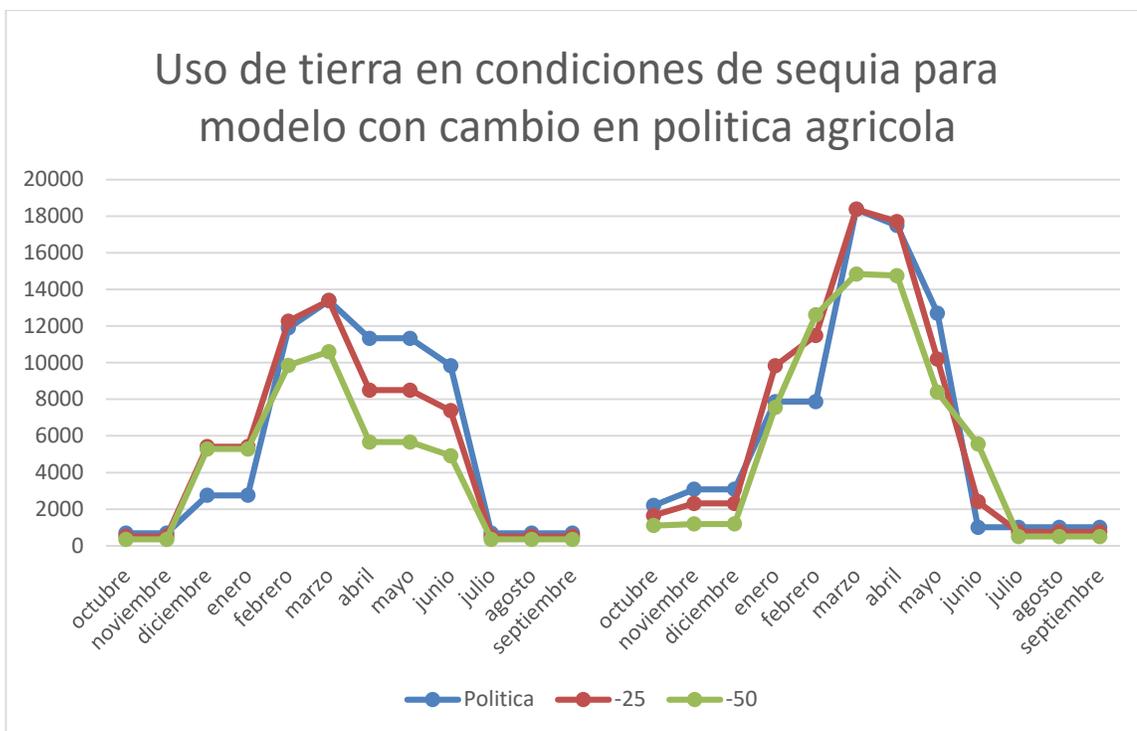
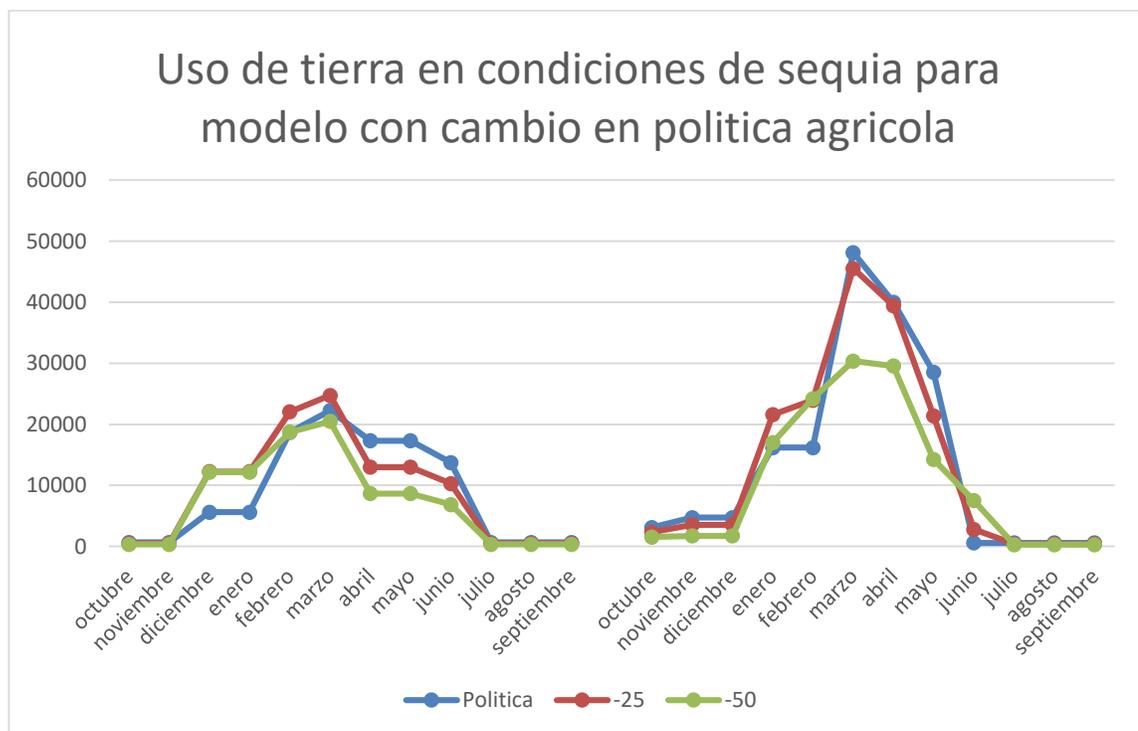


Tabla 23: Uso de agua mensual, implementando una política agrícola, en condiciones de sequía (dam³)

	Política	-25	-50
MODULO VALLE			
octubre	645	484	323
noviembre	645	484	323
diciembre	5597	12233	12166
enero	5597	12233	12166
febrero	18676	22042	18705
marzo	22247	24720	20490
abril	17295	12971	8647
mayo	17295	12971	8647
junio	13724	10293	6862
julio	645	484	323
agosto	645	484	323
septiembre	645	484	323

MODULO CORTÁZAR			
octubre	3091	2318	1546
noviembre	4720	3540	1709
diciembre	4720	3540	1710
enero	16194	21574	16985
febrero	16193	23944	24215
marzo	48138	45534	30356
abril	40003	39430	29541
mayo	28529	21397	14265
junio	562	2792	7510
julio	562	421	281
agosto	562	421	281
septiembre	562	421	281

Figura 19. Uso de agua (dam3) implementando una política agrícola, en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.



Después de analizados los tres panoramas del modelo, se compararon los tres diferentes situaciones y se presentan en la tabla 24.

Tabla 24: Uso de superficie mensual (ha), para los tres diferentes panoramas.

