


 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 1 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

PROYECTO “ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO” **DP1503.1** **Informe final**

COORDINACIÓN DE DESARROLLO PROFESIONAL E INSTITUCIONAL
 SUBCOORDINACIÓN DE PLANEACIÓN, ECONOMÍA Y FINANZAS DEL
 AGUA



Supervisora del proyecto: M.I. Flor Virginia Cruz Gutiérrez
 Jefe de proyecto: M.I. José Dolores Magaña Zamora

México, 2015

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 3 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

Contenido



Introducción	6
Análisis de metodologías existentes y trabajos realizados en la zona de estudio	7
Metodologías para el uso agrícola	9
Precio sombra	9
Metodologías para el uso industrial	11
Enfoque de Función de Producción	12
Metodologías para el valor entrópico (ambiental)	13
Objetivo	16
Productos a obtener	16
Aprovechamiento del agua en la subcuenca Salamanca	18
Sistema hidro económico	19
Metodología	19
1. APLICACIÓN DEL WEAP EN LA SUBCUENCA DE SALAMANCA	20
1.1 Caracterización de la zona de estudio	20
1.1.1 Recursos Superficiales	21
1.1.3 Recurso Subterráneo	24
1.1.4 Infraestructura hidráulica existente	26
1.1.5 Análisis de los módulos del DR 011	31
2. MODELACIÓN DE LA SUBCUENCA DE SALAMANCA EN WEAP	46
2.1 Watter Evaluation and Planing System	46
2.1.1 Características de WEAP	47
2.1.2 Estructura de WEAP	47
2.1.3 Elementos del modelo	48
2.2. Descripción del modelo	49
2.2.1 Descripción del modelo actual del DR 011	50
2.2.3 Datos de entrada	54
2.2.4 Análisis del modelo	59
2.2.5 Resultados del modelo	60
Conclusión	62

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 4 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

Bibliografía	64
Anexos	66
Anexo A. Estadísticas agrícolas en costos de producción, rendimiento y precio medio rural	66
Anexo B. Clave de los nombre de las demandas en el modelo WEAP	66
Anexo C. Datos de elevación y capacidad de las presas Solís y Laguna de Yuriria	66



Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación de la subcuenca de Salamanca	20
Figura 2. Módulos de DR 011 Alto Río Lerma	21
Figura 3. Subcuencas donde se ubica el DR 011 Alto Río Lerma	22
Figura 4. Disponibilidad de agua subterránea	25
Figura 5. Infraestructura del DR 011 Alto Río Lerma	31
Figura 6. Volumen de producción en los módulos del DR 011	37
Figura 7. Volumen de producción de los cultivos en los módulos del DR 011	38
Figura 8. Modelo a realizar en WEAP	53
Figura 9. Ejemplo de asignación del nombre de las demandas en el módulo 01-Acámabaro en WEAP	54
Figura 10. Ejemplo de cómo se introduce una serie de tiempo de datos en WEAP	55
Figura 11. Modelación del río Lerma y derivaciones en WEAP	56
Figura 12. Introducción de información en WEAP	57
Figura 13. Curva elevaciones capacidades de la presa Solís en WEAP	57
Figura 14. Curva elevaciones capacidades de la presa Laguna de Yuriria en WEAP	58
Figura 15. Curva de evaporación neta para la presa Laguna de Yuriria	58
Figura 16. Curva de evaporación neta para la presa Solís	58
Figura 17. Vista de modelo completo en WEAP	60
Figura 18. Cobertura de la demanda de los sitios de demanda en WEAP	60
Figura 19. Demanda de agua en WEAP	61

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 5 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

Índice de Tablas

<u>Tabla 1. Disponibilidad de la Región Hidrológica No.12 Lerma-Santiago. Subregión Hidrológica Lerma-Chapala (cifras en hm³/año).</u>	23
<u>Tabla 2. Disponibilidad de aguas subterráneas de los acuíferos del estado de Guanajuato (cifras en hm³/año).</u>	25
<u>Tabla 3. Infraestructura hidroagrícola con la que cuenta el DR 011</u>	26
<u>Tabla 4. Capacidades de almacenamiento de las presas del DR 011</u>	27
<u>Tabla 5. Almacenamiento y aprovechamiento de las presas del DR 011</u>	28
<u>Tabla 6. Superficies de los módulos del DR 011</u>	29
<u>Tabla 7. Volumen concesionado en los módulos del DR 011 Alto Río Lerma</u>	32
<u>Tabla 8. Volumen de producción (toneladas) en los módulos del DR 011 en el periodo de 2009-2014</u>	37
<u>Tabla 9. Volumen de producción por cultivo (toneladas)</u>	38
<u>Tabla 10. Costo promedio de producción de los cultivos</u>	39
<u>Tabla 11. Promedio de precio medio rural por hectárea (\$/ton) de los cultivos</u>	40
<u>Tabla 12. Promedio de rendimiento de los cultivos en los módulos del DR 011</u>	41
<u>Tabla 13. Promedio de la superficie regada en los módulos del DR 011 en el periodo del 2008-2009 al 2013-2014</u>	42
<u>Tabla 14. Promedio del costo del metro cúbico (\$) para los diferentes cultivos en los módulos del DR 011</u>	42
<u>Tabla 15. Ganancias de los cultivos en los módulos del DR 011</u>	43
<u>Tabla 16. Perdidas de los cultivos en el periodo 2008-2009 al 2013-2014</u>	44
<u>Tabla 17. Perdidas de los cultivos en los módulos del DR 011</u>	45
<u>Tabla 18. Superficie regada en el módulo 08-Abasolo</u>	51
<u>Tabla 19. Puntos de control y canales principales de los módulos del DR 011</u>	52
<u>Tabla 20. Tabla de datos en sitios de demanda</u>	54
<u>Tabla 21. Acuíferos considerados en área de estudio</u>	56
<u>Tabla 22. Características de los embalses.</u>	57

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 6 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

1. Introducción

En varios foros internacionales se ha reconocido al agua como un bien económico: Declaración Ministerial del Tercer Foro Mundial del Agua (Kyoto, 2003): "Se deben recaudar fondos mediante la adopción de criterios de recuperación de costos que se adapten a las condiciones climáticas, medioambientales y sociales del lugar, y al principio del "contaminador paga", prestando debida consideración a los pobres. Todas las fuentes de financiamiento, tanto públicas como privadas, nacionales e internacionales, deben ser movilizadas y utilizadas del modo más eficaz y eficiente posible."

Tanto en la Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible (1992), como en la Agenda 21, Capítulo 18 (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, 1992), la Declaración Ministerial del Segundo Foro Mundial del Agua (La Haya, 2000), la Agenda 21 y los Principios de Dublín se reconoce al agua como un bien económico y social, para el Estado Mexicano, "el agua es un bien de dominio público federal, vital, vulnerable y finito, con valor social económico y ambiental, cuya preservación en cantidad, calidad y sustentabilidad es tarea fundamental del Estado y la sociedad (LAN, 2004)".

Para determinar la contribución económica del agua en las inversiones hidráulicas que se hacen para llevar a cabo los servicios de agua, tales como el riego, la generación de hidroelectricidad, el abastecimiento de agua urbano y rural, y el control de inundaciones y saneamiento, es importante valorar económicamente el agua en dichas inversiones.

Por otro lado, es frecuente que en estudios para estimar una valoración económica del agua se omitan dos aspectos importantes: su factor ambiental, es decir la función del agua en un ecosistema, y su factor social, específicamente la utilización del agua para producir alimentos.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) ha auspiciado la realización de estudios encaminados a estimar el valor económico del agua considerando tanto los componentes productivos como ambientales del agua: "Estudio sobre la valoración económica y financiera del agua para el uso agrícola dentro de la circunscripción territorial del Organismo de Cuenca Pacífico Norte" y "Estudio sobre valoración económica y financiera del agua para el uso industrial del Organismo de Cuenca Lerma Santiago Pacífico". Ahora se plantea realizar un estudio enfocado a determinar un valor económico y financiero del agua, integrado por los componentes productivos, sociales y ambientales del agua, en el ámbito de un sistema hídrico.

2. Análisis de metodologías existentes y trabajos realizados en la zona de estudio




Partiendo de la idea de que el agua dulce es un recurso escaso, y que hoy en día tiene el carácter económico, social y ecológico y que adicionalmente su gestión requiere de costos elevados, podemos entender que “el agua es más que un factor de producción, es sobre todo un factor de cohesión social, económico y ambiental” (Aguilera, 1996). Por ello, la conceptualización del agua puede abordarse desde distintas perspectivas (Aguilera 2001): Como factor de producción, como activo financiero y como activo eco-social.

Por otro lado es importante considerar que, para determinar el valor de cualquier bien normal siempre se recurre a la interacción oferta demanda, y en específico para los bienes ambientales existen dos grandes clasificaciones para determinar su valor económico total, dichos métodos son:

1. Métodos indirectos o de preferencias reveladas, en los cuales, con base en la información de mercados ya establecidos se deriva de forma indirecta la información sobre un bien del que no se tienen datos directos, por lo que se conocen como preferencias reveladas dado que los individuos “revelan” sus preferencias acerca del bien sin mercado a través de su comportamiento en los mercados existentes.
2. Métodos directos o de preferencias declaradas, en los cuales se investiga directamente el valor que el individuo asigna al bien que se desean valorar, de esta forma los individuos “declaran” en forma más directa sus preferencias acerca del bien en cuestión.

Como se puede notar para los bienes ambientales se vuelve mucho más complejo el análisis. Para estimar el valor económico total del agua se propone dividir el valor total en valor de uso y no uso de la siguiente forma:





 	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA <small>INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</small>
Página 8 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

En donde el valor del uso directo se refiere a los usos consuntivos o de producción (corresponden al valor para los usuarios de riego, domésticos, industriales y cualquier otra actividad que consuma agua). Los valores de uso no consultivo corresponden al valor para los usuarios de generación hidroeléctrica, navegación, recreación y cualquier uso directo de las aguas con la condición de que no se consuma. El valor de uso indirecto corresponde al valor que la sociedad le da al recurso por la función que éste cumple (por ejemplo: el valor que tiene el agua como hábitat de especies vivas, el valor del recurso por su capacidad de depuración o solvente de sustancias que entran en contacto con ella, el valor del agua por su papel en el ciclo de nutrientes necesarios para la vida, etc.).

El valor de opción del agua corresponde al valor que le da la sociedad al recurso por la opción de poder hacer uso o no del mismo en el futuro (sitios de agua con potencial hidroeléctrico, con potencial turístico, con posibilidad de almacenamiento para riego, uso doméstico, industrial, control de inundación, etc.). Así como también pertenecen a esta categoría aquellos sitios con potencial cultural, histórico y belleza escénica. El valor intrínseco del agua corresponde al valor que se le da al recurso por el solo hecho de existir en determinados sitios y por la oportunidad de dejarlo como herencia a las generaciones futuras. En esta categoría se ubica a las bellezas escénicas, sitios culturales e históricos.

Entonces determinamos que el agua tiene un costo, mismo que se compone de los costos de capital, costos de operación, mantenimiento y administración, costos de confiabilidad del abastecimiento en calidad y cantidad, costo de oportunidad y los costos de las externalidades impuestas a la sociedad. Los costos de capital corresponden a los costos de las inversiones, reposiciones y rehabilitaciones para aprovechar el recurso. Los costos de operación, mantenimiento y administración son aquellos relativos a operar, mantener y administrar las obras de aprovechamiento realizadas con los costos de capital. El costo de confiabilidad de abastecimiento en calidad y cantidad corresponden a los costos que garanticen una adecuada gestión de la cuenca aguas arriba o provincia hidrogeológica de la cual se abastece el sitio de aprovechamiento haciendo confiable el mismo. El costo de oportunidad, el cual está presente en las zonas y períodos donde existe escasez del agua, se refiere al costo de usar el agua en su mejor uso alternativo o expresado de otra manera, al costo de privar a otro usuario potencial del recurso debido al uso que va a realizar el que aprovecha al agua, mientras que los costos de las externalidades se refieren al costo que le impone a la sociedad el usuario del agua.

Considerando el costo de oportunidad como una condición prioritaria de la eficiencia económica, tenemos que dicha eficiencia se basa en el “principio de optimización de Pareto” el cual ocurre cuando el beneficio marginal de usar un bien o servicio es igual al costo marginal de proveerlo. Esto permite una asignación de recursos tales que no haya posibilidad de una nueva reasignación, sin la posibilidad de que exista ganancias o pérdidas para los consumidores o productores, y se basa en dos principios fundamentales:

 SEMARNAT SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 9 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

1. La eficiencia económica es un objetivo social muy importante. Los valores conocidos como eficientes sirven para resolver conflictos, sobretodo bajo condiciones de escasez progresiva y creciente competencia entre los usuarios de agua.
2. Los valores eficientes reflejan los costos de oportunidad cuando se evalúan alternativas de un mismo objetivo.

Para realizar un análisis económico integral, en la sub cuenca de Salamanca también conocida como “Río Lerma 4” ubicada en la Región Hidrológico Administrativa (RHA) VIII-Lerma-Santiago-Pacífico se considerarán funciones de producción derivables que permitan la optimización de las mismas (Óptimo de Pareto).

El presente documento incluye la revisión de los siguientes trabajos elaborados en la zona de estudio, con lo cual se presenta un panorama general de la problemática y alcance de dichos estudios.





Metodologías para el uso agrícola

4. Precio sombra

Modelo de programación lineal, con restricciones (tierra, agua, mano de obra y capital).

La hipótesis planteada es que no existe una asignación eficiente de recursos entre actividades alternativas y que la tarifa pagada por agua no refleja su verdadero valor de escasez.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 10 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

El precio sombra representa el valor en que se incrementaría el ingreso neto si se dispusiera de una unidad adicional de agua, siempre y cuando se lleve a cabo el patrón de cultivos propuesto por el modelo. Éste toma el valor cero cuando el agua no se emplea en su totalidad; es decir que el agua para riego sobrante habrá de considerarse como una mercancía gratis. (En este trabajo el precio sombra del agua se utiliza como un estimador de su precio.)

Para optimizar el uso de agua en un distrito de riego, es necesario determinar su precio o su costo de oportunidad, el cual es el valor de los bienes y servicios a que se renuncia por usar un recurso escaso para determinado propósito en vez de su siguiente mejor uso alternativo.

La mejor manera para determinar el costo de oportunidad del agua en un distrito de riego es la estimación de su valor marginal, el cual es el precio sombra del agua.



- La tierra, el agua, la mano de obra y la maquinaria agrícola, son las restricciones del modelo. Los beneficios netos (precios netos) son la diferencia entre el ingreso bruto y el costo de producción. Los resultados se basan en el precio del producto correspondiente.
- El ingreso neto, el patrón de cultivos y el ingreso marginal son considerados. El ingreso marginal es utilizado como el precio sombra del agua de riego, y se diferencia entre agua superficial y agua subterránea.

Para dicho modelo se utilizó la programación lineal y la representación matemática de la función objetivo es:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Z &= \sum_{j=1}^n C_j X_j \\
 \text{tal que } \sum_{j=1}^m A_{ij} X_j &\leq B_i \text{ para todo } i=1, 2, 3, \dots, m \text{ y } j=1, 2, 3, \dots, n \\
 \text{y } X_j &\geq 0
 \end{aligned}$$

Donde X_j = j-ésima actividad (cultivo) del productor; C_j = precio neto de la j-ésima actividad; A_{ij} = cantidad del i-ésimo recurso necesario para producir una unidad de la j-ésima actividad; B_i = cantidad disponible del i-ésimo recurso.

Los cultivos analizados fueron maíz, sorgo, frijol, trigo, cebada, alfalfa, brócoli y fresa, (se consideran diferentes fechas de siembra en el caso de maíz y sorgo) que, durante 1991 a 1999, ocuparon 91% de la superficie cultivada. Los datos utilizados corresponden al período 1998-1999. Los coeficientes técnicos se obtuvieron de instituciones relacionadas con el sector agropecuario y se corroboraron con entrevistas a productores. Los precios netos se calcularon como la diferencia entre el ingreso bruto menos el costo de

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 11 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

producción (sin incluir el costo del agua, tierra y mano de obra). Los recursos restrictivos fueron tierra (76,397 ha irrigadas con agua superficial y 32,741 con agua de pozo), mano de obra (16,402 usuarios de gravedad y 5,180 de pozo), maquinaria agrícola (13,328 tractores y 778 trilladoras) y agua (872 millones m³ -MMC- de agua superficial y 330 MMC de agua subterránea).¹

Conclusión del Modelo:

Una disminución en la disponibilidad de agua de 18 y 24% no propicia una caída considerable sobre el ingreso neto de los productores (la máxima es de 9%), aunque sí sobre la superficie cultivada (la máxima es de 19%), lo que indica que, con excepción de las hortalizas, el agua es utilizada en actividades con bajo valor agregado. Asimismo, se concluye que la capacidad de pago por una unidad de agua para la mayoría de los productores es mayor que las tarifas pagadas. Los productores en la región están en condiciones de absorber un incremento en las tarifas, sobre todo los productores de hortalizas.

5. Metodologías para el uso industrial

- Método: Función de producción para determinar el valor de uso directo, así como del método de valoración contingente para obtener el valor estimado de uso indirecto o medioambiental.

El valor económico de los bienes se asocia a su precio, sin embargo se considera que, existen bienes que carecen de un precio de referencia dado que no concurren en mercados definidos para su intercambio pero que aun así poseen valor económico

- Método: Modelos Logit o Probit



Es necesario identificar lo siguiente para estimar dichos modelos:

- (a) Determinar las variables independientes de la para especificar la función de utilidad indirecta.
- (b) Especificar la forma de la función de utilidad indirecta (lineal, logarítmica, etc.)
- (c) Plantear la función de distribución acumulada.
- (d) Especificar los límites de integración de la función de interés para derivar el valor esperado de la “disponibilidad a ser compensados” de los agentes económicos.

- Función consumo de agua para uso industrial

Se establece con base en estudios sobre la estructura de su consumo en países desarrollados (Guerrero, 2005; Surender, 2006; García *et al.*, 2007).