	Base	Mejoramiento de semilla	Política agrícola
MODULO VALLE			
octubre	645	686.17	686.17
noviembre	645	686.17	686.17
diciembre	5597	2749.71	2749.71
enero	5597	2749.71	2749.71
febrero	18676	11895.86	11895.86
marzo	22247	13390	13390
abril	17295	11326.47	11326.47
mayo	17295	11326.47	11326.47
junio	13724	9832.33	9832.33
julio	645	686.17	686.17
agosto	645	686.17	686.17
septiembre	645	686.17	686.17
MODULO CORTÁZAR			
octubre	3091	2196.497	2196.5
noviembre	4720	3086.67	3086.67
diciembre	4720	3086.67	3086.67
enero	16194	7867.26	7867.26
febrero	16193	7867.26	7867.26
marzo	48138	18376	18376
abril	40003	17485.84	17485.84
mayo	28529	12705.25	12705.25

junio	562	1003.58	1003.58
julio	562	1003.58	1003.58
agosto	562	1003.58	1003.58
septiembre	562	1003.58	1003.58

Figura 20. Comparación del uso de suelo mensual (ha) para los tres diferentes panoramas para los módulos Valle y Cortázar del DR011.

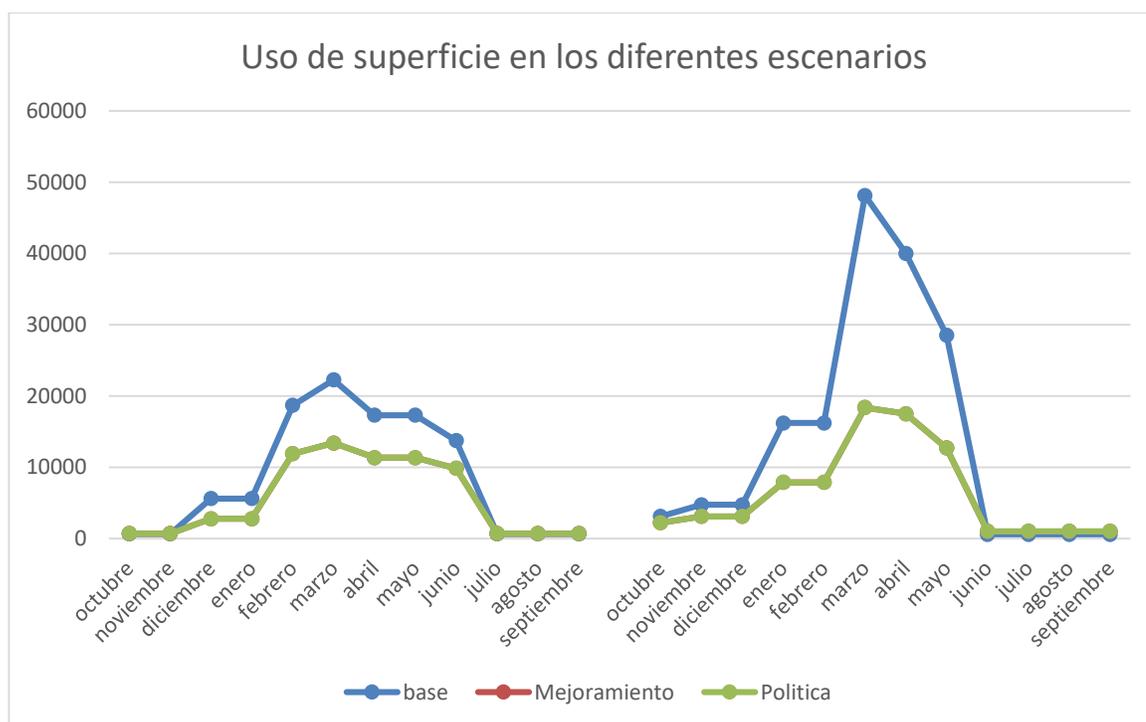
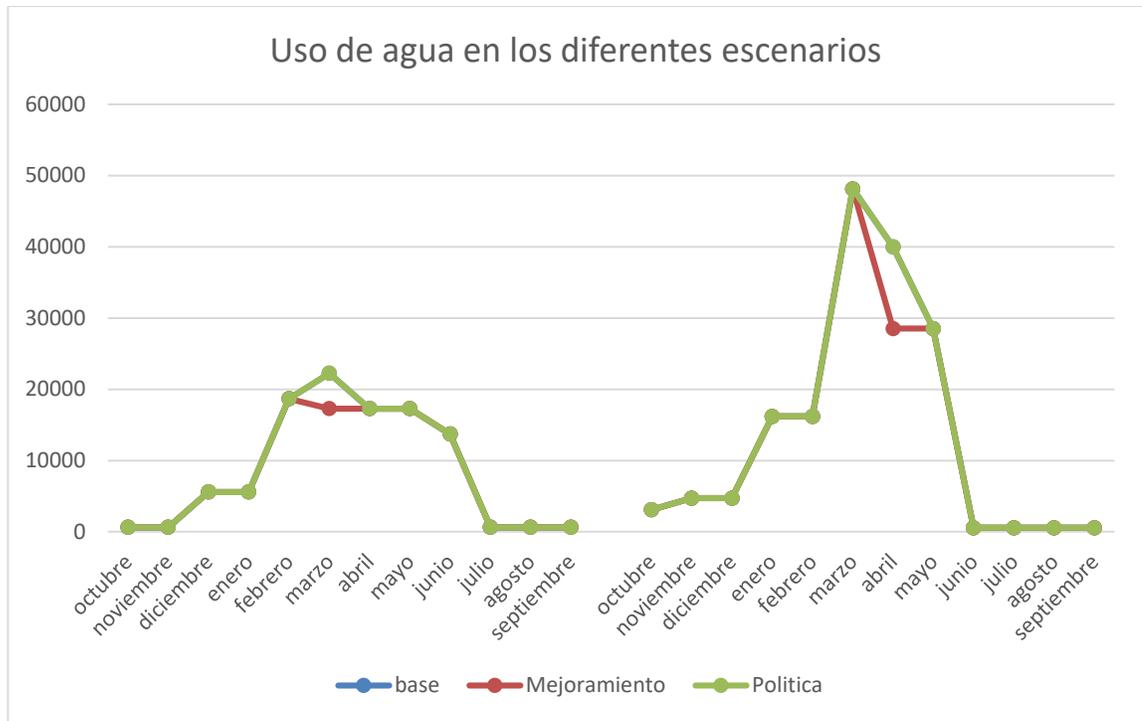


Tabla 25: Uso de agua mensual (dam³) para los tres diferentes panoramas.