¹ Pag. 486 Agrociencia Volumen 36, Número 4, Julio-Agosto 2002

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 12 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

Supuesto: las industrias usan el agua como insumo intermedio (refrescar, cocer, crear movimiento, elaborar bebidas, lavar utensilios, mantener la higiene, etc.) y que una industria escoge su nivel de utilización del insumo para minimizar su costo de producción. La función del consumo de agua del sector industrial parte del supuesto de que el uso del agua es separable de otros insumos como la energía eléctrica.

El costo de oportunidad, el valor que se refiere al costo de usar el agua en su mejor uso alternativo o expresado de otra manera, al costo de privar a otro usuario potencial del recurso debido al uso que va a realizar el que aprovecha al agua.



La metodología desarrollada en este estudio utiliza un método combinado de preferencias reveladas y declaradas. En el primer rubro, se calcula la aproximación económica de la productividad marginal del agua en la generación de valor por parte de las diferentes ramas industriales de la economía mexicana, mientras que para el caso de las preferencias declaradas, se contempla la recopilación de información a través de métodos de muestreo y la aplicación de sondeos directos con los productores y pobladores de las regiones seleccionadas, considerando que el uso ambiental o de preservación ecológica se encuentra en competencia directa con la actividad industrial y cualquier otro uso consuntivo en general. Así, el método combinado que se propone pondera el “Enfoque de Función de Producción”¹, que captura la productividad marginal del agua (valor de uso directo) y la “Valoración Contingente”, que permite estimar el valor económico del agua en sus componentes de valor de uso indirecto, así como valor de no uso, de opción y de existencia.

6. Enfoque de Función de Producción

Los procesos productivos industriales pueden caracterizarse de manera formal mediante una función de producción, que en su expresión más simple describe la forma, dada una tecnología, en cómo los diferentes insumos de la producción se relacionan entre sí para obtener un bien determinado. El conjunto de planes posibles de producción están limitados por las restricciones tecnológicas y por la disponibilidad de los inputs o insumos. Además, en algunos modelos de análisis, las restricciones impuestas por el marco institucional pueden también contribuir a determinar el conjunto de producción.

De tal manera que se puede obtener un vector para cada combinación de insumos determinada Tasa Marginal de Transformación (MRT), que refleja la medida en que cuánto del producto neto del bien “x” puede incrementarse si la empresa disminuye el bien “Y” en una unidad marginal, manteniendo el mismo nivel de producción.

Por lo tanto, la productividad marginal se calcula como: Si suponemos que el precio del agua P es igual al costo marginal del uso del agua. En el punto en que las empresas maximizan beneficios, el valor marginal del producto tiene que ser igual al costo marginal. Entonces, el precio del agua P debería ser igual al valor

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 13 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

marginal del agua “p”. Se define “y” como la elasticidad precio del agua, que puede ser obtenido de la siguiente forma:

$$\gamma = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln P} = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln p} = - \frac{\sigma}{\sigma - \sigma^2 - \beta_8}$$

El modelo considera las cinco industrias más consumidoras de agua: elaboración de lácteos, bebidas, elaboración de azúcares, chocolates, dulces y similares, fabricación de productos de cartón y de productos químicos básicos, destacan especialmente elaboración de lácteos que representan un poco más del 30% del nacional y la industria de bebidas con un porcentaje ligeramente menor al 30%.

Derivado del modelo se concluye: Por un lado el agua usada en el sector industrial podría ser un excelente instrumento recaudatorio, si los encargados de recaudar este derecho tuvieran los medios legales y administrativos de hacer valer la legislación, pero por otro lado, es un instrumento deficiente para reducir la demanda de agua, si solamente se aplicara un incremento al monto del derecho sin aplicar además otras medidas.

7. Metodologías para el valor entrópico (ambiental)

- Optimización del recurso, a través de la calificación entrópica de las aguas naturales y residuales, así como el mínimo valor entrópico requerido para su utilización. (Cuadro I anexo)

El valor entrópico del agua se relaciona con la energía consumida- utilizada para llevar al líquido a un estado de menor entropía que se busca establecer.

La calificación propuesta en el modelo permite tener una noción de la magnitud de la degradación, al proporcionar una idea de la energía y/o costo necesarios para elevar el agua de un nivel inferior a uno superior. En particular se puede aquilatar claramente el costo del tratamiento de aguas contaminadas innecesariamente (se considera que todas lo son), y en particular el alto costo de la potabilización (que resulta gratis cuando ocurre naturalmente).

Cuadro I
Valor Entrópico de las Aguas Terrestres

Valor entrópico	Aguas naturales		Utilización del agua natural	Aguas residuales o contaminadas	Posición geológica	Presencia de vida
	Aguas superficiales	Aguas subterráneas				
10	Nubes		Agua destilada		Atmosférica, elevada	Organismos muy escasos por falta de nutrientes
9	Lluvia, nieve, granizo, rocío		Agua potable		Atmosférica, baja	Organismos escasos por falta de nutrientes
8	Manantiales, torrentes de montaña		Aguas termales		Cimas, cabeceras de valles	Organismos de abundancia escasa a intermedia
7	Cursos altos de ríos, lagos de montaña	Napas hipodérmicas de agua dulce	Aguas para riego	Lluvia moderadamente ácida	Zonas de montañas, sierras, colinas elevadas, mesetas	Organismos de abundancia intermedia
6	Cursos medios de ríos, lagos medios, emisarios de ciertos humedales	Napas hipodérmicas, acuíferos poco profundos no contaminados	Aguas para riego	Lluvia muy ácida	Zonas de colinas, sierras bajas, subsuelo de poca profundidad	Organismos abundantes
5	Cursos bajos de río, lagos de llanura, humedales oxigenados	Agua subterránea profunda dulce. Poco profunda ligeramente salobre	Aguas para riego	Drenajes de riego, agua residual tratada	Llanuras, colinas bajas subsuelo medianamente a muy profundo	Organismos muy abundantes en ríos y lagos, localmente exceso de nutrientes. Vertidos de aguas de riego pueden provocar procesos de eutroficación

Cuadro I
Valor Entrópico de las Aguas Terrestres (Continuación)

4	Lagos y humedales eutrofizados Lagos salobres	Agua subterránea profunda ligeramente salobre; aguas poco profundas salobres	Aguas para lavado	Drenajes de riego, agua residual parcialmente tratada	Zonas bajas, áridas, subsuelo de profundidad variable	Organismos muy abundantes en los lagos salobres. Los vertidos de aguas de riego pueden provocar procesos de eutroficación.
3	Mares y lagos salados	Agua subterránea salada	Aguas balnearias	Vertidos urbanos e industriales medios	Nivel del mar, zonas continentales deprimidas, subsuelo de profundidad variable	Organismos muy abundantes en mares y lagos, escasos en vertidos urbanos. Los vertidos urbanos provocan frecuentes procesos de eutroficación.
2	Salmueras	Salmueras subterráneas	Producción de sal	Vertidos urbanos e industriales altamente contaminados	Salmueras subterráneas	Escasos organismos debido a la toxicidad, procesos de eutroficación posibles localmente
1	Salinas	Yacimientos de sal	Producción de sal industrial	Vertidos industriales de alta toxicidad	Yacimiento de sal	Ausencia de organismos

Tabla 1. Relación del valor del agua y la misma como bien intermedio, de consumo privado y proveedora de servicios públicos.

Valor	Uso y no uso del agua		
	Agua como bien Intermedio.	Agua de consumo privado.	Agua como proveedor de beneficios públicos.
Uso directo	Riego Industrial Hidroeléctricidad	Consumo urbano Consumo industrial	Recreación Turismo y amenidades.
Uso indirecto		Receptor de desechos urbanos e industriales.	Hábitat para peces Hábitat para especies salvajes, endémicas y en peligro de extinción.
Opción	Uso futuro para riego, industria, hidroeléctricidad.	Uso futuro para consumo privado.	Hábitat para conservación de biodiversidad.
Intrínseco (legado y existencia).	-	-	Sitio culturales Sitios históricos

Fuente: Valoración económica del agua. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, CIDIAT.



En gran medida el método propuesto tiene como fin suministrar un instrumento analítico e interpretativo para la toma de decisiones en la gestión hídrica. Las políticas de aguas deben tender a reducir el deterioro de los sistemas hídricos naturales producido por las actividades humanas. Ello se logra utilizando los menores volúmenes de agua posible, y a la vez, destinando para cada propósito específico aquellas aguas que posean el menor valor ambiental posible, sin afectar su función.²

Para ello corresponde definir cuál es el mínimo valor entrópico para cada uso dado. Así, por ejemplo, el agua destinada para ser bebida debe tener un valor entrópico elevado, mientras que el agua para el lavado o el riego puede poseer un valor bastante menor. En base a ello hay que diseñar los procesos de utilización hídrica de manera de disminuir a un mínimo la desvalorización entrópica.

En forma prioritaria deben ser revisados cuidadosamente aquellos usos que dan lugar a un deterioro muy pronunciado de la calidad, sobre todo cuando se consumen grandes volúmenes, de ese modo será posible administrar los recursos hídricos de la forma más apropiada y sostenible como para satisfacer las necesidades a corto y largo plazo de las comunidades y naciones.

En resumen: el valor entrópico puede ser utilizado como factor de ponderación general al analizar los costos y ventajas de las diversas alternativas de tratamiento y/o explotación de los diferentes tipos de aguas, tanto naturales, como residuales.

² Danilo Antón* El valor del Agua. Ecosistemas Humanos y Biodiversidad. 19-11.p65

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 16 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

Para determinar la contribución económica del agua en las inversiones hidráulicas que se hacen para llevar a cabo los servicios de agua, tales como el riego, la generación de hidroelectricidad, el abastecimiento de agua urbano y rural, y el control de inundaciones y saneamiento, etc., es importante valorar económicamente el agua en dichas inversiones. Por otro lado, es frecuente que en estudios para estimar una valoración económica del agua se omitan dos aspectos importantes: su factor ambiental, es decir la función del agua en un ecosistema, y su factor social, específicamente la utilización del agua para producir alimentos. De manera que es de gran importancia, en la actualidad, analizar los costos derivados de los servicios relacionados con el agua, incluidos aquellos asociados al recurso y medio ambiente.



8. Objetivo

Establecer una metodología y las correspondientes herramientas que posibiliten estimar en un sistema de recursos hídricos el costo de oportunidad del recurso, así como el de las medidas de gestión necesarias para lograr los objetivos ambientales (ej. gasto ecológico).

9. Productos a obtener

Modelo hidro económico para el análisis de la valoración económica sobre el uso del agua en la Subcuenca Salamanca.

Metodología para determinar la asignación eficiente del agua al caso de la Subcuenca Río Lerma 4, Salamanca, Guanajuato

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 17 de 66	México, 2015	Clave: F.CO.2.04.01

“ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO”

DP1503.1



Informe final

COORDINACIÓN DE DESARROLLO PROFESIONAL E INSTITUCIONAL
 SUBCOORDINACIÓN DE PLANEACIÓN, ECONOMÍA Y FINANZAS DEL AGUA

“Modelo hidro económico para el análisis de la valoración económica sobre el uso del agua en la Subcuenca Río Lerma 4, Salamanca, Guanajuato”

Supervisora del proyecto: M.I. Flor Virginia Cruz Gutiérrez
 Jefe de proyecto: M.I. José Dolores Magaña Zamora

México, 2015

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 18 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

10. Aprovechamiento del agua en la subcuenca Salamanca

El agua es un recurso natural indispensable para la vida humana. Nuestro país posee aproximadamente el 0.1% del total de agua dulce disponible a nivel mundial, lo que determina que un porcentaje importante del territorio esté catalogado como zona semidesértica. Esto implica, también, la necesidad de considerar al agua no sólo como un elemento vital, sino como un factor estratégico para el desarrollo global del país; por ello es necesario realizar investigación y desarrollar instrumentos de gestión integrada de los recursos hídricos para asegurar el aprovechamiento, manejo y gestión sustentable e integrada del agua y fortalecer la capacidad institucional del sector hídrico.




Por lo anterior, es de su interés desarrollar un modelo hidro económico como apoyo a la realización del análisis económico integral de una unidad hidrológica, que maneje combinadamente la información hidrológica y de distribución del agua entre fuentes y centros de demanda, y la información socioeconómica necesaria para dicho análisis.

El modelo se desarrolló para su aplicación en la Subcuenca Río Lerma 4 (Salamanca), ubicada en la zona sur del estado de Guanajuato e hidrológicamente perteneciente a la Región Hidrológico-Administrativo (RHA) VIII-Lerma-Santiago-Pacífico y dentro del consejo de cuenca Lerma-Chapala, consta de un área aproximada de 2,353 km² drenada por el tramo del río Lerma acotado desde la presa Solís hasta la estación hidrométrica de Salamanca. En cuanto a sus fuentes naturales tanto superficiales como subterráneas la subcuenca se encuentra en un estrés hídrico debido a que estas se encuentran en déficit, teniendo así una subcuenca donde la gestión de los recursos hídricos es de suma importancia para el crecimiento de su economía.

Dentro de la subcuenca el aprovechamiento del agua se distribuye en nueve usos (agrícola, agroindustrial, domestico, acuacultura, servicios, industrial, pecuario, publico urbano y múltiples), de los cuales el agrícola, industrial y público urbano son los que ocupan el 99% del recurso; siendo la agricultura el mayor consumidor con el 84% del recurso hídrico, esto es debido a que en ella se ubica gran parte del DR 011 Alto Río Lerma. Por lo anterior se determinó realizar un modelo dinámico hidro económico para el uso agrícola, considerando modelar los primeros ocho módulos de los once con los que cuenta el DR 011 Alto Río Lerma, debido a que estos se abastecen del sistema principal.

El DR 011 Alto Río Lerma se localiza en la parte sur del Estado de Guanajuato en 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; y comprende de una extensión de 112,439 hectáreas con 23,486 usuarios de riego. Para su operación y funcionamiento está organizado en 11 módulos: Acámbaro, Salvatierra, Jaral, Valle, Cortazar, Salamanca, Irapuato, Abasolo, Huanímaro, Corralejo y La Purísima.

Para llevar a cabo el modelo se consideró utilizar la plataforma WEAP (Water Evaluation and Planning System), software desarrollado por el Instituto del Medio Ambiente de Estocolmo (SEI por sus siglas en inglés), el cual es una herramienta práctica para la planificación de los recursos hídricos, se distingue por su

  <p>SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p>	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 19 de 66</p>	<p>México, 2015</p>	<p>Clave: F.C0.2.04.01</p>

enfoque integrador para simular sistemas de abastecimiento de agua. Los modelos WEAP permiten especificar escenarios de cantidad, calidad, demandas (escenarios de manejo de agua) y simular el comportamiento del sistema de manejo de cuenca a lo largo del tiempo (Yates et al, 2005a y 2005b).

El modelo en WEAP de la subcuenca de Salamanca y del DR 011, quedo representado como un sistema de recursos hídricos operado para satisfacer las demandas, que en este caso fueron los cultivos que se presentaron en cada uno de los ocho módulos en los años agrícolas que van del 2008-2009 al 2013-2014, mediante el recurso hídrico superficial que es proporcionado por el río Lerma, y administrado por la presa Solís.

11. Sistema hidro económico

Desarrollar e implementar un modelo dinámico hidro económico que integre la información hidrológica, económica y social, requerida en la realización de un estudio sobre el valor económico de los distintos usos del agua en la subcuenca Salamanca.

12. Metodología

Para llevara a cabo el modelo dinámico hidro económico de la subcuenca de Salamanca, se partirá de modelos matemáticos de demanda y distribución del agua existentes en la literatura, que hayan sido aplicados a situaciones reales, se seleccionara aquel modelo que tenga las característica que se necesitan para desarrollar e implementar un modelo hidro económico de la subcuenca Salamanca. De preferencia el modelo deberá haber sido desarrollado y aplicado en algún sitio hídrico de México.

Tomado como base el modelo seleccionado, se integrara la información sobre su topología de distribución del agua superficial y subterránea, hidrología, cuerpos de agua tanto superficiales como subterráneos, puntos de oferta y demanda de agua para los usos agrícola, urbano e industrial, poblaciones e industrias más consumidoras de agua, estructuras hidráulicas importantes, e información socioeconómica de importancia en la estimación del valor del agua.

Se integrará al modelo hidro económico criterios económicos de decisión, para proponer prioridades en cuanto a los usos del agua en agricultura, urbano e industrial en la subcuenca, basados en la valoración económica de los usos del agua, presentados estos en forma tabular o como función de producción.

Se implementará el modelo en la subcuenca, considerando reglas de distribución del agua para diferentes esquemas o políticas de necesidades en el uso del agua, demandas en condiciones de escasez, o necesidades de desarrollo económico regional planeación, con base en criterios económicos y sociales relativos al uso del agua en la subcuenca.

13. APLICACIÓN DEL WEAP EN LA SUBCUENCA DE SALAMANCA

14. 1.1 Caracterización de la zona de estudio

La aplicación del Watter Evaluation and Planing System (WEAP) se realizara en la subcuenca de Salamanca (Río Lerma 4), ubicada en la zona sur del estado de Guanajuato e hidrológicamente pertenece a la Región Hidrológico-Administrativo (RHA) VIII-Lerma-Santiago-Pacífico y dentro del consejo de cuenca Lerma-Chapala (Figura 1), consta de un área aproximada de 2,353 km² drenada por el tramo del río Lerma acotado desde la presa Solís hasta la estación hidrométrica de Salamanca. En él se encuentra una bifurcación de 20 km que forma dos brazos, aguas debajo de la cual descargan las aguas del río de la Laja, que drena toda la porción noreste de la cuenca del río Lerma. En dicho tramo comienzan los principales canales que alimentan la zona de riego del Bajío guanajuatense, así como el canal que alimenta artificialmente la laguna de Yuriria, un poco antes del inicio de la bifurcación mencionada. En la subcuenca se localiza el Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, el cual ocupa un gran área dentro de la subcuenca, siendo por tal motivo el usuario agrícola el mayor demandante del recurso hídrico en dicha zona, por ello el modelo estará considerando los primeros ocho módulos de los 11 que cuenta el DR 011 Alto Río Lerma.