	Base	Mejoramiento de semilla	Política agrícola
MODULO VALLE			
octubre	645	645	645
noviembre	645	645	645
diciembre	5597	5597	5597

enero	5597	5597	5597
febrero	18676	18676	18676
marzo	22247	17295	22247
abril	17295	17295	17295
mayo	17295	17295	17295
junio	13724	13724	13724
julio	645	645	645
agosto	645	645	645
septiembre	645	645	645
MODULO CORTÁZAR			
octubre	3091	3091	3091
noviembre	4720	4720	4720
diciembre	4720	4720	4720
enero	16194	16194	16194
febrero	16193	16193	16193
marzo	48138	48138	48138
abril	40003	28529	40003
mayo	28529	28529	28529
junio	562	562	562
julio	562	562	562
agosto	562	562	562
septiembre	562	562	562

Figura 21. Uso de agua mensual (dam³) para los tres diferentes panoramas para los módulos Valle y Cortázar del DR011.



La utilización del software también nos permitió obtener los precios sombra del agua por cada una de las situaciones.

Figura 22. Precio sombra del agua, para el modelo base, en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.

Mes	Base	Base -25% agua	Base -50% agua
MODULO VALLE			
octubre	0.00	0.00	0.00
noviembre	0.00	0.00	0.00
diciembre	0.00	0.00	0.00
enero	0.00	0.00	0.00
febrero	0.00	0.00	4309.17
marzo	0.00	0.00	0.00
abril	0.00	0.00	0.00
mayo	1052.72	1052.72	5379.92

junio	7708.12	7708.12	6303.92
julio	0.00	0.00	0.00
agosto	0.00	0.00	0.00
septiembre	29500.86	29500.86	33270.82
MODULO CORTÁZAR			
octubre	20564.90	30359.43	30359.43
noviembre	9794.54	0.00	0.00
diciembre	0.00	0.00	0.00
enero	0.00	0.00	0.00
febrero	0.00	0.00	0.00
marzo	0.00	2659.35	3278.99
abril	0.00	0.00	1740.17
mayo	1360.67	1371.80	1381.67
junio	0.00	0.00	1457.21
julio	0.00	0.00	0.00
agosto	0.00	0.00	0.00
septiembre	7553.11	16279.84	22566.45

Figura 23. Precio sombra del agua para el modelo con política agrícola, en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.

Mes	Mejoramiento	Mejoramiento - 50%	Mejoramiento - 25%
MODULO VALLE			
octubre	0.00	0.00	0.00
noviembre	0.00	0.00	0.00
diciembre	0.00	0.00	0.00
enero	0.00	0.00	0.00
febrero	0.00	0.00	3100.00
marzo	0.00	0.00	0.00
abril	0.00	0.00	0.00

mayo	2266.95	2266.95	5379.92
junio	8523.26	8523.26	7513.09
julio	0.00	0.00	0.00
agosto	0.00	0.00	0.00
septiembre	30558.73	30558.73	33270.82
MODULO CORTÁZAR			
octubre	19009.71	25166.86	29666.32
noviembre	11349.73	5192.57	0.00
diciembre	0.00	0.00	0.00
enero	0.00	0.00	0.00
febrero	0.00	0.00	693.11
marzo	0.00	1671.75	3140.22
abril	0.00	0.00	0.00
mayo	2551.46	2558.46	3260.62
junio	0.00	0.00	764.09
julio	0.00	0.00	0.00
agosto	0.00	0.00	0.00
septiembre	11444.46	16930.35	23259.57

Figura 24. Precio sombra del agua para el modelo con mejoramiento de semilla, en condiciones de sequía para los módulos Valle y Cortázar del DR011.

Mes	Politica	Politica -25%	Politica -50%
MODULO VALLE			
octubre	0.00	0.00	0.00
noviembre	0.00	0.00	0.00
diciembre	0.00	0.00	0.00
enero	0.00	0.00	0.00
febrero	3100.00	0.00	3975.83
marzo	0.00	0.00	0.00
abril	0.00	0.00	0.00

mayo	5379.92	1387.45	5379.92
junio	7513.09	7932.83	6637.26
julio	0.00	0.00	0.00
agosto	0.00	0.00	0.00
septiembre	33270.82	29792.49	33270.82
MODULO CORTÁZAR			
octubre	29666.32	29424.70	30359.43
noviembre	0.00	934.73	0.00
diciembre	0.00	0.00	0.00
enero	0.00	0.00	0.00
febrero	693.11	0.00	0.00
marzo	3140.22	2524.25	3278.99
abril	0.00	0.00	1406.84
mayo	3260.62	1705.96	1715.00
junio	764.09	0.00	1457.21
julio	0.00	0.00	0.00
agosto	0.00	0.00	0.00
septiembre	23259.57	16930.35	22566.45

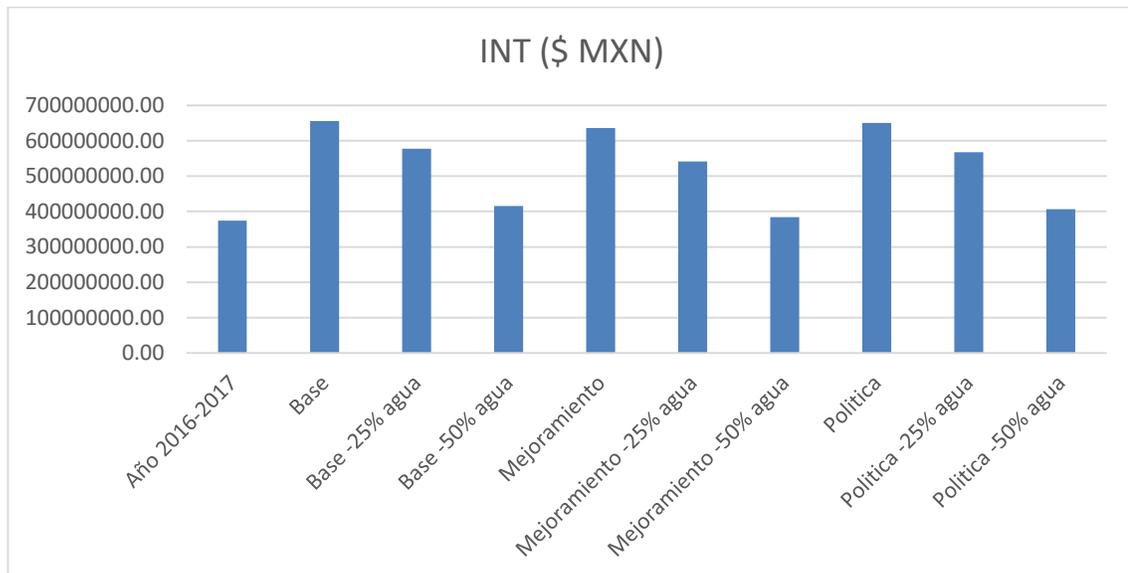
Así mismo se realizó una comparación a nivel económico y en la tabla se presentan los resultados:

Tabla 26: Ingreso Neto Total, para cada uno de los escenarios (\$ MXN)

	INT (\$ MXN)
Año 2016-2017	374643979.00
Base	655717400.00
Base -25% agua	577496000.00
Base -50% agua	416000700.00

Mejoramiento	636123500.00
Mejoramiento -25% agua	541588500.00
Mejoramiento -50% agua	384016800.00
Politica	650242200.00
Politica -25% agua	567251900.00
Politica -50% agua	406961000.00

Figura 25. Representación grafica del Ingreso Neto Total, para cada uno de los escenarios (\$ MXN) para los módulos Valle y Cortázar del DR011.