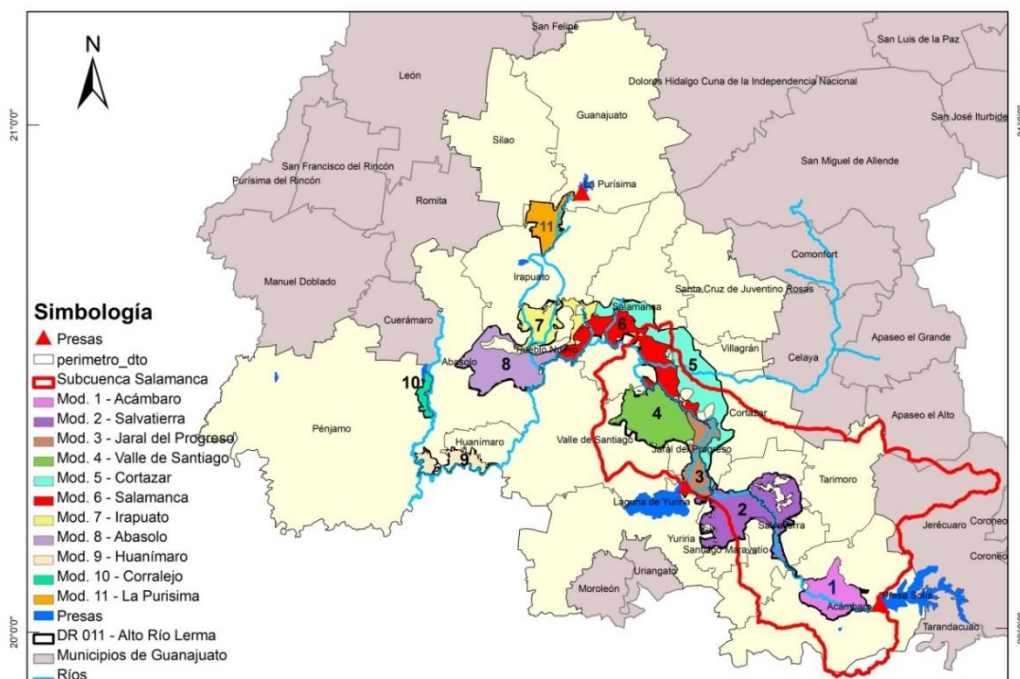
Figura 1. Ubicación de la subcuenca de Salamanca



Fuente: Elaborado a partir de: CONAGUA. Subdirección General de Programación. Estadísticas del Agua en México, Edición 2010. México, 2010.

El Distrito de Riego 011 en su totalidad se localiza en la parte sur del Estado de Guanajuato en los municipios de Acámbaro, Salvatierra, Santiago Maravatío, Jaral, Yuriria, Valle de Santiago, Villagrán, Cortazar, Salamanca, Irapuato, Guanajuato, Silao, Tarimoro, Pueblo Nuevo, Abasolo, Huanímario, y Pénjamo; y comprende de una extensión de 112,439 hectáreas con aproximadamente 23,491 usuarios de riego (Figura 2).

Figura 2. Módulos de DR 011 Alto Río Lerma



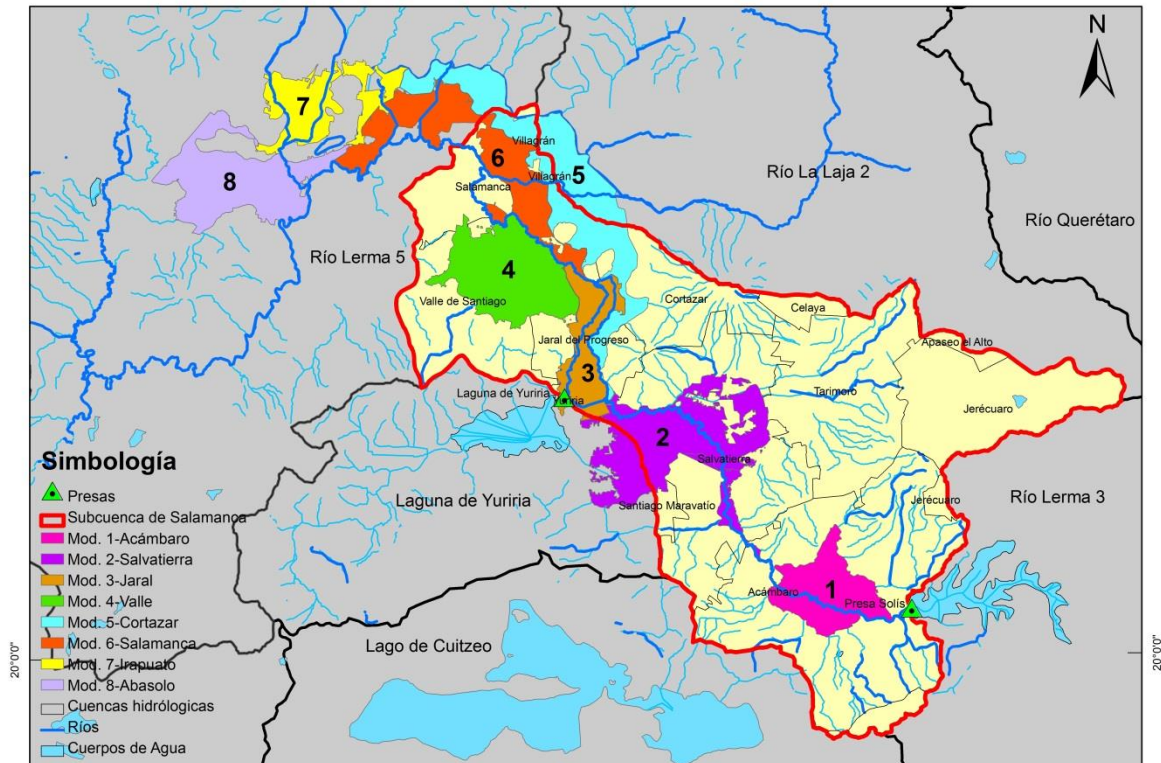
Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015. INEGI 2010.

En la figura anterior se observa que dentro de la subcuenca de Salamanca solo se localizan seis módulos (Acámbaro, Salvatierra, Jaral, Valle, Cortazar, Salamanca) de los 11 con los que cuenta el DR 011, pero debido a que el sistema principal de abastecimiento de agua dentro del DR 011 está contemplado desde el módulo de Acámbaro a Abasolo, se consideraran los primeros ocho módulos para llevar a cabo nuestro modelo de análisis en el WEAP.

15. 1.1.1 Recursos Superficiales

La subcuenca de Salamanca ubicada dentro Subregión Hidrológica Lerma-Chapala, comprende desde la presa Solís hasta la estación hidrométrica de Salamanca, pero como ahora la zona de estudio lo integran los ocho primeros módulos del DR 011 Alto Río Lerma se observara también la disponibilidad de las subcuencas de Río Lerma 5, Río La Laja 2 y Laguna de Yuriria (ver Figura 3).

Figura 3. Subcuencas donde se ubica el DR 011 Alto Río Lerma



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, INEGI 2010 y CONAGUA. Subdirección General de Programación. Estadísticas del Agua en México, Edición 2010.

Dentro del sistema de abastecimiento de agua superficial del DR 011 Alto Río Lerma lo comprende el río Lerma, el cual es la fuente natural y principal de este sistema, que nace en la Laguna de Chignahuapan o primera laguna del Lerma, al Sureste de la ciudad de Toluca.

A partir de su nacimiento el río Lerma corre en una dirección Noroeste, hasta penetrar en el caso de Michoacán, recibiendo en este tramo las aguas de los ríos de Ocoyoacac, Ameyalco, Atenco, del Mayorazgo, de Almoloya, Tepetitlán, Embajomuy, Atlacomulco y otros de menor importancia. Al penetrar en el estado de Michoacán, el río Lerma desvía su curso hacia el Suroeste descargando en la presa Tepuxtepec y continua con igual dirección hasta recibir por la margen izquierda la afluencia del río del Oro, donde se desvía nuevamente hacia el Noroeste hasta penetrar en el estado de Guanajuato, recibe por la margen izquierda las aguas de los arroyos de Cachiví y Casa Blanca.

El río Lerma continúa en la misma dirección por unos 25 kilómetros, y se desvía después hacia el Oeste para descargar en la presa Solís, recibe en este tramo la afluencia del arroyo de Tarandacuao por la margen izquierda, y del río Tigre por la margen derecha. A partir de la presa Solís, el río Lerma sigue una dirección

general hacia el Noroeste, en donde recibe de varios afluentes de escasa importancia, hasta varios kilómetros arriba de Salamanca, donde afluye por la margen derecha el río de La Laja, siendo uno de los tributarios más importantes. En este tramo se encuentra la laguna de Yuriria. Aguas abajo de la población de Salamanca, el río Lerma desvía su curso hacia el Suroeste, en donde recibe por la margen derecha las aguas del río de Silao y Guanajuato y pasa a servir de límite entre los estados de Guanajuato y Michoacán, por la margen derecha recibe la afluencia del río Turbio, que se considera el límite de la zona llamada Alto Río Lerma, que coincide con los límites del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma. Finalmente el río llega al estado de Jalisco, donde desemboca en el lago de Chapala con una capacidad aproximadamente 8,000 millones de metros cúbicos.

El balance de la disponibilidad de agua publicado en el Diario Oficial (DOF) para las 19 subcuencas hidrológicas que integran la Subregión Hidrológica Lerma-Chapala todas se encuentran en déficit. Dentro de las subcuencas que nos interesan (Río Lerma 4, Río La Laja 2, Laguna de Yuriria y Río Lerma 5), la subcuenca de Río Lerma 5 tiene el mayor déficit con -56.73 hm³ (Tabla 1).

Tabla 1. Disponibilidad de la Región Hidrológica No.12 Lerma-Santiago. Subregión Hidrológica Lerma-Chapala (cifras en hm³/año).

Cuenca	Nombre y descripción	Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
I	Río Lerma 1: Desde su origen hasta la presa José A Alzate	209.19	0	68.04	43.11	20.97	0	12.79	-0.39	192.83	193.15	-0.32	0.0	déficit
II	Río La Gavia: Desde su origen hasta la presa Ignacio Ramírez	102.41	0	31.1	0.74	0	0	11.94	0.16	59.96	60.06	-0.10	0.0	déficit
III	Río Jaltepec: Desde su origen hasta la presa Tepetitlán	92.71	0	32.29	0.75	0	0	14.19	0.15	46.83	46.90	-0.07	0.0	déficit
IV	Río Lerma 2: Desde las presas Alzate, Ramírez y Tepetitlán hasta la presa Tepuxtepec	393.49	299.62	122.82	9.66	0	0	73.55	0.03	506.37	507.54	-1.17	0.00	déficit
V	Río Lerma 3: Desde la presa Tepuxtepec hasta la presa Solís	467.39	506.37	229.42	16.1	0	0	90.21	4.65	665.58	667.87	-2.29	0.00	déficit
VI	Río Lerma 4: Desde la presa Solís hasta la EH Salamanca	102.62	830.83	436.9	56.89	115.57	574.97	6.42	0	87.62	91.42	-3.80	0.00	déficit
VII	Río La Laja 1: Desde su origen hasta la presa Ignacio Allende	275.01	0	55.12	5.58	0	0	47.72	3.86	173.89	174.21	-0.32	0.00	déficit
VIII	Río Querétaro: Desde su origen hasta la EH Ameche	106.24	0	121.13	42.97	0	0	12.11	0	15.97	15.99	-0.02	0.00	déficit

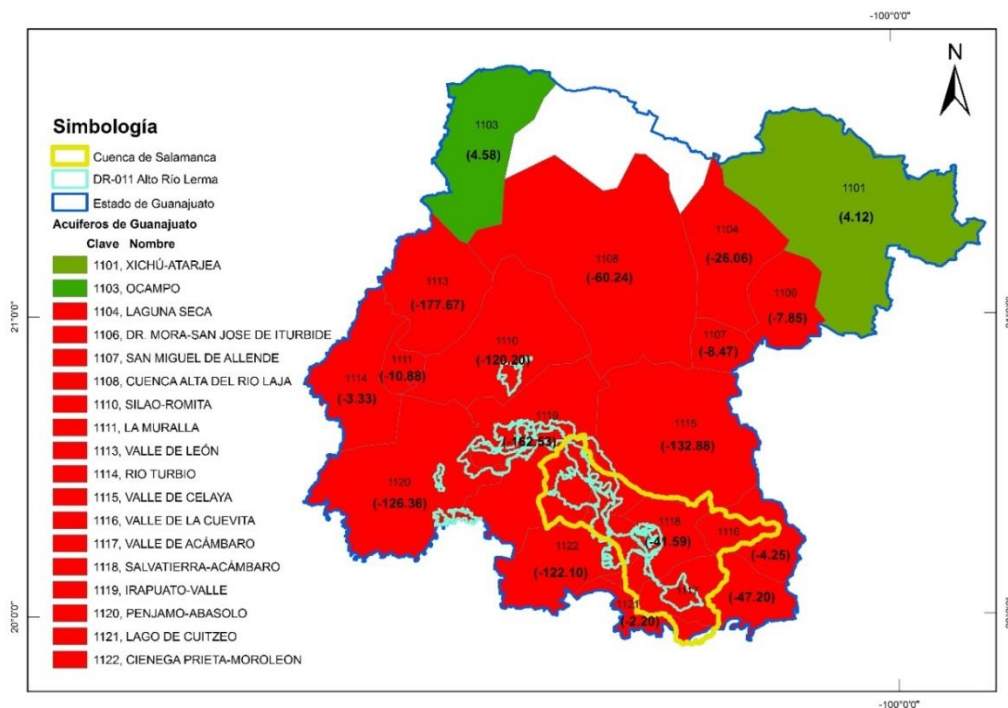
Cuenca	Nombre y descripción	Cp	Ar	Uc	R	Im	Ex	Ev	Av	Ab	Rxy	Ab-Rxy	D	Clasificación
IX	Río La Laja 2: Desde la presa Ignacio Allende hasta la EH Pericos	84.09	189.85	138.29	32.1	0	0	2.5	0	165.25	165.82	-0.57	0.00	déficit
X	Laguna de Yuriria	193.1	0	1.27	0	83.76	115.57	164.93	-2.7	0	0.00	0.00	0.00	déficit
XI	Río Turbio: Desde su origen hasta la EH Las Adjuntas	195.42	0	187.96	80.84	0	0	19.41	0	68.89	71.88	-2.99	0.00	déficit
XII	Río Angulo: Desde su origen hasta la presa Melchor Ocampo	379.57	0	76.45	2.18	0	0	28.05	1.67	275.58	287.56	-11.98	0.00	déficit
XIII	Río Lerma 5: Desde la EH Salamanca hasta la EH Corrales	286.89	432.09	676.96	95.2	491.21	0	19.83	0	608.6	665.33	-56.73	0.00	déficit
XIV	Río Lerma 6: Desde la EH Corrales hasta la EH Yurecuaro	324.76	608.59	295.75	14.7	0	92.39	27.11	0	532.8	621.20	-88.40	0.00	déficit
XV	Río Zula: Desde su origen hasta la EH Zula	208.41	0	80.11	1.95	0	0	10.98	0	119.27	139.05	-19.78	0.00	déficit
XVI	Río Duero: Desde su origen hasta la EH Estanzuela	502.77	0	256.32	29.77	0	0	6.29	0	269.93	314.70	-44.77	0.00	déficit
XVII	Río Lerma 7: Desde las EH Yurecuaro, Estanzuela y Zula hasta el Lago de Chapala	818.37	922	462.61	30.81	92.39	325.72	1416.03	-31.64	0	0.00	0.00	0.00	déficit
XVIII	Lago de Pátzcuaro	79.53	0	27.31	0.68	0	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	déficit
XIX	Lago de Cuitzeo	485.26	0	120.12	44.28	0	0	443.29	5.66	0	0.00	0.00	0.00	déficit
Totales		5307.23		3419.97	508.31	803.9	1108.65	2407.34	-18.55				0.00	déficit

Nomenclatura: Cp: Volumen medio anual de escurrimiento natural; Ar: Volumen medio anual de escurrimiento desde la cuenca aguas arriba; Uc: Volumen anual de extracción de agua superficial; R: Volumen anual de retornos; Im: Volumen anual de importaciones; Ex: Volumen anual de exportaciones; Ev: Volumen anual de evaporación en embalses; Av: Volumen anual de variación de almacenamiento en embalses; Ab: Volumen medio anual de la cuenca hacia aguas abajo; Rxy: volumen anual actual comprometido aguas abajo; D: Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica. Fuente: DOF del 19 de abril del 2010.

16. 1.1.3 Recurso Subterráneo

La subcuenca de Salamanca y el DR 011 Alto Río Lerma se encuentran ubicados en nueve acuíferos de los dieciocho que cuenta el estado de Guanajuato (Figura 4), de los cuales todos se encuentran en déficit, siendo el acuífero Irapuato-Valle el que presenta mayor déficit con -162.53 hm^3 (Tabla 2).

Figura 4. Disponibilidad de agua subterránea



Fuente: Elaborado a partir de: Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, DOF diciembre 2013.

Tabla 2. Disponibilidad de aguas subterráneas de los acuíferos del estado de Guanajuato (cifras en hm³/año).

CLAVE	NOMBRE DEL ACUÍFERO	Área km²	RECARGA	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DEFICIT
1101	XICHÚ-ATARJEJA	3,945.46	40.30	31.50	4.64	8.70	4.12	0.00
1103	OCAMPO	1,651.53	6.40	0.20	1.62	4.10	4.58	0.00
1104	LAGUNA SECA	1,320.98	128.50	0.00	154.56	398.00	0.00	-26.06
1106	DR. MORA-SAN JOSE DE ITURBIDE	783.39	32.00	0.00	39.85	58.00	0.00	-7.85
1107	SAN MIGUEL DE ALLENDE	358.29	28.60	6.50	30.57	22.10	0.00	-8.47
1108	CUENCA ALTA DEL RIO LAJA	4,131.43	139.70	0.00	199.95	412.00	0.00	-60.24
1110	SILAO-ROMITA	1,880.97	243.50	0.00	363.70	363.70	0.00	-120.20
1111	LA MURALLA	241.39	34.80	5.00	40.68	36.40	0.00	-10.88
1113	VALLE DE LEÓN	1,321.42	156.10	0.00	333.77	204.00	0.00	-177.67
1114	RIO TURBIO	1,192.36	110.00	0.00	113.33	148.00	0.00	-3.33
1115	VALLE DE CELAYA	2,793.81	286.60	0.00	419.48	593.00	0.00	-132.88
1116	VALLE DE LA CUEVITA	782.84	5.90	0.70	9.45	8.50	0.00	-4.25
1117	VALLE DE ACÁMBARO	1,123.24	102.50	0.00	149.70	149.70	0.00	-47.20
1118	SALVATIERRA-ACÁMBARO	747.57	28.40	0.00	69.99	53.00	0.00	-41.59
1119	IRAPUATO-VALLE	2,436.93	522.20	132.40	552.34	583.20	0.00	-162.53
1120	PENJAMO-ABASOLO	2,413.67	225.00	0.00	351.36	721.00	0.00	-126.36
1121	LAGO DE CUITZEO	340.81	7.10	0.30	9.00	9.00	0.00	-2.20
1122	CIENEGA PRIETA-MOROLEÓN	1,220.11	85.00	9.00	198.10	142.90	0.00	-122.10

Nomenclatura: R: Recarga total media anual; DNC: Descarga natural comprometida; VC: Volumen concesionado de agua subterránea; VEXT: Volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; D: Disponibilidad media anual de agua subterránea. Fuente: Elaborado a partir de: Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, DOF diciembre 2013.

17. 1.1.4 Infraestructura hidráulica existente

El Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma está organizado para su operación y funcionamiento en 11 módulos: Acámbaro (Módulo 1), Salvatierra (Módulo 2), Jaral (Módulo 3), Valle (Módulo 4), Cortazar (Módulo 5), Salamanca (Módulo 6), Irapuato (Módulo 7), Abasolo (Módulo 8); Huanímaro (Módulo 9), Corralejo (Módulo 10) y La Purísima (Módulo 11). La infraestructura hidroagrícola con la que cuenta el DR 011 es la que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 3. Infraestructura hidroagrícola con la que cuenta el DR 011

Infraestructura	Cantidad	Unidad	Clasificación	Cant./Clasif.	Clasificación	Cant./clasif.
			Almacenamiento	4		
			1. Presa Tepuxtepec			
			2. presa Solís			
			3. Laguna de Yuriria.			
			4. presa purísima			
Presas	9	Pza.	Derivación	5		
			1. Chamácuaro			
			2. Reforma			
			3. Lomo de Toro			
			4. Santa Julia			
			5. Markazuza			
Diques	-	Pza.				
Pozos	2,173	Pza.	Oficiales	186		
			Particulares	1,987		
Cárcamos de bombeo	340	Pza.				
Plantas de bombeo	854	Pza.	Oficiales	642		
			Particulares	212		
					Rev. Concreto	63.5
					Rev.	
			Principales	470.11	Mampostería	47.08
					Sin revestir	359.53
					Entubados	-
Canales	1,715.47	Km			Rev. Concreto	86.65
					Rev.	
			Secundarios	1,244.14	Mampostería	109.4
					Sin revestir	1049.31
					Entubados	-
Drenes	1029.62	Km	Principales	309.88		
			Secundarios	719.74		
Caminos	2,441.84	Km	Pavimentados	61.31		
			Revestidos	746.36		

Infraestructura	Cantidad	Unidad	Clasificación	Cant./Clasif.	Clasificación	Cant./clasif.
			Terracerías	1,634.17		
Caminos interparcelario	1,782.03	Km	Interparcelario	1,782.03		
					Cruce	2,877
			En canales	13,293	Medición	50
					Operación	9,509
Estructura	17,231	Pza.			Protección	857
			En drenes	3,938	Cruce	1,280
					Operación	2,658
			En caminos	-		
Casetas y edif.	152	Pza.			Obras diversas	-

Fuente: Evaluación del DR-011 Alto Río Lerma a 20 años de su transferencia (2013), Martínez P.R.

Presas de almacenamiento

Los tipos de aprovechamiento del DR 011 son aguas superficiales concesionadas, aguas del subsuelo concesionadas extraídas con equipo de bombeo, las fuentes de abastecimiento son 4; Presa Tepuxtepec, Presa Solís, Laguna de Yuriria y Presa Purísima; que mediante 5 presas derivadoras; Chamácuaro, Reforma, Lomo de Toro, Santa Julia y Markazuza, alimentan una red de 422.85 km de canales principales y 1,183.22 km de canales laterales, cuenta con 13,293 estructuras sobre la red de canales.

En el reglamento actual del DR, se establecen cinco fuentes aprovechables:

1. Las aguas superficiales concesionadas que escurren por el cauce de los ríos Lerma, Guanajuato y sus afluentes, se almacenan en las Presas Tepuxtepec, Solís, Laguna de Yuriria y la Purísima (Tabla 4); las aguas del Río Turbio, que son derivadas por los diques Agua Tibia y San Gabriel.

Tabla 4. Capacidades de almacenamiento de las presas del DR 011

Nombre	Capacidad N.A.M.E	Capacidad N.A.M.O	Capacidad Muerta	Volumen Útil
	miles de m ³			
Presa Tepuxtepec	537,527	425,000	25,000	40,000
Presa Solís	1,071,022	800,000	25,000	798,107
Laguna de Yuriria	325,195	18,800	100	85,000
Presa La Purísima	195,700	110,000	1,893	188,000

Fuente: Evaluación del DR-011 Alto Río Lerma a 20 años de su transferencia (2013), Martínez P.R.

La **presa Tepuxtepec**, es una obra cuya finalidad principal es la generación de energía eléctrica, al situarse aguas arriba de la presa Solís forma parte importante del sistema hidráulico general. Esta presa cuenta con un nivel de agua máxima extraordinarias de 537.5 millones de metros cúbicos y una capacidad de volumen útil de 425 millones de metros cúbicos. Esta presa la maneja Comisión Federal de Electricidad (CFE); la jefatura de Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma elabora el programa de extracciones para que la Comisión Nacional del Agua a través de la Gerencia de Distritos y Unidades de Riego trámite ante CFE las extracciones anuales que pueden ir entre 400 y

450 millones de metros cúbicos. La CFE ajusta su programa de generación en función del programa de extracciones para el distrito de riego.

La **presa Solís**, se encuentra situada en las proximidades del municipio de Acámbaro y al inicio del Distrito de Riego, tiene como objetivo principal almacenar los escurrimientos del Río Lerma para su uso en el riego. Actualmente tiene una capacidad de almacenamiento en nivel de aguas de 1,071.022 millones de metros cúbicos, con una capacidad útil de 800 millones de metros cúbicos.

La **Laguna de Yuriria** es una depresión natural del terreno con adaptaciones para que sirva de almacenamiento, se encuentra sobre el Arroyo de los Sauces, tributario del Río Lerma, forma parte del sistema de drenaje natural. El nivel de agua máxima extraordinarias es 32.52 millones de metros cúbicos y una capacidad de volumen útil de agua ordinarias es de 18.8 millones de metros cúbicos. La profundidad media de la laguna es de 2.60 metros. Esta laguna forma parte del sistema hidráulico.

La **presa La Purísima**, está situada sobre el río Guanajuato y se ubica al norte del Distrito de Riego, no es considerada parte del sistema hidráulico general, pero forma parte del gobierno del distrito, por encontrarse en la misma región hidrológica. Inició su funcionamiento en octubre de 1979, con una capacidad de 196 millones de metros cúbicos. Abastece al módulo La Purísima.

2. Las aguas del subsuelo concesionadas y extraídas mediante pozos profundos;
3. Las aportaciones de cuenca baja concesionadas que pueden ser aprovechadas dentro del perímetro del DR;
4. Las aguas subálveas y de drenaje que se podrán rehusar mediante bombeo y;
5. Las aguas que se aprovechen en subirrigación donde las condiciones lo permiten.

Los porcentajes de aprovechamiento del agua de riego de las presas, en promedio ha sido para la presa Tepuxtepec 74.41%, Solís 68%, Laguna de Yuriria 57.77% y presa la Purísima del 56.12% (Tabla 5).

Tabla 5. Almacenamiento y aprovechamiento de las presas del DR 011

Fuente de abastecimiento	Almacenamiento en miles de m ³		Porcentaje de aprovechamiento para riego (%)
	Capacidad útil	Capacidad para riego	
Presa Tepuxtepec	537,527	400,000	74.41
Presa Solís	1,071,022	728,282	68.00
Laguna de Yuriria	325,195	187,856	57.77
Subtotal	1,933,744	1,316,138	66.73
Presa La Purísima	195,700	110,000	56.12
Total	2,129,444	1,426,138	61.42

Fuente: Evaluación del DR-011 Alto Río Lerma a 20 años de su transferencia (2013), Martínez P.R.

Las superficies totales, de pozos particulares, de gravedad, y de volúmenes asignados en el REPDA de presas y de extracción de pozos oficiales para cada módulo del DR 011, se presentan en la tabla siguiente.

Tabla 6. Superficies de los módulos del DR 011

No.	Módulo	Superficie Total (ha)	Superficie de bombeo de pozos particulares (ha)	Superficie Gravedad (ha)	Porcentaje (%)	Volumen Asignado Presas Mm ³	Pozos Oficiales Mm ³
1	Acámbaro	8,707.91	1,688.00	7039.02	9.54	75.95	3.3
2	Salvatierra	16,168.15	4,075.87	12092.28	16.39	130.47	8.7
3	Jaral	6,685.82	2,155.96	4529.86	6.14	48.88	5.6
4	Valle	13,253.35	3,955.10	9298.25	12.6	100.32	8.3
5	Cortazar	18,385.01	5,662.65	12722.36	17.24	137.27	15.9
6	Salamanca	14,064.06	3,771.85	10292.21	13.95	111.05	8.1
7	Irapuato	8,320.55	4,015.05	4305.5	5.83	46.45	6.8
8	Abasolo	14,960.05	4,853.45	10106.6	13.69	109.05	11
9	Huanimaro	3,777.47	1,058.62	2718.85	3.68	29.34	4.39
10	Corralejo	1,525.20	831.15	694.05	0.94	7.162	3.35
11	Purísima	42,772.65	798.85	3973.8		25.2	
Total		42,772.65	798.85	3,973.80	0.00	821.14	75.44

Fuente: Evaluación del DR-011 Alto Río Lerma a 20 años de su transferencia (2013), Martínez P.R.

Red de conducción

La red mayor de canales del DR 011, posee una longitud total de 470.11 km de canal principal, de las cuales 63.50 km esta revestidos en concreto, 47.08 km revestidos con mampostería, 359.53 km sin revestir (Tabla 3).

Red de distribución



Se refiere a la red secundaria de los canales (lateral, sublateral, ramal, subramal). La red secundaria de canales del DR, posee una longitud total de 1,244.14 km, de estas 86.65 km de canales están revestidos de concreto, 109.40 km revestidos con mampostería y 1,049.31 km de canales sin revestir (Tabla 3).

Estructuras sobre la red de canales

Las estructuras en el DR 011, se agrupan en 4 categorías por el tipo de función que cumplen: estructuras de cruce, de medición, de operación y de protección, en total se contabilizan 13,293 estructuras, de las cuales, 2,877 son de cruce, 50 de medición, 9,509 de operación, 857 de protección (Tabla 3).

Red de caminos

Para el mantenimiento de la infraestructura de distribución y drenaje es necesario contar con una red de caminos para mantenimiento y acceso. Los caminos son necesarios para circular con la maquinaria de preparación del terreno y labores de cultivo, además de la recolección de la cosecha. La longitud de

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 30 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

caminos de operación es de 2,441.84 km, además de 1,782.03 km para los caminos interparcelarios que son de acceso e intercomunicación (Tabla 3).

Red de drenaje

En el DR 011, el Río Lerma sirve como canal y como dren, con una capacidad de 260 m³/s de la Presa Solís hasta la Derivadora Lomo de Toro (59 km) y de la Derivadora Lomo de Toro a la Derivadora Markazuza tiene una capacidad de 400 m³/s (105 km) (Tabla 3).

La red de drenaje del DR, tiene una longitud total de 1,029.68 km de la longitud total 309.88 km son de drenes principales y 719.74 km son drenes secundarios. Cabe aclarar que se está llamando a dren principal a los drenes que colectan flujo de los drenes secundarios y van a descargar al río, en este trabajo se define como un dren parcelario a un dren corto que colecta desperdicios de un grupo pequeño de parcelas, por lo que no ramifica y descarga al río en una distancia muy corta, además no tiene laterales que le confluyan (Tabla 3).

Estructuras sobre la red de drenaje

Las estructuras que están sobre la red de drenaje son tan importantes como las estructuras que están sobre los canales de distribución. Sobre los drenes hay estructuras que permiten manejar las aguas excedentes del riego para controlar su flujo y en algunos casos volver a utilizarlas. En todo el DR se cuentan con 1,280 estructuras de cruce 2,658 estructuras de operación (Tabla 5).

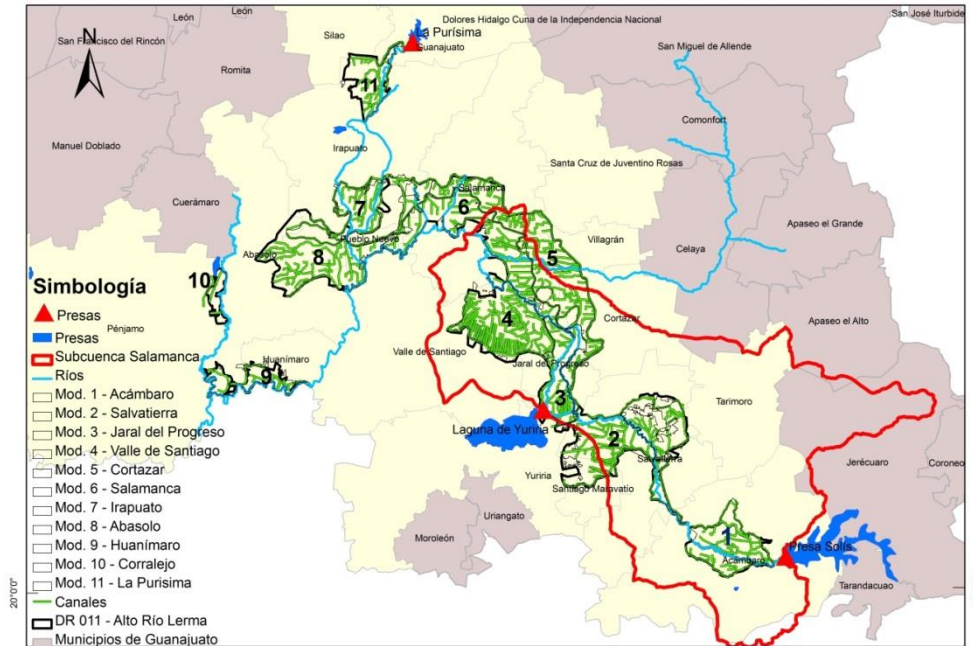
Cárcamos de Bombeo

En el DR 011, se ubican 340 cárcamos bombeos (Tabla 3).

Pozos profundos

Dentro de la superficie que domina el DR 011, existen un gran número de pozos profundos que riegan una parte de la superficie, los pozos profundos se clasifican en pozos particulares y pozos oficiales, los pozos particulares son aquellos que fueron hechos con recursos del mismo usuario y es el usuario quien se encarga del control y mantenimiento, los pozos oficiales son aquellos que fueron hechos con recursos del DR y son los usuarios organizados en los Módulos de Riego quienes se encargan de darles mantenimiento. Se tienen 186 pozos oficiales y 1,987 particulares.

Figura 5. Infraestructura del DR 011 Alto Río Lerma



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

18. 1.1.5 Análisis de los módulos del DR 011

A continuación se analizará la oferta y demanda de los ocho módulos que se consideraron para el modelo hidro económico para el análisis de la valoración económica sobre el uso del agua en la cuenca; así como también su volumen de producción, costos de operación, precio medio rural y rendimiento para el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014.

En la tabla siguiente se observa la oferta de agua que se tiene concesionada para cada uno de los módulos del DR 011 Alto Río Lerma, donde el total de volumen por agua superficial es de 813.98 Mm³ y el volumen de agua subterránea es de 67.70 Mm³, teniendo así que el 92% de distrito se riega por gravedad.



Tabla 7. Volumen concesionado en los módulos del DR 011 Alto Río Lerma

Núm.	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 ACAMBARO	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-ACAMBARO	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	SISTEMA DE PRESAS 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	SISTEMA DE PRESAS 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	SISTEMA DE PRESAS TEPUXTEPEC-SOLÍS-LAGUNA DE YURIRIA, PRESA DERIVADORA LOMO DE TORO	46.45
8	AGRUPACIÓN DE PRODUCTORES DEL MÓDULO ABASOLO, DISTRITO DE RIEGO II, A.C.	PENJAMO-ABASOLO	11	SISTEMA DE PRESAS 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.			SISTEMA DE PRESAS TEPUXTEPEC-SOLÍS-LAGUNA DE YURIRIA	29.34
11	PRODUCTORES AGRÍCOLAS DE LA PRESA LA PURÍSIMA, A.C.			PRESA LA PURÍSIMA	25.2
Total			67.7	Total	813.98

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

19. Módulo 01-Acámbaro

El Módulo de Acámbaro cuenta con una superficie dominada de 8,707.91 ha, de las cuales 7,039.02 ha son regadas con agua de gravedad, se cuenta con un padrón de 1,930 usuarios con derecho a riego. Para el

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 33 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

riego de gravedad se utilizan de las presas alrededor de 73 Mm³ y se cuenta con una red de canales de concreto (17.69 km), mampostería (2.90 km) y en tierra (3.00 km). Para el riego por pozos se tienen considerados 134 pozos oficiales, los cuales proveen alrededor de 1.7 Mm³.

En Acámbaro los cultivos que se han cosechado en los ciclos agrícolas que van de 2008-2009 al 2013-2014 han sido ocho cultivos, de los cuales con mayor superficie cosechada han sido sorgo grano, maíz grano y alfalfa (verde) que en conjunto representan el 92% de lo cosechado en el módulo.

El módulo de Acámbaro tiene concesionado un total de 79.25 Mm³ de los cuales 3.3 Mm³ provienen del acuífero de Valle de Acámbaro y 75.95 Mm³ provienen de presas, teniendo así que el 96% del módulo se abastece de agua superficial.

En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 6,926 ha de las cuales el 80% se rego por gravedad y el 20% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 84% de lo concesionado y 47% de agua superficial.