7. CONCLUSIONES

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

Con lo anterior el patrón de cultivo con un valor de 374.643979 millones de pesos está por debajo del óptimo, el cual tiene un valor de 655.717400 millones de pesos.

BIBLIOGRAFÍA

- ARAGÓN, J. H. (2009). LA ECONOMÍA DEL AGUA: una aproximación para su gestión responsable. *Aventuras del Pensamiento*, 1-7.
- Binger Brian R. and Hoffman Elizabeth. (1988). *Microeconomics with Calculus*. Scott, Foresman and Company. Glenview, Illinois
- Chiang, Alpha C. (2007). *Metodos Fundamentales de Economia Matematica*. Cuarta edicion. Mc Graw Hill.
- CONAGUA. (2011). *Comisión Nacional del Agua*. Recuperado el 11 de Agosto de 2018, de <http://www.conagua.gob.mx>
- CONAGUA, C. N. (2017). *Estadísticas del Agua en México, Edición 2017*. Coyoacán, México, Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- Florencio-Cruz, V., Valdivia-Alcalá, R., & A. Scott, C. (2002). Productividad del agua en el distrito de riego 011, Alto Rio Lerma. *Agrociencia*, 36(4), 483–493.
- Freeman III Myrck A. , Aerrirges Joseph and Kling Catherine L. (2014) *The Measurement of Environmental and Resource Values Theory and Methods*. Third Edition. RFF PRESS.
- García-Salazar, J. A., Mora-Flores, J. S., Martinez-Damian, M. A., Valdivia-Alcalá, R., Godínez-Montoya, L., Fortis-hernández, M., & Hernandez-Martinez, J. (2007). Economic Value of Water in Agriculture of the Laguna Region.
- Guzman S. E., Garcia S. J.A., Mora F. J.S., Fortis H. M., Valdivia A. R., y Portillo V. M. (2006). La Demanda de Agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia*, noviembre-diciembre, año/vol. 40, número 006.
- Harou, J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D. E., Medellin-Azuara, J., Lund, J., & Howitt, R. E. (2009). Hydro-Economic Models: Concepts, Design, Applications, and Future Prospects. *Journal of Hydrology*, 375, 627–643. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.037>. This
- Hazell, P. B. R., & D. Norton, R. (1986). *Mathematical Programming for Economic Analysis In Agriculture*. (R. D. Norton, Ed.). New York, NY: Macmillan.
- Henderson J. M. & Quant. R. E. (1980). *Microeconomic Theory. A Mathematical Approach*. McGraw-Hill Book Company.
- Howitt, R. E., Medellin, Azuara, J. MacEwan, D, & Lund, J.R. (2012). Environmental Modelling & Software. 38 (2012) 244-258. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/envsoft. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.06.013>
- INEGI. (2018). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado el 10 de Agosto de 2018, de <http://www.inegi.org.mx>
- Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato(IEE) (2011). Diagnostico Climatologico y prospectiva sobre vulnerabilidad al cambio climatico en el Estado de Guanajuato. (SEMARNAT, INE, CCAUG, & IEE, Eds.).
- IMTA-SEMARNAT. (2009). Estrategía general para el rescate ambiental y sustentabilidad de la Cuenca Lerma-Chapala, 250.
- Johansson, R. C., Tsur, Y., Roe, T. L., Doukkali, R., & Dinar, A. (2002). Pricing irrigation water: A review of theory and practice. *Water Policy*, 4(2), 173–199.

[https://doi.org/10.1016/S1366-7017\(02\)00026-0](https://doi.org/10.1016/S1366-7017(02)00026-0)

- Kaiser Harry M, & Messer Kent D. (2011) *Mathematical Programming for Agricultural, Environmental, and Resource Economics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Martinez-Pérez, R. (2013). *Evaluación del Distrito de Riego 011 Alto Rio Lerma a 20 años de su transferencia*. Colegio de Postgraduados.
- Medellin-Azuara, J., Howitt, R. E., Waller-Barrera, C., Mendoza-Espinosa, L. G., Lund, J. R., & Taylor, J. E. (2009). A calibrated agricultural water demand model for three regions in northern baja california. *Agrociencia*, 43.
- Medellín-Azuara, J., Lund, J. R., & Howitt, R. E. (2007). Water Supply Analysis for Restoring the Colorado River Delta, Mexico. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(5), 462–471.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2007\)133:5\(462\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9496(2007)133:5(462))
- Mestre, J. E. (1997). La cuenca Lerma-Chapala, Mexico. *Attributions and Experiences in Water Management in Mexico*.
- Nicholson W. & Synder C. (2007). *Intermediate Microeconomics, and its applications*. 10th Edition. Thomson, South-western.
- OCDE. (2012) *Gobernabilidad del Agua en America Latina y el Caribe: Un enfoque multinivel*. Editions OCDE.
<http://dx.doi.org/10.1787/9789264079779-es>
- ONU. (1992). *Dublin-Rio Principles*. In *International Conference on Water and the Environment (ICWE)*.
- Plan Nacional de Desarrollo. (2013). *Programa Nacional Hídrico 2014-2018*. Tlalpan, Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ramirez, C. J., Cruz, G. F., Magaña, Z. J., Martínez, A. G., Reyes, M. A., & Sainz, Z. R. (2017). LA DEMANDA DEL AGUA Y SU ASIGNACIÓN EFICIENTE EN LA AGRICULTURA: UN CASO EN GUANAJUATO, MÉXICO. *Revista de temas de coyuntura y perspectivas. Economía coyuntural*, 145-180.
- Rasmussen Svend. (2011). *Production Economics. The Basic Theory of Production Optimisation*.
- Rubiños-Panta, J.E., Martinez-Damián, M. A., Palacios-Vèlez, E. Hernández-Acosta, E., Valdivia-Alcalà, R. (2007). Valor Económico del Agua y análisis de las transmisiones de Derechos de Agua en Distritos de Riego en México. *Terra Latinoamericana*, Vol. 25, Núm. 1, enero-marzo 2007. Universidad Autónoma Chapingo. México
- Sadoff, C., & Muller, M. (2010). *La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos anticipados y Respuestas Esenciales. TEC BACKGROUND PAPERS(14)*.
- Scheierling, S. M., Treguer, D. O., Booker, J. F., & Decker, E. (2014). *How to Assess Agricultural Water Productivity ? Looking for Water in the Agricultural Productivity and Efficiency Literature* (Water Global Practice Group and Agriculture Global Practice Group No. 6982). *Policy Research Working Papers*.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. 2017.