20. *Módulo 02-Salvatierra*



El Módulo de Salvatierra cuenta con una superficie dominada de 16, 168.15 ha, de las cuales 12, 092.28 ha son regadas con agua de gravedad, se cuenta con un padrón de 6,054 usuarios con derecho a riego. Para el riego de gravedad se utilizan de las presas alrededor de 125 Mm³ y se cuenta con una red de canales de concreto (2.66 km), mampostería (22.90 km) y en tierra (85.42 km). Para el riego por pozos se tienen considerados 176 pozos oficiales, los cuales proveen alrededor de 7.9 Mm³.

En Salvatierra los cultivos que se han cosechado en los ciclos agrícolas que van de 2008-2009 al 2013-2014 han sido 30 cultivos, de los cuales con mayor superficie cosechada han sido maíz grano, trigo grano, sorgo grano, cebada, alfalfa, frijol asociado y tomate de cáscara que en conjunto representan el 85% de lo cosechado en el módulo.

El módulo de Salvatierra tiene concesionado un total de 217.47 Mm³ de los cuales 8.7 Mm³ provienen del acuífero de Salvatierra-Acámbaro y 130.47 Mm³ provienen de presas, teniendo así que el 60% del módulo se abastece de agua superficial.

En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 12,142 ha de las cuales el 89% se rego por gravedad y el 11% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 95% de lo concesionado y 63% de agua superficial.

En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 12,142 ha de las cuales el 89% se rego por gravedad y el 11% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 95% de lo concesionado y 63% de agua superficial.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 34 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

21. *Módulo 03-Jaral*

El Módulo de Salvatierra cuenta con una superficie dominada de 6,685.82 ha, de las cuales 4,529.86 ha son regadas con agua de gravedad, se cuenta con un padrón de 1,463 usuarios con derecho a riego. Para el riego de gravedad se utilizan de las presas alrededor de 47 Mm³ y se cuenta con una red de canal de mampostería de 22.61 km. Para el riego por pozos se tienen considerados 206 pozos oficiales, los cuales proveen alrededor de 4.2 Mm³.

En Jaral los cultivos que se han cosechado en los ciclos agrícolas que van de 2008-2009 al 2013-2014 han sido 17 cultivos, de los cuales con mayor superficie cosechada han sido maíz grano, cebada, brócoli, sorgo grano, trigo grano alfalfa y frijol asociado que en conjunto representan el 86% de lo cosechado en el módulo.

El módulo de Jaral tiene concesionado un total de 54.48 Mm³ de los cuales 5.6 Mm³ provienen del acuífero de Irapuato y 48.88 Mm³ provienen de presas, teniendo así que el 90% del módulo se abastece de agua superficial.



En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 5,353 ha de las cuales el 88% se rego por gravedad y el 12% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 100% de lo concesionado y 85% de agua superficial.

22. *Módulo 04-Valle*

El Módulo de Valle cuenta con una superficie dominada de 13,253.35 ha, de las cuales 9,298.25 ha son regadas con agua de gravedad, se cuenta con un padrón de 2,309 usuarios con derecho a riego. Para el riego de gravedad se utilizan de las presas alrededor de 96 Mm³ y se cuenta con una red de canales de concreto (0.24 km), mampostería (5 km) y en tierra (17.26 km). Para el riego por pozos se tienen considerados 251 pozos oficiales, los cuales proveen alrededor de 6.2 Mm³.

En Valle los cultivos que se han cosechado en los ciclos agrícolas que van de 2008-2009 al 2013-2014 han sido 28 cultivos, de los cuales con mayor superficie cosechada han sido sorgo grano, cebada, maíz grano, trigo grano, alfalfa, brócoli y espárrago que en conjunto representan el 98% de lo cosechado en el módulo.

El módulo de Valle tiene concesionado un total de 108.62 Mm³ de los cuales 8.3 Mm³ provienen del acuífero de Irapuato y 100.32 Mm³ provienen de presas, teniendo así que el 92% del módulo se abastece de agua superficial.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 35 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 11,679 ha de las cuales el 90% se rego por gravedad y el 10% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 80% de lo concesionado y 73% de agua superficial.

23. *Módulo 05-Cortazar*

El Módulo de Cortazar cuenta con una superficie dominada de 18,385.01 ha, de las cuales 12,722.36 ha son regadas con agua de gravedad, se cuenta con un padrón de 3,162 usuarios con derecho a riego. Para el riego de gravedad se utilizan de las presas alrededor de 131 Mm³. Para el riego por pozos se tienen considerados 341 pozos oficiales, los cuales proveen alrededor de 9.1 Mm³.

En Cortazar los cultivos que se han cosechado en los ciclos agrícolas que van de 2008-2009 al 2013-2014 han sido 25 cultivos, de los cuales con mayor superficie cosechada han sido sorgo grano, trigo grano, cebada, maíz grano, lechuga, brócoli, alfalfa y cebolla que en conjunto representan el 78% de lo cosechado en el módulo.

El módulo de Cortazar tiene concesionado un total de 153.17 Mm³ de los cuales 15.90 Mm³ provienen del acuífero de Valle de Celaya y 137.27 Mm³ provienen de presas, teniendo así que el 90% del módulo se abastece de agua superficial.



En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 18,872 ha de las cuales el 86% se rego por gravedad y el 14% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 93% de lo concesionado y 85% de agua superficial.

24. *Módulo 06-Salamanca*

El Módulo de Salamanca cuenta con una superficie dominada de 14,064.06 ha, de las cuales 10,292.21 ha son regadas con agua de gravedad, se cuenta con un padrón de 2,712 usuarios con derecho a riego. Para el riego de gravedad se utilizan de las presas alrededor de 106.2 Mm³. Para el riego por pozos se tienen considerados 220 pozos oficiales, los cuales proveen alrededor de 5.7 Mm³.

En Salamanca los cultivos que se han cosechado en los ciclos agrícolas que van de 2008-2009 al 2013-2014 han sido 21 cultivos, de los cuales con mayor superficie cosechada han sido sorgo grano, cebada, trigo grano, espárrago, maíz grano, lechuga, alfalfa, nopal, ajo y brócoli que en conjunto representan el 98% de lo cosechado en el módulo.

El módulo de Salamanca tiene concesionado un total de 119.15 Mm³ de los cuales 8.10 Mm³ provienen del acuífero de Irapuato y 111.05 Mm³ provienen de presas, teniendo así que el 93% del módulo se abastece de agua superficial.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 36 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 12,476 ha de las cuales el 90% se rego por gravedad y el 10% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 94% de lo concesionado y 77% de agua superficial.

25. *Módulo 07-Irapuato*

El Módulo de Irapuato cuenta con una superficie dominada de 8,320.55 ha, de las cuales 4,305.5 ha son regadas con agua de gravedad, se cuenta con un padrón de 1,269 usuarios con derecho a riego. Para el riego de gravedad se utilizan de las presas alrededor de 44.4 Mm³. Para el riego por pozos se tienen considerados 179 pozos oficiales, los cuales proveen alrededor de 4.4 Mm³.

En Irapuato los cultivos que se han cosechado en los ciclos agrícolas que van de 2008-2009 al 2013-2014 han sido 28 cultivos, de los cuales con mayor superficie cosechada han sido sorgo grano, cebada, trigo grano, maíz grano, espárrago, fresa, alfalfa, lechuga, ajo, brócoli y cebolla que en conjunto representan el 98% de lo cosechado en el módulo.

El módulo de Irapuato tiene concesionado un total de 53.25 Mm³ de los cuales 6.8 Mm³ provienen del acuífero de Irapuato y 46.45 Mm³ provienen de presas, teniendo así que el 87% del módulo se abastece de agua superficial.

En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 12,476 ha de las cuales el 68% se rego por gravedad y el 32% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 92% de lo concesionado y 74% de agua superficial.

26. *Módulo 08-Abasolo*

El Módulo de Abasolo cuenta con una superficie dominada de 14, 960.05 ha, de las cuales 10,106.6 ha son regadas con agua de gravedad, se cuenta con un padrón de 2,423 usuarios con derecho a riego. Para el riego de gravedad se utilizan de las presas alrededor de 104.3 Mm³. Para el riego por pozos se tienen considerados 277 pozos oficiales, los cuales proveen alrededor de 8.8 Mm³.

En Abasolo los cultivos que se han cosechado en los ciclos agrícolas que van de 2008-2009 al 2013-2014 han sido 20 cultivos, de los cuales con mayor superficie cosechada han sido sorgo grano, cebada, trigo grano, maíz grano, espárrago, brócoli y alfalfa que en conjunto representan el 99% de lo cosechado en el módulo.

El módulo de Abasolo tiene concesionado un total de 120.05 Mm³ de los cuales 11 Mm³ provienen del acuífero de Penjamo-Abasolo y 109.05 Mm³ provienen de presas, teniendo así que el 91% del módulo se abastece de agua superficial.

En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial fue de 15,957 ha de las cuales el 85% se rego por gravedad y el 15% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 54% de lo concesionado y 76% de agua superficial.

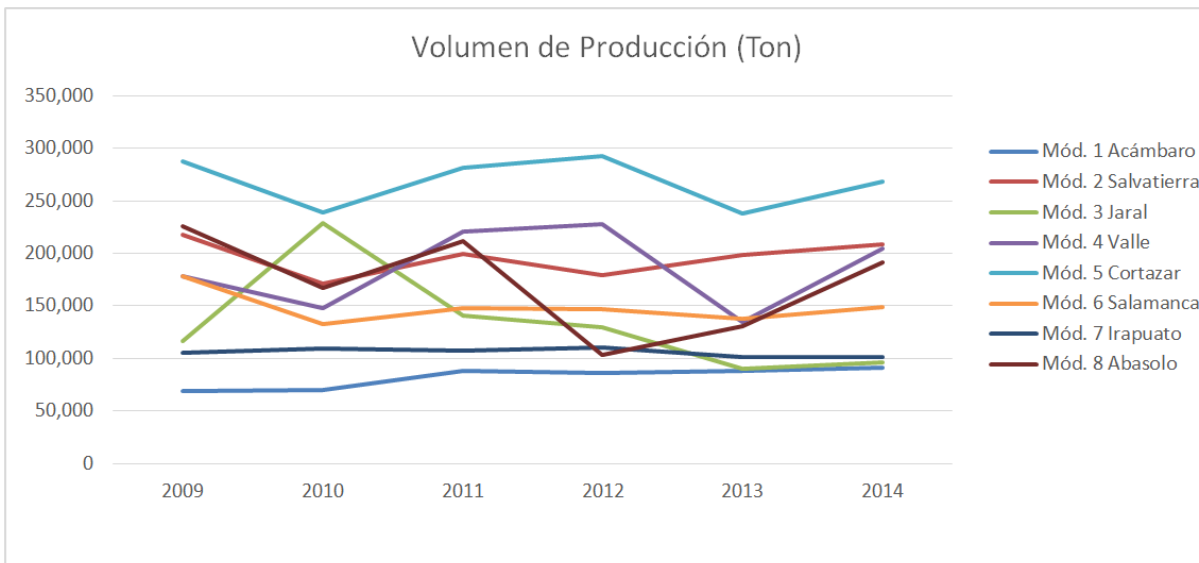
Realizando un análisis del volumen de producción de en los ocho módulos se tiene que el módulo de Cortazar es el que ha producido más en estos seis años agrícolas con una producción de 1, 605, 197 toneladas y el de menor producción ha sido Acámbaro con una producción de 492, 203 toneladas (ver tabla 8 y figura 6).

Tabla 8. Volumen de producción (toneladas) en los módulos del DR 011 en el periodo de 2009-2014

Módulo	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Mód. 1 Acámbaro	69,323	69,519	88,407	86,459	87,778	90,715	492,203
Mód. 2 Salvatierra	217,374	170,704	199,001	179,658	198,315	208,560	1,173,612
Mód. 3 Jaral	116,832	229,173	140,596	129,520	90,020	96,136	802,275
Mód. 4 Valle	178,307	148,256	221,095	227,806	135,039	204,627	1,115,130
Mód. 5 Cortazar	287,350	238,779	281,046	292,141	237,697	268,184	1,605,197
Mód. 6 Salamanca	178,583	133,206	147,823	147,291	137,998	148,544	893,446
Mód. 7 Irapuato	105,864	109,630	107,673	109,952	101,594	101,765	636,477
Mód. 8 Abasolo	225,792	167,560	211,571	103,133	131,089	191,059	1,030,204

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

Figura 6. Volumen de producción en los módulos del DR 011



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

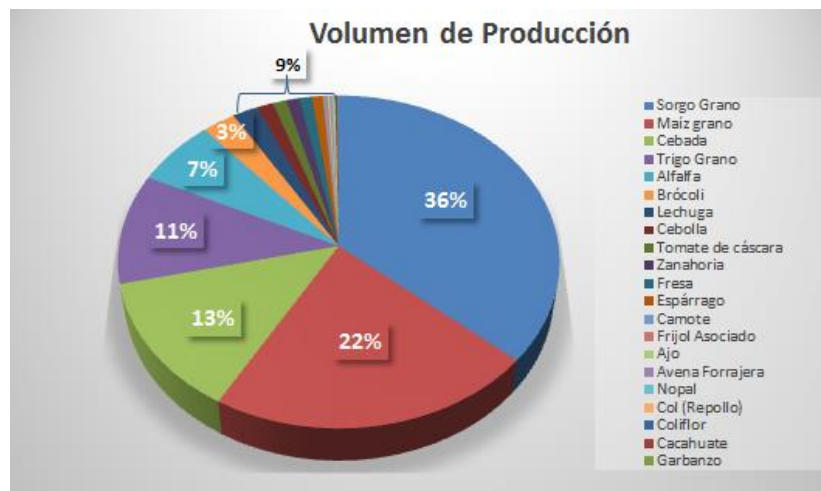
En los años agrícolas analizados se observa que los 45 cultivos cosechados en los ocho módulos, 21 representa casi el 100% de lo producido (Tabla 9); pero los principales son el sorgo de grano, maíz de grano, cebada, trigo de grano, alfalfa y brócoli, representan el 91 % de lo producido en los ocho módulos (Fig. 7).

Tabla 9. Volumen de producción por cultivo (toneladas)

Volumen Producción (Ton) 2008-2009 al 2013-2014									
Cultivo	Mod. 1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4	Mod. 5	Mod. 6	Mod. 7	Mod. 8	Total
Sorgo grano	298,843	109,719	36,631	497,788	589,904	434,135	271,585	516,507	2,755,113
Maíz grano	110,615	540,181	387,012	158,784	289,309	57,947	31,640	103,822	1,679,310
Cebada	564	38,555	90,442	303,698	188,493	129,495	72,478	162,871	986,596
Trigo Grano	19,355	91,918	14,851	36,740	263,464	134,966	75,186	178,611	815,091
Alfalfa	55,334	166,883	42,296	60,695	68,543	31,584	51,840	19,027	496,203
Brócoli		21,522	85,211	18,786	47,276	4,448	11,909	16,197	205,348
Lechuga		145	360	9,906	88,568	32,190	21,178		152,349
Cebolla	236	29,299	984	4,299	40,523	13,849	12,374	1,360	102,923
Tomate de cáscara		73,010	923	824	2,530	888	889	4,199	83,262
Zanahoria		54,698	7,942	9,445	7,148	817	367		80,416
Fresa		16		1,060	280	6,413	52,667	16,395	76,832
Espárrago				4,945	4,490	31,840	15,247	8,379	64,900
Camote		14,809	45	36	224				15,114
Frijol Asociado		11,711	1,546	316	825	86	183	1	14,668
Ajo		45	663	4,351	4,260	2,829	517	130	12,796
Avena Forrajera	6,836	1,408		206	895	795	236	1,095	11,471
Nopal		1,122				10,126			11,248
Col (Repollo)				61		0	9,498		9,559
Coliflor			80	286	5,963	206	1,163	72	7,769
Cacahuete		6,747	485	30	391				7,652
Garbanzo	419	5,071	335	108	605	590	68	36	7,231
Total de cultivos	492,203	1,166,859	669,806	1,112,364	1,603,689	893,203	629,025	1,028,703	7,595,853
Total del Modulo	492,203	1,173,612	670,275	1,115,130	1,605,197	893,446	636,477	1,030,204	7,616,544
%	100.0%	99.4%	99.9%	99.8%	99.9%	100.0%	98.8%	99.9%	99.7%

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

Figura 7. Volumen de producción de los cultivos en los módulos del DR 011



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

En cuanto al costo promedio de producción se tiene que los cultivos como son la fresa, espárrago y ajo son los cultivos a donde hay que invertir más para su cosecha y por ello su producción en el DR 011 es menor.

Tabla 10. Costo promedio de producción de los cultivos

Cultivo	Año						Promedio
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Fresa	83,878	177,159	151,568	131,137	156,387	186,264	147,732
Espárrago	25,915	136,838	108,121	40,033	36,467	81,954	71,555
Ajo	41,331	57,382	45,000	29,537	18,000	90,370	46,937
Cebolla	27,659	33,889	31,304	32,431	40,757	38,857	34,149
Brócoli	25,491	27,441	34,103	33,263	42,059	41,524	33,980
Chile	52,437	28,800	25,250			25,267	32,938
Caña de Azúcar	30,620	31,800					31,210
Coliflor	27,790	23,600	34,747	17,000	40,000	43,170	31,051
Pepino		23,667		21,830		45,000	30,166
Jitomate (tomate rojo)	23,700					36,515	30,108
Nopal	17,276	18,325	17,600	31,686	69,235	25,000	29,854
Lechuga	25,225	25,083	36,930	25,650	32,294	33,782	29,827
Col (Repollo)	26,960	20,333	34,903	26,500	34,110	34,990	29,633
Apio			26,377		25,000	34,150	28,509
Tomate de cáscara	28,580	28,657	21,802	30,000	32,107	28,904	28,342
Sandía	13,925	12,000	22,125	56,480	31,470	33,500	28,250
Betabel					27,830		27,830
Chayote	29,340	25,800	26,400				27,180
Rye Grass (zacate)	20,700	15,000	24,350	34,535	35,105	32,603	27,049
Rábano						26,340	26,340
Zanahoria	21,579	20,633	23,928	22,539	17,118	37,221	23,836
Alfalfa	22,787	20,170	22,052	25,036	26,735	23,735	23,419
Calabacita	17,100	21,453	24,179	22,000	19,000	29,371	22,184
Cacahuate	19,078	20,050	21,740	17,225	17,960	33,743	21,633
Camote	16,789	15,250	22,833	26,100	30,000	18,625	21,600
Chícharo	14,095	14,500	29,000	12,611	20,955		18,232
Maíz grano	12,500	12,297	15,453	17,236	20,149	20,220	16,309
Anís		20,920	7,520		20,000		16,147
Frijol Asociado	13,501	13,175	12,686	14,411	21,057	18,575	15,568
Comino					15,000		15,000
Sorgo Grano	11,388	10,973	17,337	15,225	17,153	17,232	14,885
Trigo Grano	13,236	12,556	15,254	14,468	13,997	19,263	14,796
Cebada	11,554	11,912	13,774	13,771	14,634	16,015	13,610
Cilantro	17,690	6,000	15,884				13,191
Frijol (Alubia)	11,150	12,640					11,895
Acelga	10,200						10,200
Avena Forrajera	10,757	10,545	10,270	8,233	9,500	10,576	9,980
Avena	9,912						9,912
Garbanzo	7,677	8,150	10,113	9,282	9,500	10,664	9,231
Vid	9,840	9,800	7,800				9,147
Guayabo	8,510	8,800	9,000	8,350			8,665
Melón	8,527						8,527
Durazno(Melocotón)	5,920			6,200			6,060

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

En cuanto al costo promedio de promedio de precio medio rural por tonelada que se tiene de los cultivos que se presentaron en los ocho módulos, se tiene que el espárrago, ajo y anís son los mejor pagados pero

debido al rendimiento el sorgo de grano, maíz de grano y cebada supera la producción que se pueden obtener en una hectárea y por lo mismo el valor de la cosecha es mucho mayor (Tabla 11).

Tabla 11. Promedio de precio medio rural por hectárea (\$/ton) de los cultivos

Cultivo	Año						Promedio
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	
Espárrago	21,177	24,186	25,033	23,969	24,769	26,110	24,207
Ajo	6,214	9,800	15,750	14,833	38,000	18,750	17,225
Anís		13,500	10,000		22,800		15,433
Comino					15,000		15,000
Frijol (Alubia)	10,500	11,850					11,175
Frijol Asociado	11,672	9,989	10,109	15,625	9,209	8,680	10,881
Chícharo	10,500	11,800	9,167	15,000	6,800		10,653
Vid	10,000	10,800	10,500				10,433
Cacahuete	11,982	10,333	10,731	12,094	9,800	6,714	10,276
Fresa	5,806	7,200	6,733	7,117	11,000	7,840	7,616
Durazno(Melocotón)	6,500			7,000			6,750
Garbanzo	6,350	6,433	4,720	6,346	9,000	7,313	6,694
Lechuga	10,493	4,705	11,427	2,422	6,863	2,190	6,350
Nopal	2,756	3,500	3,067	8,480	10,000	10,000	6,300
Apio			8,575		3,398	3,400	5,124
Chile	6,387	4,400	4,606			4,733	5,032
Brócoli	4,238	4,404	4,260	4,037	4,547	4,202	4,282
Coliflor	4,033	3,600	3,875	4,500	4,200	5,117	4,221
Betabel					3,900		3,900
Avena	3,850						3,850
Jitomate (tomate rojo)	3,900		2,200			5,395	3,832
Pepino		3,016	4,125	4,650		3,500	3,823
Rye Grass (zacate)	910	1,575	1,650	2,000	14,050	1,925	3,685
Cebolla	5,779	4,806	1,658	2,557	4,686	2,381	3,645
Cebada	3,397	3,316	3,631	3,956	4,014	3,551	3,644
Acelga	3,500						3,500
Guayabo	2,225	4,000	4,500	3,200			3,481
Trigo Grano	2,651	2,678	3,464	3,697	3,680	3,732	3,317
Maíz grano	2,554	2,733	4,451	3,914	3,134	2,723	3,251
Melón	3,100						3,100
Sandía	5,550	2,500	2,313	2,200	3,190	2,100	2,975
Tomate de cáscara	2,620	3,307	2,168	3,092	3,292	3,154	2,939
Sorgo Grano	2,185	2,490	4,013	3,699	2,912	2,146	2,907
Calabacita	2,913	3,400	2,569	2,833	3,000	2,000	2,786
Camote	2,110	2,000	2,833	3,867	3,600	2,263	2,779
Rábano						2,700	2,700
Cilantro	3,736	2,162	1,693				2,530
Col (Repollo)	2,640	2,531	2,638	1,965	2,122	2,119	2,336
Alfalfa	3,249	3,285	1,643	1,798	1,982	1,921	2,313
Avena Forrajera	1,365	1,406	3,574	1,388	1,138	2,608	1,913
Chayote	1,600	1,850	1,500				1,650
Zanahoria	1,819	1,583	1,544	1,027	1,194	1,975	1,524
Caña de Azúcar	800	800					800

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

En la tabla siguiente se muestran los rendimientos promedio que se tienen por hectárea para los diferentes cultivos que se cosecharon en los diferentes módulos; donde caña de azúcar, zanahoria, fresa y camote son los que presentaron el mayor rendimiento.

Tabla 12. Promedio de rendimiento de los cultivos en los módulos del DR 011

Promedio de Rendimiento (ton/ha) 2008-2009 al 2013-2014									
Cultivo	Mod. 1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4	Mod. 5	Mod. 6	Mod. 7	Mod. 8	Promedio
Caña de Azúcar		81							81
Zanahoria		34	38	41	33	34	19		33
Fresa		35		32	28	21	27	32	29
Camote		25	23	5	56				27
Chayote		25							25
Sandía		23		24			25		24
Rye Grass (zacate)				17		20	34		24
Cebolla	15	26	27	22	24	25	27	20	23
Alfalfa	21	28	27	15	20	29	22	19	23
Nopal		31				12			21
Pepino				19	17		28		21
Col (Repollo)				31		0	33		21
Lechuga		11	20	21	19	22	31		21
Tomate de cáscara		22	22	17	18	16	10	16	17
Betabel							17		17
Calabacita		13		16	16			14	15
Coliflor			8	11	11	15	26	12	14
Chile		13	20		16	0	15		13
Brócoli		13	12	9	12	9	20	11	12
Acelga							11		11
Maíz grano	10	11	12	10	9	10	10	9	10
Cilantro		14			14		12		10
Rábano							10		10
Jitomate (tomate rojo)		9		13	18	18			10
Ajo		10	9	14	7	8	10	8	9
Melón		9							9
Sorgo Grano	10	9	10	10	8	8	9	8	9
Apio						0	17		9
Avena Forrajera	9	13		7	6	7	11	7	9
Guayabo		7							7
Trigo Grano	6	6	6	7	7	6	5	6	6
Cebada	5	5	5	6	6	5	6	6	5
Espárrago				6	5	5	5	5	5
Chícharo				5	3		7	6	5
Vid		5							5
Durazno(Melocotón)		4							4
Cacahuete		4	6	2	3				4
Garbanzo	2	4	2	2	3	3	2	2	2
Frijol Asociado		2	2	2	3	2	3	1	2
Anís								2	2
Comino								1	1
Avena				2					1
Frijol (Alubia)				1					1

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

En el periodo agrícola que va del 2008-2009 al 2013-2014 el promedio de la superficie regada oficial en los ocho módulos fue de 89,695 ha de las cuales el 86% se rego por gravedad y el 14% por pozos. El promedio del volumen bruto que se ocupó de los pozos representa el 85% de lo concesionado y 73% de agua superficial (Tabla 13).

Tabla 13. Promedio de la superficie regada en los módulos del DR 011 en el periodo del 2008-2009 al 2013-2014

MÓDULO	SUPERFICIE REGADA (HA)			TOTAL	VOLUMEN NETO (Mm ³)			VOLUMEN BRUTO (Mm ³)		
	GRAVEDAD	POZOS	TOTAL		GRAVEDAD	POZOS	TOTAL	GRAVEDAD	POZOS	TOTAL
1 ACÁMBARO	5,609	1,317	6,926	17.94	2.4	20.34	35.48	2.77	38.25	
2 SALVATIERRA	10,849	1,293	12,142	52.94	7.25	60.18	81.71	8.26	89.97	
3 JARAL	4,694	659	5,353	22	5.06	27.08	41.79	5.6	47.39	
4 VALLE	10,534	1,145	11,679	42.56	5.76	48.32	73.69	6.61	80.3	
5 CORTAZAR	16,152	2,720	18,872	65.03	12.64	77.67	116.75	14.83	131.58	
6 SALAMANCA	11,212	1,264	12,476	71.95	6.84	78.79	85.28	7.6	92.88	
7 IRAPUATO	4,278	2,012	6,290	18.87	5.33	24.2	34.26	6.27	40.53	
8 ABASOLO	13,524	2,433	15,957	56.48	5.74	62.22	83.35	5.94	89.3	
Total	76,852	12,843	89,695	347.77	51.02	398.8	552.31	57.88	610.2	

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

La tabla siguiente muestra el costo promedio del metro cúbico (m³) para cada uno de los cultivos en los diferentes módulos, así como el costo que se obtuvo dependiendo el tipo fuente de abastecimiento (superficial o subterránea), donde se observa que el agua utilizada por pozos presenta mayor valor debido a los costos de bombeo. El costo se determinó con base a los costos de producción y al volumen de agua ocupado para dichos cultivos.

Tabla 14. Promedio del costo del metro cúbico (\$) para los diferentes cultivos en los módulos del DR 011

Cultivos	Mod. 1		Mod. 2		Mod. 3		Mod. 4		Mod. 5		Mod. 6		Mod. 7		Mod. 8	
	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P
ACELGA														0.2		
AJO				1.83		0.65	1.61	7.47	6.9	4.86		4.84	2.01			3.29
ALFALFA	3.33	3.84	2.84	2.18	1.84	1.59	3.14	2.67	2.91	3.3	1.08	2.39	1.98	1.95	2.13	
ANÍS														0.21	1.74	
APIO														1.38		
AVENA			1.44	2.25			0.17		0.81	1.24	0.59	0.88	0.55	0.55	0.82	1.47
Avena Forrajera	2.77	1.97					0.97	0.66								
BETABEL														0.44		
BRÓCOLI			3.15	4.08	2.78	2.28	9.44	5.55	5.61	3.81		4.87	3.54	4.1	5.75	
CACAHUATE			4.01	4.29	4	6.33	0	2.57	4.49	5.69						
CALABACITA			2.49	3.05			2.45	0.75		0.32					4.77	
CAMOTE			3.02	4.95	2.06		0	0.23	1.09							
CAÑA DE AZUCAR			2.88	6.29												
CEBADA	3.38	3.17	1.21	1.81	0.74	1.56	1.42	2.09	1.99	1.86	1.15	1.21	1.21	1.79	1.88	2.56
CEBOLLA	1.42	3.58	4.05	3.6	0.44	4.07	12.84	3.71	4.97	3.9	2.08	4.94		2.8		5.86
CHAYOTE			1.96	3.41												
CHICHARO								1.2						0.33		0.92
CHILE VERDE			5.39	3.42		1			8.19					0.91		
CILANTRO			1.85	2.2						0.33				0.32		
COL								1.22						2.94		0.61

Cultivos	Mod. 1		Mod. 2		Mod. 3		Mod. 4		Mod. 5		Mod. 6		Mod. 7		Mod. 8	
	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P
COLIFLOR						0.87		1.3	1.87	2.47		3.09		1.26		0.61
COMINO																0.64
DURAZNO			0.98													
ESPÁRRAGO							6.03	12.79		4.26	3.33	10.54	5.78	4.6	18.88	14.78
FRESA				3.84				15.28		0.72	5.08	15.58		3.68		10.56
FRIJOL ALUBIA							0.7	1.14								
FRIJOL ASOCIADO			2.14	3.07	1.67	2.27	4.79	3.59	2.77	3.51	2.51	2.37	0.73	1.43		3.45
GARBANZO	3.77	2.96	2.32	3.14	1.55	2.95	1.7	2.67	1.26	2.35	0.87	2.37	1.39	1.79	0.8	
GUAYABO			1.65	2.36												
JITOMATE			4.18					1.59								
LECHUGA				0.95	0.29	0.87	6.25	3.9	3.37	3.3		4.25	6.98	3.33		
MAÍZ DE GRANO	2.75	5.25	3.03	4.6	2	1.89	3.16	4.1	2	3.06	2.71	4.6	3.39	3.13	4.38	5.09
MAÍZ ELOTERO				1.68												
MELÓN			0.95													
NOPAL			3.36	5.5							1.76	6.32				
PEPINO								4.64		1.68					0.55	
RABANO															0.43	
RYE GRASS							1.19	1.32			0.29				2.22	
SANDIA			4.66					3.16							0.46	
SORGO DE GRANO	2.79	3.73	3.3	4.06	1.79	1.61	3.21	3.65	2.48	3.22	2.31	3.5	2.72	3.42	3.83	12.9
TOMATE DE CÁSCARA				3.68		2.57		5.72	2.8	2.18	1.61	2.36	0.9	2.16		4.55
TRIGO DE GRANO	2.61	3.56		1.95	0.74	1.46	1.48	1.87	0.95	1.31	1.02	1.86	1.4	1.45	1.44	2.31
VID			1.08													
ZANAHORIA				2.4		1.92	4.46	3.19		2.61		0.84		0.84		

Nota.- G: Gravedad P: Pozos

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

En la tabla siguiente se muestra las ganancias que se tiene de los cultivos en los seis años agrícolas, donde el sorgo de grano, maíz de grano, cebada y trigo de grano son los que más benéficos dejan a los agricultores considerando el precio medio rural (\$/ton) y los costos de producción (\$).

Tabla 15. Ganancias de los cultivos en los módulos del DR 011

Ganancias en millones de pesos							
Cultivos	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Sorgo Grano	373.47	560.58	1,379.18	891.65	442.74	214.06	3,861.68
Maíz grano	388.13	423.49	1,061.38	654.24	341.54	281.11	3,149.88
Cebada	255.22	149.27	541.62	397.65	54.91	142.28	1,540.94
Trigo Grano	223.00	45.51	480.55	216.35	21.99	95.48	1,082.87
Espárrago	134.18	4.98	210.41	127.08	260.92	124.60	862.16
Lechuga	511.82	87.99	113.61	51.27	19.99	18.60	803.27
Alfalfa	78.10	104.67	88.39	76.09	91.41	114.59	553.25
Brócoli	79.15	91.36	132.00	75.50	52.21	28.14	458.36
Cebolla	89.78	48.72	12.28	13.76	45.60	14.13	224.27
Fresa	25.83	18.22	39.97	33.61	35.06	15.59	168.30
Ajo	5.73	14.16	27.63	26.39	40.30	7.69	121.89
Tomate de cáscara	30.61	22.18	18.04	8.38	17.12	6.26	102.59
Zanahoria	23.02	14.91	11.70	2.13	10.90	15.48	78.15
Frijol Asociado	27.89	7.89	4.25	18.51	1.66	2.49	62.70

Ganancias en millones de pesos							
Cultivos	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Cacahuate	9.45	11.55	7.08	10.78	2.75	8.51	50.12
Nopal	7.66	11.64	13.40	0.77			33.47
Coliflor	3.80	15.50	0.38	0.51	0.94	1.29	22.42
Garbanzo	11.72	2.18	3.66	1.66	1.16	1.56	21.94
Camote	4.60	3.83	5.15	3.41	1.15	2.83	20.97
Col (Repollo)	1.71	3.84	2.11	2.41	2.36	1.45	13.88
Chile	5.45	3.46	2.34			1.06	12.31
Apio			9.66		0.64	0.85	11.15
Chícharo	0.21	0.28	4.57	0.33	0.07		5.45
Avena Forrajera	0.38	0.80	2.34	0.36	0.74	0.73	5.35
Calabacita	1.11	1.28	0.92	0.66	0.04	0.06	4.08
Rye Grass (zacate)	0.49	0.53	0.65	0.56	0.73	0.79	3.75
Pepino		0.51	0.45	1.71		0.36	3.02
Sandía	0.96	0.05	0.93	0.07	0.40	0.18	2.59
Cilantro	1.49	0.03	0.57				2.09
Chayote	0.22	0.34	0.26				0.82
Jitomate (tomate rojo)	0.07		0.32			0.21	0.59
Betabel					0.58		0.58
Guayabo	0.16	0.17	0.08	0.05			0.45
Frijol (Alubia)	0.24	0.18					0.42
Vid	0.09	0.14	0.08				0.30
Caña de Azúcar	0.15	0.08					0.23
Anís			0.09		0.07		0.16
Acelga	0.11						0.11
Durazno(Melocotón)	0.03			0.02			0.06
Melón	0.05						0.05
Avena	0.02						0.02
Rábano						0.001	0.001
Comino					0.001		0.001

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

En la tabla siguiente se muestran las pérdidas que se tiene de los cultivos en los seis años agrícolas, donde la cebada, espárrago, alfalfa, sorgo grano y trigo de grano son los que presentaron más pérdidas al considerar el precio medio rural (\$/ton) y los costos de producción (\$); pero también fueron los cultivos que mayor beneficios trajo a los agricultores.

Tabla 16. Pérdidas de los cultivos en el periodo 2008-2009 al 2013-2014

Cultivos	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Cebada	-11.254				-21.577	-39.860	-72.692
Espárrago	-0.035	-17.804				-31.538	-49.377
Alfalfa	-7.907	-9.453	-1.153	-12.692	-3.256	-1.106	-35.567
Sorgo Grano					-27.869	-3.076	-30.945
Trigo Grano	-8.156				-10.774	-0.187	-19.117
Ajo	-5.956	-3.993					-9.948
Nopal				-0.816	-5.729	-1.533	-8.078
Fresa	-4.215	-2.664				-0.893	-7.772

Cultivos	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total
Maíz grano	-0.078	-1.132		-1.154	-0.099	-4.902	-7.364
Frijol Asociado	-2.423		-0.060	-0.003	-3.476	-0.280	-6.242
Brócoli				-0.787		-2.282	-3.069
Lechuga	-0.125	-0.062			-2.684	-0.077	-2.949
Tomate de cáscara	-0.235	-0.002				-0.685	-0.922
Avena Forrajera	-0.133	-0.258	-0.163	-0.163			-0.716
Garbanzo	-0.103		-0.053	-0.012		-0.084	-0.252
Anís		-0.233					-0.233
Coliflor						-0.102	-0.102
Zanahoria				-0.101			-0.101
Cacahuete				-0.015		-0.030	-0.045
Chile	-0.029						-0.029
Rye Grass (zacate)						-0.012	-0.012
Cebolla				-0.001		-0.008	-0.009



Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

En la tabla 17 se observa que el módulo de Abasolo (módulo 8) fue donde se presentó la mayor pérdida en estos seis años agrícolas, debido principalmente a los cultivos de sorgo de grano, esparrago, cebada, alfalfa y trigo de grano.