UNESCO. (2009). *WATER IN A CHANGING WORD*. London, United Kingdom:
UNESCO. Obtenido de <http://publishing.unesco.org/>
Varian, H. R. (2010). *Microeconomía Intermedia: Un enfoque actual* (5a ed.)
Young, R. A., & Loomis, J. B. (2014). *Determining the Economic Value of Water*
(Second Edi). Taylor & Francis.

ANEXOS

Anexo 1. Agua de pozo entregada mensualmente al módulo Cortázar del DR.011 para el padrón de cultivos 2016-2017 (dam3)

ACTIVIDAD	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
OTOÑO - INVIERNO													
AJO	-	90.21	-	45.47	-	93.26	46.63	-	-	-	-	-	551.16
BROCOLI	371.58	294.02	814.95	764.02	262.76	1279.37	294.74	-	-	-	-	-	8162.86
CACAHUATE	-	-	-	2.32	-	-	-	-	-	-	-	-	4.63
CEBADA	-	675.05	2683.05	4444.32	3581.47	3384.00	118.63	-	-	-	-	-	29773.04
CEBOLLA	231.37	268.74	286.42	201.05	186.21	180.32	-	-	-	-	-	-	2708.20
CHILE	-	-	-	33.05	27.58	-	-	-	-	-	-	-	121.26
COLIFLOR	309.47	22.63	276.32	177.26	9.05	296.42	22.63	-	-	-	-	-	2227.58
FRIJOL	-	-	-	43.37	-	-	-	-	-	-	-	-	86.74
GARBANZO	-	-	7.05	19.05	-	-	-	-	-	-	-	-	52.21
LECHUGA	714.84	953.66	259.47	1388.29	1082.29	971.05	55.37	-	-	-	-	-	10849.96
TOMATE R.	-	-	-	22.32	18.21	-	-	-	-	-	-	-	81.05
TRIGO	-	84.31	892.52	1886.84	1651.05	2182.42	635.79	-	-	-	-	-	14665.89
ZANAHORIA	4.53	0.00	3.79	4.53	-	3.79	-	-	-	-	-	-	33.26
PRIMAVERA - VERANO													
CEBADA	-	-	-	-	9.26	-	-	-	-	-	-	-	18.53
LECHUGA	-	-	-	-	35.68	-	-	-	-	-	-	-	71.37
TRIGO	-	-	-	-	301.37	-	-	-	-	-	-	-	602.74
P E R E N N E S													
ALFALFA	-	227.05	64.84	328.32	223.16	331.26	123.05	106.42	118.74	-	-	-	3045.68
ESPARRAGO	-	484.95	388.63	234.63	239.79	645.68	-	390.53	194.63	-	-	-	5157.68
FRESA	-	56.63	-	177.05	-	274.53	-	-	-	-	-	-	1016.42
SEGUNDOS CULTIVOS													
LECHUGA	-	-	-	-	-	-	-	41.79	-	-	-	-	83.58
MAIZ	-	-	-	-	-	-	-	4654.36	6612.73	-	-	-	22534.17
SORGO	-	-	-	-	-	-	-	353.16	2197.89	-	-	-	5102.11

Anexo 2. Agua de gravedad entregada mensualmente al módulo Cortázar del DR. 011 para el padrón de cultivos 2016-2017 (dam3)

Actividad	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
OTOÑO - INVIERNO													
AVENA F.	-	-	3.43	79.36	18.87	15.53	-	-	-	-	-	-	117.18
CACAHUATE	-	-	-	27.69	-	-	5.50	-	-	-	-	-	33.19
CEBADA	-	-	8,493.57	4,897.38	6,882.54	8,187.91	161.86	-	-	-	-	-	28,623.26
FRIJOL	-	-	11.14	21.47	7.97	32.60	9.98	-	-	-	-	-	83.16
GARBANZO	-	-	63.84	142.43	-	-	-	-	-	-	-	-	206.27
LECHUGA	-	-	7.57	10.66	4.94	8.94	-	-	-	-	-	-	32.11
TRIGO	-	-	8,723.55	4,326.57	6,286.42	9,267.49	5,587.59	-	-	-	-	-	34,191.62
PRIMAVERA - VERANO													
AVENA F.	-	-	-	-	4.94	4.25	-	-	-	-	-	-	9.19
CACAHUATE	-	-	-	-	9.32	9.16	-	-	-	-	-	-	18.48
CEBADA	-	-	-	-	65.47	-	-	-	-	-	-	-	65.47
FRIJOL	-	-	-	-	30.32	-	-	-	-	-	-	-	30.32
GARBANZO	-	-	-	-	74.00	4.58	-	-	-	-	-	-	78.58
MAIZ	-	-	-	-	48.17	431.21	1,209.69	1,562.69	803.01	-	545.98	166.05	4,766.81

SORGO	-	-	-	-	-	27.70	11.77	20.63	-	-	-	-	60.11
TOMATE	-	-	-	-	3.26	2.79	3.33	-	-	-	-	-	9.38
P E R E N N E S													
ALFALFA	-	-	18.85	18.36	18.42	24.35	14.59	25.51	4.96	-	-	-	125.04
ESPARRAGO	-	-	-	7.55	4.72	-	-	-	-	-	-	-	12.27
S E G U N D O S C U L T I V O S													
LECHUGA	-	-	-	-	-	-	-	4.46	-	-	-	-	4.46
MAIZ	-	-	-	-	-	-	-	7,312.84	2,004.98	-	2,111.91	473.14	11,902.86
SORGO	-	-	-	-	-	-	-	10,285.15	2,061.89	-	502.62	245.10	13,094.76

Fuente: Elaboración propia con información de Jefatura del Distrito de Riego 2016-2017

Anexo3. Agua de pozo entregada mensualmente al módulo Valle del DR. 011 para el padrón de cultivos 2016-2017 (dam3)

Actividad	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
O T O Ñ O - I N V I E R N O													
AJO	24.22	20.46	55.06	108.46	63.08	-	-	-	-	-	-	-	542.55
AVENA F.	-	-	-	12.69	9.88	-	-	-	-	-	-	-	45.15
BROCOLI	44.11	37.55	110.14	241.89	209.01	-	-	-	-	-	-	-	1285.44
CEBADA	-	38.31	9215.13	5247.08	8792.46	6045.94	-	-	-	-	-	-	58677.84
CEBOLLA	77.26	65.81	143.01	276.92	70.94	-	-	-	-	-	-	-	1267.86