Tabla 17. Perdidas de los cultivos en los módulos del DR 011

Cultivo	Mod. 1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4	Mod. 5	Mod. 6	Mod. 7	Mod. 8	Total
Cebada			-7.056		-45.181	-4.252	-7.109	-9.094	-72.692
Espárrago				-1.240		-31.538	-0.035	-16.565	-49.377
Alfalfa	-16.683			-12.970	-2.111	-0.366		-3.437	-35.567
Sorgo Grano	-0.019	-3.057						-27.869	-30.945
Trigo Grano		-8.156		-0.187		-4.464	-3.419	-2.892	-19.117
Ajo				-5.020	-4.928				-9.948
Nopal						-8.078			-8.078
Fresa						-2.664	-4.215	-0.893	-7.772
Maíz grano	-5.402	-0.830						-1.132	-7.364
Frijol Asociado		-5.165	-0.484	-0.093	-0.462	-0.023		-0.015	-6.242
Brócoli		-0.787		-1.698	-0.585				-3.069
Lechuga				-0.187	-2.559	-0.202			-2.949
Tomate de cáscara		-0.685		-0.002	-0.141			-0.094	-0.922
Avena Forrajera	-0.414	-0.012			-0.139	-0.151			-0.716
Garbanzo	-0.070			-0.035	-0.038			-0.109	-0.252
Anís								-0.233	-0.233
Coliflor				-0.102					-0.102
Zanahoria			-0.101						-0.101
Cacahuete					-0.045				-0.045
Chile		-0.029							-0.029
Rye Grass (zacate)				-0.012					-0.012
Cebolla						-0.001		-0.008	-0.009
Total	-22.588	-18.721	-7.640	-21.545	-56.190	-51.738	-14.778	-62.340	-255.540

Fuente: Elaboración propia con información proporcionada por la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma, 2015.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 46 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

27. 2. MODELACIÓN DE LA SUBCUENCA DE SALAMANCA EN WEAP

28. 2.1 Water Evaluation and Planning System

El desafío del manejo de los recursos hídricos es cada vez más grande. La asignación del recurso para diversos usos requiere de una visión integral que unifiquen de manera eficaz los procesos de oferta, demanda, calidad del agua y consideraciones ecológicas.



El sistema de evaluación y organización del agua plantea incorporar a las necesidades anteriormente expuestas, una solución, mediante el uso de un instrumento práctico para su planificación. El software WEAP es desarrollado por el Stockholm Environment Institute (cuya sede está ubicada en la ciudad de Boston).

WEAP 21 se distingue por su enfoque integral para simular los aprovechamientos hídricos y su orientación de políticas. El modelo coloca al mismo nivel la demanda (patrones de uso del agua, eficiencias de los equipos, reúso, precios y asignación) y la oferta (escurrimiento, agua subterránea, almacenamientos y transferencias) de agua. En este sentido, WEAP es un laboratorio para examinar alternativas de desarrollos hídricos y estrategias de gestión integrada de los recursos hídricos. WEAP intenta cubrir la brecha entre la gestión integrada de los recursos hídricos y la hidrología de la cuenca, además de contar con un modelo de simulación que sea fácil de usar, accesible y fácilmente disponible a la comunidad hídrica. Con el modelo es posible simular condiciones de calidad del agua superficial.

Además, el modelo tiene un módulo de asignación del agua que toma en cuenta las demandas de agua, las necesidades de flujo en las corrientes superficiales para navegación o aspectos ambientales y el funcionamiento de los vasos de almacenamiento.

Para resolver la asignación del agua se emplea un método de programación lineal estándar cuyo objetivo es maximizar la satisfacción de la demanda sujeta a las prioridades de abastecimiento, preferencias de los sitios de demanda, balances de masa y otras restricciones.

El conjunto de restricciones se define en cada intervalo para considerar consecutivamente el orden de las prioridades de la demanda y las preferencias del suministro. El enfoque tiene algunos atributos de un algoritmo tradicional de programación dinámica, porque el modelo se resuelve con una secuencia con base en el conocimiento de los valores derivados de variables y ecuaciones previas.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 47 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

29. 2.1.1 Características de WEAP

WEAP ofrece a través de un interfaz gráfico basado en SIG una manera simple, pero poderosa para construir, ver y modificar la configuración. El usuario diseña un diagrama esquemático del sistema usando el mouse "para arrastrar y soltar" (drag and drop) los elementos que se agregan al sistema. Estos elementos pueden ser sobrepuestos en un mapa construido en Arcview y otros archivos estándares de SIG y gráficos. Los datos para cualquier componente pueden ser corregidos directamente al hacer "click" en el símbolo deseado en el diagrama esquemático. El usuario puede consultar la característica de ayuda sensible al contexto en cualquier lugar dentro de WEAP. "Wizards", avisos, y mensajes de error proporcionan consejo a través del programa. Con el sistema altamente flexible y comprensivo de información de resultados de WEAP, el usuario puede preparar informes tanto como salida gráfica o tabular y seleccionar de un número de posibles opciones de formato (ej., unidades métricas o inglesas, años, niveles absolutos, partes porcentuales, o tasas de crecimiento). Las configuraciones específicas de los informes se pueden guardar como "favoritos," que se puede combinar en "vistas generales, (overviews)" o resúmenes, de los indicadores claves del sistema; estas vistas generales pueden ser recuperadas rápidamente para ser revisadas.

30. 2.1.2 Estructura de WEAP



La estructura de WEAP consiste de cinco vistas principales que a continuación se describen:

Vista de Esquema – En esta vista, permite agregara archivos ArcView y otros archivos SIG de tipo “vector” o “raster” como capas de fondo, los cuales permiten fácil y rápidamente configurar el sistema, además se cuenta con la capacidad de “jalar y soltar” los elementos que componen el sistema. Se tiene acceso rápidamente a los datos y a los resultados para cualquier elemento colocado en la vista de esquema.

El Esquema es el punto de partida para todas las actividades en WEAP ya que es donde se crea la modelación de la cuenca, porque se incorporan todos los elementos que interactúan en ella como son: ríos, derivaciones, presas, acuíferos, otras fuentes, sitios de demanda, captaciones, infiltración/escorrimento, líneas de transmisión, plantas de tratamiento de aguas residuales, flujos de retorno, hidroeléctricas, requisitos de flujo y medidor de caudales.

Vista de Datos – En ella se ven las herramientas de construcción del modelo que ayudan a la construcción de variables y relaciones, ingresar supuestos y proyecciones usando expresiones matemáticas; y puede acoplarse dinámicamente con Excel para importación y exportación de datos; también permite deja ver la representación de los datos en el modelo

Vista de Resultados - los resultados del modelo pueden ser vistos de manera detallada y flexible en gráficos, tablas o en un mapa. Los formatos de gráficas (barras, lineal, x, y etc.) y mapas permiten una visión de los resultados a través del tiempo.


 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 48 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

Vista Perspectiva - diseña un grupo de gráficos y resumen para destacar los indicadores claves a través de una revisión rápida


Vista de Nota – Se documenta todos los datos y supuestos que se consideraron en la elaboración del modelo.


31. 2.1.3 Elementos del modelo



La vista esquemática es el punto de partida para todas las actividades realizadas en WEAP. Dentro de la vista esquemática se cuenta con sitios de requerimiento de agua así como con sitios fuente, que se utilizarán para realizar nuestro modelo en WEAP y que a continuación se describen:

 **Sitios de demanda.** Es un conjunto de usuarios que comparten un sistema de distribución, se encuentran todos en una misma región definida y ocupan el mismo punto de abastecimiento. Las características necesarias para registrar un sitio de demanda son: tipo de actividad, dotación, variación mensual del consumo y porcentaje de agua que se consume, este último no afecta la cantidad de agua que se entregara al sitio, es decir solo es una cantidad de agua que sale del sistema.

→ **Río.** Dibuja la línea de flujo de un cauce, corre en el sentido de la flecha, la unión de un río con otro se hace especificando cual río será el tributario. Las características que se tienen que definir son: gasto, ya sea en el principio del río o describiendo el flujo en cada punto marcado sobre este, también se puede calcular con ayuda del módulo de hidrología superficial; la relación que se tiene con agua subterránea, especificando si el río recibe agua del subsuelo ó si se infiltra y se va al acuífero; la evaporación, medida en mm ó como porcentaje del flujo sobre el río; la longitud que el río que se encuentra en contacto con un acuífero.

 **Embalse.** Este sitio es considerado un punto de demanda de agua, su demanda se ve definida en su capacidad antes de la obra de excedencias, los datos básicos requeridos para usar estas estructuras son: capacidad de almacenaje, almacenaje inicial, curva volumen vs elevaciones, evaporación neta, filtración y una política de operación definida en tres niveles que son: nivel de tope (top of conservation), este es el nivel al que se encuentra la obra de excedencias; nivel de soporte (top of buffer), se define como un nivel al que se restringe la entrega de agua a los sitios de demanda; nivel de inactividad (top of inactive), es el nivel reservado para el volumen de azolves, por último se solicita un coeficiente de soporte, (buffer coefficient), que sirve para restringir la entrega de agua cuando el nivel se encuentra por debajo del buffer, mientras más cercano es a cero más se restringe la extracción.

 **Agua subterránea.** Son sitios de almacenamiento de agua, en estos nodos podemos dibujar un número ilimitado de links de abastecimiento a sitios de demanda, el usuario deberá ordenar la lista de preferencias para controlar las extracciones. Los datos solicitados en estos nodos son: capacidad de almacenaje, es la capacidad en Mm^3 que tiene el acuífero; almacenamiento inicial, la cantidad de agua que existe dentro del

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 49 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

acuífero al momento de comenzar la simulación; extracción máxima mensual, este dato restringe la extracción mensual debido al diseño de la extracción; recarga natural, la cantidad de agua que entra en el periodo de tiempo de cálculo por infiltración sin considerar aumentos de nivel por agua proveniente de centros de captación; método de cálculo, especificando los flujos y relaciones con ríos o usando el módulo de simulación de relación entre agua subterránea y agua superficial.

→ Link de transmisión. Señala la unión entre los nodos de abastecimiento y las demandas finales, es necesario definir la capacidad de conducción, las pérdidas que se tienen durante la conducción, ya sea por filtraciones, evaporación o fugas. Una pérdida dentro de un link de transmisión provocara un aumento en la cantidad de agua necesaria para abastecer el sitio de demanda.

→ Link de retorno. Todo sitio de demanda debe tener un punto de descarga de agua residual o de sobrante de agua, este link se encarga de devolver esta cantidad de agua ya sea a una planta de tratamiento o directamente a algún cuerpo de agua, dentro de este también se consideran pérdidas y relación con aguas subterráneas.



📍 Medidor de flujo. Son puntos colocados sobre el cauce de un río para hacer una comparación fácil y automatizada de los datos calculados por el programa y los datos históricos recopilados, no influye en ningún cálculo.

⊕ Nodo de requerimiento de flujo. Es un punto que se coloca sobre el cauce de un río y exige que pase un gasto determinado por ese punto, funciona como un sitio de demanda es decir se tiene que considerar la prioridad que tendrá.

— Nodo de derivación. Derivara agua de un río para satisfacer los sitios de demanda conectados a la desviación, y sus necesidades de flujo dentro de la corriente.

32. 2.2. Descripción del modelo

Como se ha comentado al principio del informe, en la subcuenca de salamanca se ubica el DR 011 Alto Río Lerma el cual ocupa un área aproximada de 686 Km² dentro de la cuenca que equivale al 53% del área total del distrito (ver figura 2); además es el mayor consumidor de agua y el que aporta mayor beneficios económicos a la subcuenca. Por lo anterior se consideró modelar en WEAP el DR 011, pero solo los primeros ocho módulos. A continuación se describirá como está conformado y operando en su totalidad el DR 011 y posteriormente se mencionara los módulos a considerar en el modelo en WEAP.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 50 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

33. 2.2.1 Descripción del modelo actual del DR 011

La operación del DR 011 tiene como objetivo fundamental el proporcionar el servicio de riego a los 11 módulos indicados anteriormente, realizando la planeación, la distribución del agua en función de las disponibilidades en el sistema de almacenamiento del DR.

La distribución de agua es responsabilidad de la Conagua únicamente a nivel de red mayor, pero se encuentra en proceso de transferencia, esta tarea es de la SRL. Hacia el interior de los módulos de riego, son ellos mismos los que controlan la distribución del agua. El agua es entregada a cada módulo en puntos de control específicos.

La planeación de la operación global es realizada por el personal técnico del DR considerando las disponibilidades de agua en las presas Tepuxtepec, Solís, Laguna de Yuriria y La Purísima. Las necesidades de agua de cada módulo de riego se hacen llegar a la Jefatura del Distrito a través de la Directiva de la AUA de cada módulo, vía la SRL.

La operación del Distrito, en lo fundamental, no sufrió grandes cambios a raíz de la transferencia del distrito a los usuarios, ya que las unidades de riego en las que antes se dividía para su operación, pasaron a formular los módulos.

Se consideran 4 obras de almacenamiento del DR.

- Presa Tepuxtepec y Solís sobre el Río Lerma.
- Laguna de Yuriria sobre el arroyo de Sauces.
- La Purísima sobre el Río Guanajuato.

La operación del DR 011 es realizada tomando en cuenta en consideración los siguientes rubros:

1. La Presa Tepuxtepec, es una obra cuya finalidad principal es la generación de energía eléctrica, pero al situarse aguas arriba de la Presa Solís, es parte importante del sistema hidráulico general, de hecho, los gastos y volúmenes turbinados están en función de los acuerdos que se toman año con año entre la Conagua y la Comisión Federal de Electricidad. Se estima que el 90% del agua extraída de la Presa Tepuxtepec llega a la Presa Solís y el resto se deriva en aprovechamientos aguas arriba de la Presa Solís, o se evapora e infiltra en el trayecto.
2. La Presa Solís, situada en las proximidades del municipio de Acámbaro y al inicio del DR, tiene como objetivo principal almacenar los escurrimientos del Río Lerma para uso en el riego. Originalmente fue construida con una capacidad de 800 Mm³, pero la sobreelevación hecha hace algunos años aumentó su capacidad a 1,217 Mm³.
3. La Laguna de Yuriria es una depresión natural del terreno a la que se le han hecho adaptaciones para que sirva como almacenamiento; se sitúa sobre el arroyo de los Sauces, tributario del Río Lerma y que forma parte del sistema de drenaje natural con capacidad 187.8 Mm³.

4. La Presa la Purísima, situada sobre el Río Guanajuato y al norte del DR, es una obra independiente del sistema hidráulico general, aunque forma parte del mismo, por situarse en la misma región hidrológica. Inició su funcionamiento en 1980 y abastece al Módulo del mismo nombre, tiene una capacidad de 196 Mm³.

En relación a las presas derivadoras, dada la sinuosidad del Río Lerma en su desarrollo por el DR, las presas derivadoras tienen una importancia crucial, puesto que permiten elevar los tirantes para dar carga a los canales que de ellas nacen, así como controlar niveles y gastos garantizar un abasto adecuado de las necesidades de agua de los Módulos de Riego. Las Presas derivadoras que se tienen en el DR 011 son Chamácuaro, Reforma, Lomo de Toro, Santa Julia y Markazuza.

Sin embargo, la planeación de la operación a nivel DR se realiza fundamentalmente en función de la disponibilidad de agua en la Presa Solís por Cuenca propia y por los trasvasos de la Presa Tepuxtepec, considerando los volúmenes concesionados a cada módulo de Riego.

Las características fundamentales de las Presas Tepuxtepec y Solís se indican a continuación en la tabla 18.

Tabla 18. Superficie regada en el módulo 08-Abasolo

CARÁCTERÍSTICAS	PRESA	
	TEPUXTEPEC	PRESA SOLÍS
Capacidad total (miles de m ³)	537,527	1,071,022
Volumen muerto (miles de m ³)	25,000	25,000
Capacidad de riego (miles de m ³)	375,000	775,000
Capacidad de control (miles de m ³)	137,527	417,000
Obra de toma (m ³ /s)	130	180
Vertedor (m ³ /s)	1,570	1,000

Fuente: Evaluación del DR-011 Alto Río Lerma a 20 años de su transferencia (2013), Martínez P.R.

Como se indicó anteriormente, el plan de riegos considera únicamente a las superficies regadas con aguas de las presas, dejando en forma libre para decidir a los usuarios de pozos particulares. El plan de riegos se formula a partir de la disponibilidad de agua en las presas al día 1 de octubre, y se programa en un inicio para O-I, replanteándose al término del mismo para P-V y SC para P-V se programa máximo dos riegos y para SC un solo riego, asumiendo la ocurrencia de lluvias. Lo anterior implica que los usuarios esperan el agua de lluvia que, de no presentarse, implicaría una disminución en el rendimiento esperado de los cultivos, o bien se comprende agua a los dueños de los pozos.

Puntos de control del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma

Las reglas de operación de las presas de almacenamiento como de la red de conducción y distribución del DR 011 han surgido de la experiencia de los operadores del mismo, sin embargo, estas reglas muchas veces

han propiciado que en algunos años se tengan niveles muy bajos en los almacenamientos por no realizar una planeación adecuada.

En la tabla 19 se indican los puntos de control y los canales principales de cada uno de los módulos del DR 011.