GARBANZO	-	-	9.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.42
LECHUGA	-	-	80.37	151.95	-	-	-	-	-	-	-	-	464.65
TRIGO	-	-	124.64	195.85	238.17	265.84	-	-	-	-	-	-	1649.01
ZANAHORIA	-	-	164.38	79.77	78.92	-	-	-	-	-	-	-	646.13
PRIMAVERA - VERANO													
FRIJOL	-	-	-	-	9.36	52.03	32.46	-	-	-	-	-	187.69
MAIZ	-	-	-	-	70.82	174.52	190.08	218.37	213.73	-	-	-	1735.05
PERENNES													
ALFALFA	145.20	120.16	592.06	1167.62	710.56	462.97	590.36	773.80	242.43	-	-	-	9610.30
SEGUNDOS CULTIVOS													
BROCOLI	-	-	-	-	-	-	36.78	29.39	56.41	-	-	-	245.16
MAIZ	-	-	-	-	-	-	1852.40	9599.73	4663.60	-	-	-	32231.46
SORGO	-	-	-	-	-	-	28.22	116.86	116.87	-	-	-	523.89

Fuente: Elaboración propia con información de Jefatura del Distrito de Riego 2016-2017

Anexo 4. Agua de gravedad entregada mensualmente al módulo Valle del DR. 011 para el padrón de cultivos 2016-2017 (dam3)

Actividad	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	TOTAL
OTOÑO - INVIERNO													
AVENA F.	-	-	41.87	14.94	41.05	8.89	-	-	-	-	-	-	106.75
BROCOLI	-	-	17.19	51.40	28.14	18.89	-	-	-	-	-	-	115.63
CEBADA	-	-	13,316.57	4,650.27	11,721.39	11,900.90	-	8.26	-	-	-	-	41,589.12
GARBANZO	-	-	3.85	8.23	3.84	-	-	-	-	-	-	-	15.92
TRIGO	-	-	1,296.03	407.10	1,034.18	1,789.43	-	-	-	-	-	-	4,526.74

PRIMAVERA - VERANO													
FRIJOL	-	-	-	-	2.05	-	-	-	-	-	-	-	2.05
MAIZ	-	--	-	-	176.22	411.98	204.48	509.56	491.05	-	-	-	588.21
SORGO	-	-	-	-	-	10.10	-	-	-	-	-	-	10.10
P E R E N N E S													
ALFALFA	-	-	290.80	306.32	352.96	404.73	-	482.98	81.96	-	-	-	1,354.80
S E G U N D O S C U L T I V O S													
MAIZ	-	-	-	-	-	-	-	12,331.37	3,581.53	-	913.99	-	-
SORGO	-	-	-	-	-	-	-	4,878.24	892.77	-	42.72	-	-

Fuente: Elaboración propia con información de Jefatura del Distrito de Riego 2016-2017

Anexo 5 -Salida del programa LINDO 6.1 para el modelo BASE.

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 10

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.6557174E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XCV	2063.533691	0.000000
XTV	0.000000	5009.000000
XALV	686.170227	0.000000
XMV	0.000000	3483.475830
XMSV	9146.154297	0.000000
XSV	1494.142212	0.000000
XCC	4780.590820	0.000000
XTC	0.000000	5660.000000
XAC	0.000000	6338.000000
XBC	0.000000	98371.585938
XLC	890.163940	0.000000
XCBC	1192.924561	0.000000
XEC	1003.571411	0.000000
XALC	0.000000	35759.820312
XMC	0.000000	1677.974976
XMSC	0.000000	2754.757324
XSC	11701.673828	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	12703.830078	0.000000
3)	12703.830078	0.000000
4)	10640.295898	0.000000
5)	10640.295898	0.000000
6)	1494.142212	0.000000
7)	0.000000	10342.000000
8)	2063.533691	0.000000
9)	2063.533691	0.000000
10)	3557.676025	0.000000
11)	12703.830078	0.000000
12)	12703.830078	0.000000
13)	12703.830078	0.000000
14)	16179.503906	0.000000
15)	15289.339844	0.000000
16)	15289.339844	0.000000
17)	10508.749023	0.000000

18)	10508.749023	0.000000
19)	0.000000	12046.000000
20)	890.163940	0.000000
21)	5670.754883	0.000000
22)	17372.427734	0.000000
23)	17372.427734	0.000000
24)	17372.427734	0.000000
25)	17372.427734	0.000000
26)	0.000000	0.000000
27)	0.000000	0.000000
28)	18735.519531	0.000000
29)	18735.519531	0.000000
30)	18734.519531	0.000000
31)	18734.519531	0.000000
32)	0.000000	0.000000
33)	0.000000	1052.719604
34)	0.000000	7708.119629
35)	0.000000	0.000000
36)	0.000000	0.000000
37)	0.000000	29500.863281
38)	0.000000	20564.898438
39)	0.000000	9794.535156
40)	55.000000	0.000000
41)	19079.582031	0.000000
42)	33537.582031	0.000000
43)	12573.483398	0.000000
44)	19079.582031	0.000000
45)	0.000000	1360.669434
46)	14457.000000	0.000000
47)	0.000000	0.000000
48)	0.000000	0.000000
49)	0.000000	7553.110840

NO. ITERATIONS= 10

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
XCV	10342.000000	2516.000000	5009.000000
XTV	5333.000000	5009.000000	INFINITY
XALV	46308.000000	INFINITY	27730.812500
XMV	32703.000000	3483.476074	INFINITY
XMSV	22870.000000	42186.234375	1688.600708
XSV	12858.000000	18422.406250	2516.000000
XCC	12046.000000	3252.000000	5660.000000
XTC	6386.000000	5660.000000	INFINITY
XAC	5708.000000	6338.000000	INFINITY
XBC	9708.000000	98371.578125	INFINITY
XLC	29970.000000	37633.761719	17923.998047
XCBC	64362.000000	16012.595703	43597.585938
XEC	34039.000000	INFINITY	4229.742188
XALC	13203.000000	35759.820312	INFINITY
XMC	14382.000000	1677.974854	INFINITY
XMSC	11237.000000	2754.757324	INFINITY
XSC	15298.000000	18051.935547	1359.443726

ROW	CURRENT RHS	RIGHTHAND SIDE RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	13390.000000	INFINITY	12703.830078
3	13390.000000	INFINITY	12703.830078
4	13390.000000	INFINITY	10640.295898
5	13390.000000	INFINITY	10640.295898
6	13390.000000	INFINITY	1494.142212
7	13390.000000	1494.142212	2063.533691
8	13390.000000	INFINITY	2063.533691
9	13390.000000	INFINITY	2063.533691
10	13390.000000	INFINITY	3557.676025
11	13390.000000	INFINITY	12703.830078
12	13390.000000	INFINITY	12703.830078
13	13390.000000	INFINITY	12703.830078
14	18376.000000	INFINITY	16179.503906
15	18376.000000	INFINITY	15289.339844
16	18376.000000	INFINITY	15289.339844
17	18376.000000	INFINITY	10508.749023

18	18376.000000	INFINITY	10508.749023
19	18376.000000	890.163940	4780.590820
20	18376.000000	INFINITY	890.163940
21	18376.000000	INFINITY	5670.754883
22	18376.000000	INFINITY	17372.427734
23	18376.000000	INFINITY	17372.427734
24	18376.000000	INFINITY	17372.427734
25	18376.000000	INFINITY	17372.427734
26	645.000000	INFINITY	0.000000
27	645.000000	INFINITY	0.000000
28	24333.000000	INFINITY	18735.519531
29	24333.000000	INFINITY	18735.519531
30	37411.000000	INFINITY	18734.519531
31	40982.000000	INFINITY	18734.519531
32	17295.000000	INFINITY	0.000000
33	17295.000000	0.000000	3571.000000
34	13724.000000	3571.000000	13079.000977
35	645.000000	INFINITY	0.000000
36	645.000000	INFINITY	0.000000
37	645.000000	0.000000	645.000000
38	3091.000000	1629.000000	2529.000000
39	4720.000000	55.000000	1629.000000
40	4775.000000	INFINITY	55.000000
41	35273.000000	INFINITY	19079.582031
42	49731.000000	INFINITY	33537.582031
43	60712.000000	INFINITY	12573.483398
44	59082.000000	INFINITY	19079.582031
45	28529.000000	11425.612305	19000.083984
46	15019.000000	INFINITY	14457.000000
47	562.000000	INFINITY	0.000000
48	562.000000	INFINITY	0.000000
49	562.000000	0.000000	562.000000

Anexo 5 -Salida del programa LINDO 6.1 para el modelo BASE -25%agua.

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.5774960E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XCV	4895.163574	0.000000
XTV	0.000000	5009.000000
XALV	514.893616	0.000000
XMV	0.000000	3483.475830
XMSV	6859.440430	0.000000
XSV	1120.502075	0.000000
XCC	8416.984375	0.000000
XTC	0.000000	6723.738770
XAC	0.000000	5141.293945
XBC	0.000000	98371.585938
XLC	430.660431	0.000000
XCBC	894.811340	0.000000
XEC	751.785706	0.000000
XALC	0.000000	40090.757812
XMC	0.000000	3173.440674
XMSC	0.000000	191.101913
XSC	8776.569336	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	12875.106445	0.000000
3)	12875.106445	0.000000
4)	7979.942871	0.000000
5)	7979.942871	0.000000
6)	1120.502075	0.000000
7)	0.000000	10342.000000
8)	4895.163574	0.000000
9)	4895.163574	0.000000
10)	6015.666016	0.000000
11)	12875.106445	0.000000
12)	12875.106445	0.000000
13)	12875.106445	0.000000
14)	16729.402344	0.000000
15)	16298.742188	0.000000
16)	16298.742188	0.000000
17)	7881.757812	0.000000

19)	0.000000	5663.566895
20)	430.660431	0.000000
21)	8847.645508	0.000000
22)	17624.214844	0.000000
23)	17624.214844	0.000000
24)	17624.214844	0.000000
25)	17624.214844	0.000000
26)	0.000000	0.000000
27)	0.000000	0.000000
28)	6016.606934	0.000000
29)	6016.606934	0.000000
30)	6016.606934	0.000000
31)	6016.606934	0.000000
32)	0.000000	0.000000
33)	0.000000	1052.719604
34)	0.000000	7708.119629
35)	0.000000	0.000000
36)	0.000000	0.000000
37)	0.000000	29500.863281
38)	0.000000	30359.433594
39)	433.891388	0.000000
40)	474.891388	0.000000
41)	3148.127930	0.000000
42)	13991.127930	0.000000
43)	0.000000	2659.347168
44)	2714.236572	0.000000
45)	0.000000	1371.796387
46)	10843.000000	0.000000
47)	0.000000	0.000000
48)	0.000000	0.000000
49)	0.000000	16279.838867

NO. ITERATIONS= 1

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
XCV	10342.000000	2516.000000	5009.000000
XTV	5333.000000	5009.000000	INFINITY
XALV	46308.000000	INFINITY	27730.812500
XMV	32703.000000	3483.476074	INFINITY

XMSV	22870.000000	42186.234375	1688.600708
XSV	12858.000000	18422.406250	2516.000000
XCC	12046.000000	3273.736328	350.838165
XTC	6386.000000	6723.738770	INFINITY
XAC	5708.000000	5141.293945	INFINITY
XBC	9708.000000	98371.578125	INFINITY
XLC	29970.000000	1336.108643	17924.000000
XCBC	64362.000000	34513.257812	58580.828125
XEC	34039.000000	INFINITY	9116.709961
XALC	13203.000000	40090.757812	INFINITY
XMC	14382.000000	3173.440674	INFINITY
XMSC	11237.000000	191.101959	INFINITY
XSC	15298.000000	38908.816406	319.395172

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	13390.000000	INFINITY	12875.106445
3	13390.000000	INFINITY	12875.106445
4	13390.000000	INFINITY	7979.942871
5	13390.000000	INFINITY	7979.942871
6	13390.000000	INFINITY	1120.502075
7	13390.000000	1120.502075	4895.163574
8	13390.000000	INFINITY	4895.163574
9	13390.000000	INFINITY	4895.163574
10	13390.000000	INFINITY	6015.666016
11	13390.000000	INFINITY	12875.106445
12	13390.000000	INFINITY	12875.106445
13	13390.000000	INFINITY	12875.106445
14	18376.000000	INFINITY	16729.402344
15	18376.000000	INFINITY	16298.742188
16	18376.000000	INFINITY	16298.742188
17	18376.000000	INFINITY	7881.757812
18	18376.000000	INFINITY	7881.757812
19	18376.000000	317.576752	665.853333
20	18376.000000	INFINITY	430.660431
21	18376.000000	INFINITY	8847.645508
22	18376.000000	INFINITY	17624.214844
23	18376.000000	INFINITY	17624.214844

24	18376.000000	INFINITY	17624.214844
25	18376.000000	INFINITY	17624.214844
26	484.000000	INFINITY	0.000000
27	484.000000	INFINITY	0.000000
28	18249.000000	INFINITY	6016.606934
29	18249.000000	INFINITY	6016.606934
30	28058.000000	INFINITY	6016.606934
31	30736.000000	INFINITY	6016.606934
32	12971.000000	INFINITY	0.000000
33	12971.000000	0.000000	2678.000000
34	10293.000000	2678.000000	8924.894531
35	484.000000	INFINITY	0.000000
36	484.000000	INFINITY	0.000000
37	484.000000	0.000000	484.000000
38	2318.000000	433.891388	1897.000122
39	3540.000000	INFINITY	433.891388
40	3581.000000	INFINITY	474.891388
41	26455.000000	INFINITY	3148.127930
42	37298.000000	INFINITY	13991.127930
43	45534.000000	1598.048096	2902.651123
44	44312.000000	INFINITY	2714.236572
45	21397.000000	20086.791016	3133.906494
46	11264.000000	INFINITY	10843.000000
47	421.000000	INFINITY	0.000000
48	421.000000	INFINITY	0.000000
49	421.000000	0.000000	421.000000

Anexo 5 -Salida del programa LINDO 6.1 para el modelo BASE -50% agua.

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 3

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.4160007E+09

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
XCV	4934.583496	0.000000
XTV	0.000000	6732.666504
XALV	343.617035	0.000000
XMV	0.000000	14476.371094
XMSV	4572.727051	0.000000
XSV	746.861938	0.000000
XCC	6365.000000	0.000000
XTC	0.000000	7667.666504
XAC	0.000000	4079.375244
XBC	0.000000	98371.585938
XLC	89.168488	0.000000
XCBC	596.698120	0.000000
XEC	501.785706	0.000000
XALC	0.000000	43933.894531
XMC	0.000000	8799.224609
XMSC	5055.244629	0.000000
XSC	2826.359863	0.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	13046.382812	0.000000
3)	13046.382812	0.000000
4)	8111.799805	0.000000
5)	8111.799805	0.000000
6)	3539.072266	0.000000
7)	2792.210449	0.000000
8)	7726.793945	0.000000
9)	7726.793945	0.000000
10)	8473.655273	0.000000
11)	13046.382812	0.000000
12)	13046.382812	0.000000
13)	13046.382812	0.000000
14)	17277.515625	0.000000
15)	17188.347656	0.000000
16)	17188.347656	0.000000
17)	10823.347656	0.000000

18)	5768.103027	0.000000
19)	3538.441162	0.000000
20)	3627.609619	0.000000
21)	9992.609375	0.000000
22)	12818.969727	0.000000
23)	17874.214844	0.000000
24)	17874.214844	0.000000
25)	17874.214844	0.000000
26)	0.000000	0.000000
27)	0.000000	0.000000
28)	0.000000	0.000000
29)	0.000000	0.000000
30)	0.000000	4309.166504
31)	1.000000	0.000000
32)	0.000000	0.000000
33)	0.000000	5379.916504
34)	0.000000	6303.923828
35)	0.000000	0.000000
36)	0.000000	0.000000
37)	0.000000	33270.824219
38)	0.000000	30359.433594
39)	650.821655	0.000000
40)	677.821655	0.000000
41)	651.821655	0.000000
42)	650.821655	0.000000
43)	0.000000	3278.993408
44)	0.000000	1740.173218
45)	0.000000	1381.670166
46)	0.000000	1457.205078
47)	0.000000	0.000000
48)	0.000000	0.000000
49)	0.000000	22566.453125

NO. ITERATIONS= 3

RANGES IN WHICH THE BASIS IS UNCHANGED:

VARIABLE	CURRENT COEF	OBJ COEFFICIENT RANGES	
		ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
XCV	10342.000000	15129.417969	5770.856934

XTV	5333.000000	6732.666016	INFINITY
XALV	46308.000000	INFINITY	31274.574219
XMV	32703.000000	14476.371094	INFINITY
XMSV	22870.000000	47577.277344	7017.359863
XSV	12858.000000	15066.377930	12858.000977
XCC	12046.000000	3316.008545	4176.416016
XTC	6386.000000	7667.666504	INFINITY
XAC	5708.000000	4079.375244	INFINITY
XBC	9708.000000	98371.578125	INFINITY
XLC	29970.000000	15905.183594	29970.000000
XCBC	64362.000000	47840.882812	58580.828125
XEC	34039.000000	INFINITY	12637.213867
XALC	13203.000000	43933.894531	INFINITY
XMC	14382.000000	8799.223633	INFINITY
XMSC	11237.000000	32270.027344	2083.803223
XSC	15298.000000	3482.720215	3302.191650

RIGHTHAND SIDE RANGES

ROW	CURRENT RHS	ALLOWABLE INCREASE	ALLOWABLE DECREASE
2	13390.000000	INFINITY	13046.382812
3	13390.000000	INFINITY	13046.382812
4	13390.000000	INFINITY	8111.799805
5	13390.000000	INFINITY	8111.799805
6	13390.000000	INFINITY	3539.072266
7	13390.000000	INFINITY	2792.210449
8	13390.000000	INFINITY	7726.793945
9	13390.000000	INFINITY	7726.793945
10	13390.000000	INFINITY	8473.655273
11	13390.000000	INFINITY	13046.382812
12	13390.000000	INFINITY	13046.382812
13	13390.000000	INFINITY	13046.382812
14	18376.000000	INFINITY	17277.515625
15	18376.000000	INFINITY	17188.347656
16	18376.000000	INFINITY	17188.347656
17	18376.000000	INFINITY	10823.347656
18	18376.000000	INFINITY	5768.103027
19	18376.000000	INFINITY	3538.441162
20	18376.000000	INFINITY	3627.609619
21	18376.000000	INFINITY	9992.609375
22	18376.000000	INFINITY	12818.969727
23	18376.000000	INFINITY	17874.214844

24	18376.000000	INFINITY	17874.214844
25	18376.000000	INFINITY	17874.214844
26	323.000000	INFINITY	0.000000
27	323.000000	INFINITY	0.000000
28	12166.000000	INFINITY	0.000000
29	12166.000000	INFINITY	0.000000
30	18705.000000	0.000000	11843.000977
31	20491.000000	INFINITY	1.000000
32	8647.000000	INFINITY	0.000000
33	8647.000000	0.000000	1785.000122
34	6862.000000	1785.000122	0.000000
35	323.000000	INFINITY	0.000000
36	323.000000	INFINITY	0.000000
37	323.000000	0.000000	323.000000
38	1546.000000	650.821655	1265.000000
39	2360.000000	INFINITY	650.821655
40	2387.000000	INFINITY	677.821655
41	17637.000000	INFINITY	651.821655
42	24865.000000	INFINITY	650.821655
43	30356.000000	3250.552002	815.000000
44	29541.000000	813.749634	3250.552002
45	14265.000000	15276.000000	650.821655
46	7510.000000	650.821655	7228.999512
47	281.000000	INFINITY	0.000000
48	281.000000	INFINITY	0.000000
49	281.000000	0.000000	281.000000