Tabla 19. Puntos de control y canales principales de los módulos del DR 011

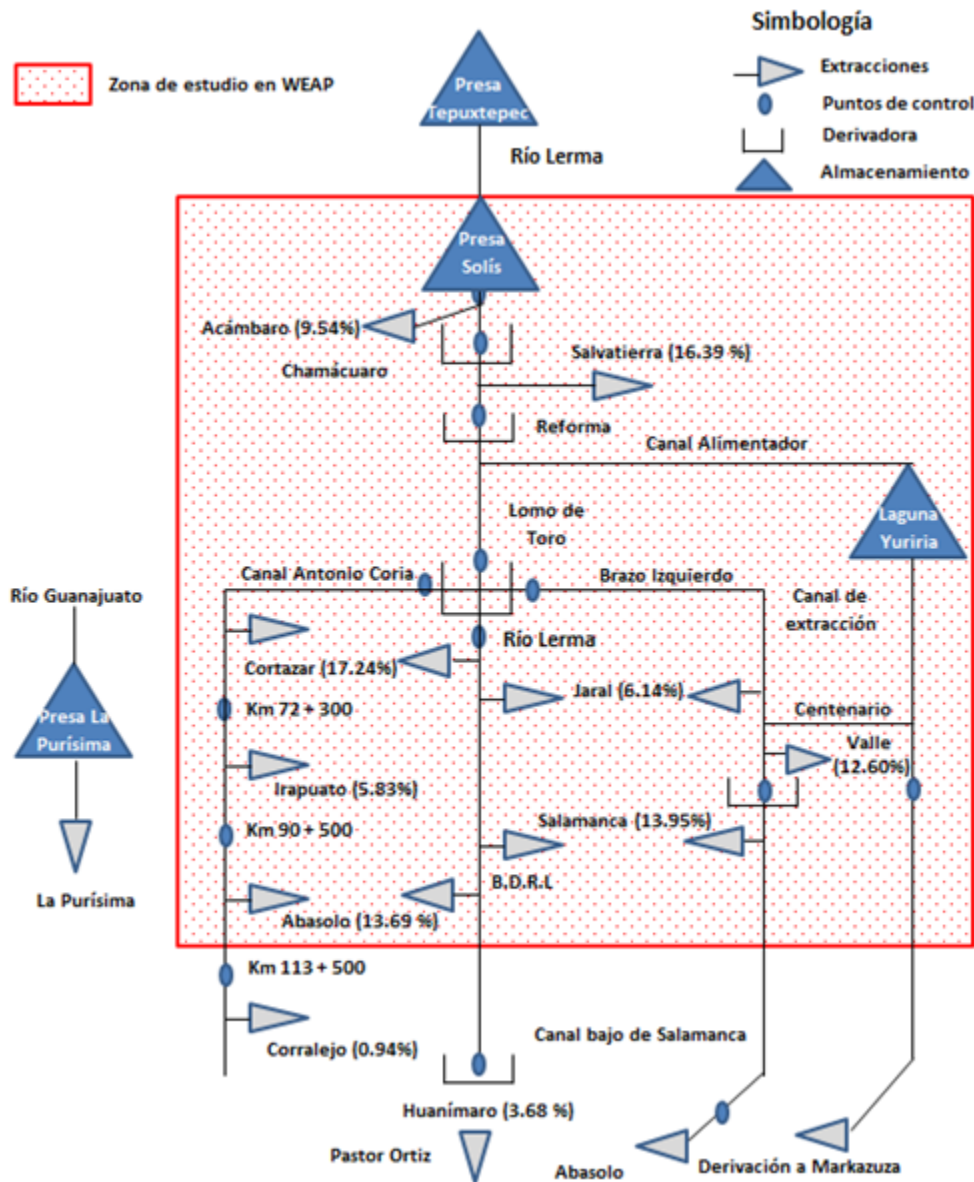
MÓDULO	PUNTOS DE CONTROL	CANAL(ES) PRINCIPALES
Acámbaro	Toma en Presa Solís	San Cristóbal
	Derivadora Chamácuaro	San Agustín
	Derivadora Reforma	Emenguaro San Nicolás Ardillas
Jaral	Derivadora Lomo de Toro	Brazo Izquierdo Rito Nuevo Rito Viejo Provincia
Cortazar	Brazo Derecho (Río Lerma)	Tomas Directas
	Derivadora Lomo de Toro	Toma Nueva Antonio Coria
Salamanca	Brazo Derecho (Río Lerma)	Tomas Directas
	Derivadora Santa Julia	Bajo Salamanca
Irapuato	Bombeos Directos del Río Lerma	
Abasolo	Km 72 + 300 del C. Antonio Coria	Antonio Coria
	km 90 + 500 del C. Antonio Coria	Antonio Coria
	Km 61 + 400 del C. Bajo Salamanca	
	Bombeos Directos del Río Lerma	
Huanímaro	Derivadora Markazuza	Canal Huanímaro
Corralejo	km 113 + 500 del C. Antonio Coria	
	Dique alto (aportaciones del Río Turbio)	Dique Alto
	Dique San Gabriel (Aportaciones de Río Turbio)	San Gabriel
Purísima	Toma en Presa La Purísima (Río Guanajuato)	Principal de Extracción

Fuente: Evaluación del DR-011 Alto Río Lerma a 20 años de su transferencia (2013), Martínez P.R.

A continuación en la figura siguiente se presenta el modelo del DR 011, donde la parte sombreada de rojo es la que se considerara para llevar a cabo en la plataforma de WEAP. Así que se puede observar que el modelo considerara desde la presa Solís hasta el módulo de Abasolo como se muestra en la figura.

Figura 8. Modelo a realizar en WEAP

DR-011 ALTO RÍO LERMA



34. 2.2.3 Datos de entrada

Sitios de demanda

Los sitios de demanda a considerar en el modelo son los cultivos que se presentaron en los años agrícolas 2008-2009 al 2013-2014, para cada módulo.

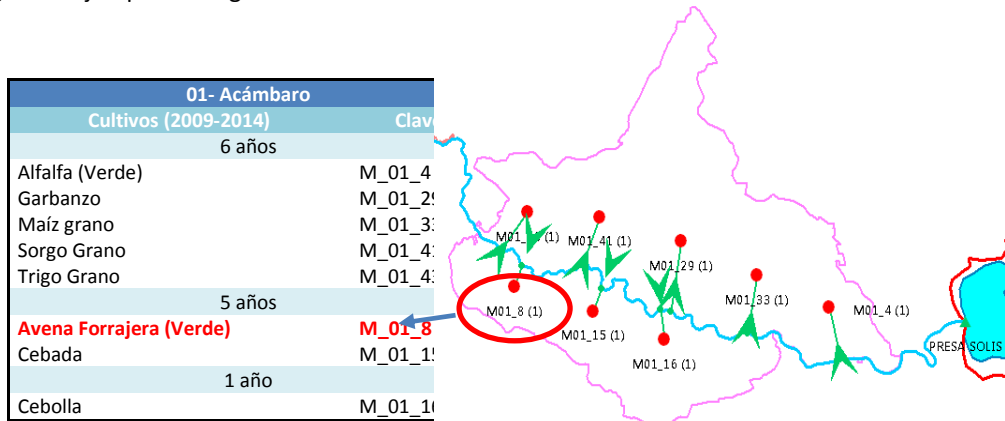
En la tabla siguiente se muestra el número que se le asignó a cada diferente cultivo que se presentaron en los periodos agrícolas, esto para asignarles una clave que facilite su descripción en el modelo de WEAP. En la figura siguiente se muestra un ejemplo de cómo se les asigno el nombre a las demandas (cultivos) que se colocaron en el módulo 1 de Acámbaro. Para mayor detalle de los demás módulos ver el anexo B.

Tabla 20. Tabla de datos en sitios de demanda

Núm.	Nombre del Cultivo	Núm.	Nombre del Cultivo	Núm.	Nombre del Cultivo
1	Acelga	16	Cebolla	31	Jitomate (tomate rojo)
2	Agave (Maguey) (Tequilero)	17	Chayote	32	Lechuga
3	Ajo	18	Chícharo	33	Maíz de grano
4	Alfalfa (Verde)	19	Chile (Verde)	34	Maíz Elotero
5	Anís	20	Cilantro	35	Melón
6	Apio	21	Col (Repollo)	36	Nopal (Verdura)
7	Avena	22	Coliflor	37	Pepino
8	Avena Forrajera (Verde)	23	Comino	38	Rábano
9	Betabel	24	Durazno Asociado	39	Rye Grass (Zacate ballico)
10	Brócoli	25	Espárrago	40	Sandía
11	Cacahuete (Frutal)	26	Fresa	41	Sorgo Grano
12	Calabacita (calabacín)	27	Frijol (Alubia)	42	Tomate de cáscara (Tomatillo)
13	Camote	28	Frijol (Asociado)	43	Trigo Grano
14	Caña de Azúcar (Soca)	29	Garbanzo	44	Vid (Mesa)
15	Cebada	30	Guayabo	45	Zanahoria

Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Ejemplo de asignación del nombre de las demandas en el módulo 01-Acámbaro en WEAP



Fuente: Elaboración propia.

Los datos necesarios para programar un sitio de demanda en WEAP son básicamente: consumo anual total en unidades de volumen; el consumo de agua en el sitio de demanda como porcentaje; variación mensual, como porcentaje del consumo anual total. Esta información se puede introducir al modelo mediante series de tiempo donde se coloca la demanda mensual que requiere determinado cultivo, en el modelo se introdujo dicha información como se muestra en la siguiente figura, donde se observa cómo se introdujo el archivo de Excel que contiene la información de la demanda de la alfalfa verde del módulo 1, por medio de una función de WEAP llamada "Read from File". Esta función se encarga de leer la demanda para cada cultivo del módulo con base en su columna correspondiente:

ReadFromFile(CULTIVOS_01 ACAMBARO.csv,1)

donde:

CULTIVOS_01 ACAMBARO.csv: Corresponde al archivo donde se encuentran los datos de las demandas
 1: Se refiere a la columna donde estos datos se encuentran para el cultivo de la alfalfa verde.

En la figura siguiente se muestra como se introdujo la información de la demanda de la alfalfa verde del módulo 1 de Acámbaro, así de cómo está colocada la información en el archivo de Excel.

Figura 10. Ejemplo de cómo se introduce una serie de tiempo de datos en WEAP

Nivel de actividad por año impulsando la demanda. Por ejemplo, el área con uso para agricultura, la población que emplea agua											
Sitios de demanda	2008	2009-2020								Escala	Unidad
ALFALFA_VERDE_01_06	ReadFro...	ReadFromFile(CULTIVOS_01 ACAMBARO.csv, 1, , Sum)									m ³

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	;CULTIVOS		ALFALFA VERDE	AVENA FORF	CEBADA	CEBOLLA	GARBANZO	MAÍZ	SORGO	TRIGO GRAN
2	;FUENTE		GRAVEDAD	GRAVEDAD	GRAVEDAD	GRAVEDAD	GRAVEDAD	GRAVEDAD	GRAVEDAD	GRAVEDAD
3	;COLUMN		1	2	3	4	5	6	7	8
4	;UNIT		m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
14	2008	10	155672.1528	0	0	0	0	0	0	28448.6122
15	2008	11	155672.1528	0	0	0	0	0	0	28448.6122
16	2008	12	155672.1528	0	0	0	0	0	0	28448.6122

Fuente: Elaboración propia.

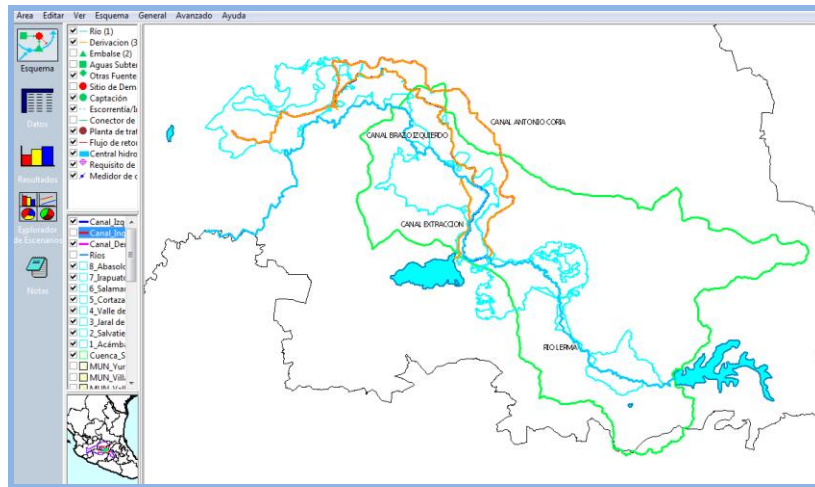
Las demandas introducidas al modelo corresponden las que se presentaron de las estadísticas agrícolas 2008-2009 al 2013-2014 que proporcionaron la Jefatura del DR 011 Alto Río Lerma.

Agua superficial

Para modelar un río, arroyo o derivaciones en WEAP se requiere de los gastos históricos en su tramo modelado, estos pueden ser ingresados a nivel mensual. En nuestro modelo (ver figura 11) solo se

consideró el río Lerma y se colocaron tres derivaciones (canal Antonio Coria, canal Brazo Izquierdo y Canal de Extracción); y los datos fueron tomados de las estadísticas agrícolas e Hidrométricas de los módulos del DR 011 Alto Río Lerma y de las concesiones que se tienen del REPDA (Tabla 7).

Figura 11. Modelación del río Lerma y derivaciones en WEAP



Fuente: Elaboración propia.

Agua subterránea

Las características físicas de los acuíferos que se requieren son la capacidad de almacenamiento, el almacenamiento inicial, extracción máxima y la recarga natural (Figura 13). En nuestro modelo se colocaron cinco acuíferos que en este caso son Valle de Acámbaro, Salvatierra-Acámbaro, Irapuato, Valle de Celaya y Penjamo-Abasolo; y que desafortunadamente se encuentran en déficit (Tabla 21).

Tabla 21. Acuíferos considerados en área de estudio

CLAVE	NOMBRE DEL ACUÍFERO	Área km ²	R	DNCOM	VCAS	VEXTET	DAS	DEFICIT
1115	VALLE DE CELAYA	2,793.81	286.6	0	419.48	593	0	-132.88
1117	VALLE DE ACÁMBARO	1,123.24	102.5	0	149.7	149.7	0	-47.2
1118	SALVATIERRA-ACÁMBARO	747.57	28.4	0	69.99	53	0	-41.59
1119	IRAPUATO-VALLE	2,436.93	522.2	132.4	552.34	583.2	0	-162.53
1120	PENJAMO-ABASOLO	2,413.67	225	0	351.36	721	0	-126.36

Nomenclatura: R: Recarga total media anual; DNCOM: Descarga natural comprometida; VCAS: Volumen concesionado de agua subterránea; VEXT: Volumen de extracción de agua subterránea consignado en estudios técnicos; DAS: Disponibilidad media anual de agua subterránea. Fuente: Elaborado a partir de: Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, DOF diciembre 2013.

Figura 12. Introducción de información en WEAP

Físico
Calidad del agua
Costo

Capacidad de almacenaje
Almacenamiento Inicial
Extracción máxima
Recarga Natural
Método

Afluentes Mensual a las aguas subterráneas, ajenos al retorno de flujos. Para variación de mensual, utilice el Asistente de Series de Tiempo Mensual.

Aguas Subterránea	Tomar valores de	2008	Escala	Unidad
Valle de Celaya	Ingrese la ecuación	286.6	Million	m ³

Presas

Las **características físicas** que se requieren son capacidad de almacenamiento, almacenamiento inicial, curva volumen-elevación y evaporación neta. Dentro de las **características de operación** se requieren las de nivel de conservación, nivel de inactividad, nivel buffer (Top of Buffer) y coeficiente de la zona buffer (Buffer Coefficient). Las presas a considerar en el modelo son la presa Solís y Laguna de Yuriria (Tabla 22).

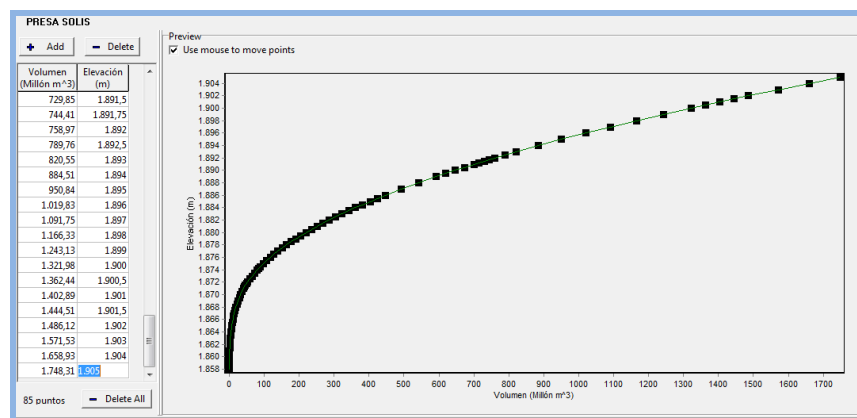
Tabla 22. Características de los embalses.

Características de almacenamiento superficiales						
Presa	Capacidad	Inicial	Conservación	Buffer	Inactive	B coef
	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	Mm ³	
Presa Solís	1,071	52.023	870		1	
Laguna de Yuriria	325.2	16.86	288	3	1	0.25

Fuente: Datos proporcionados por el DR 011 Alto Río Lerma, Gto. Atlas Digital del Agua México 2012, CONAGUA.

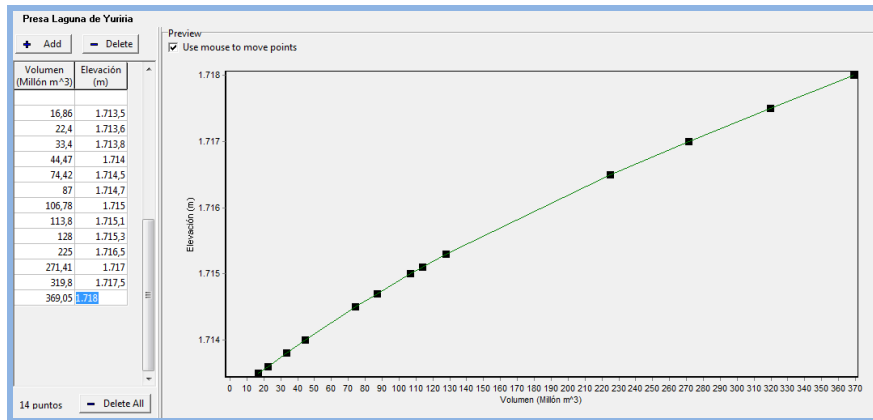
Las curvas elevación vs capacidades mostradas en las siguientes figuras se programaron dentro del modelo para poder realizar los balances hidráulicos en los embalses, los datos completos se pueden ver en el anexo C.

Figura 13. Curva elevaciones capacidades de la presa Solís en WEAP



Fuente: Elaboración propia.

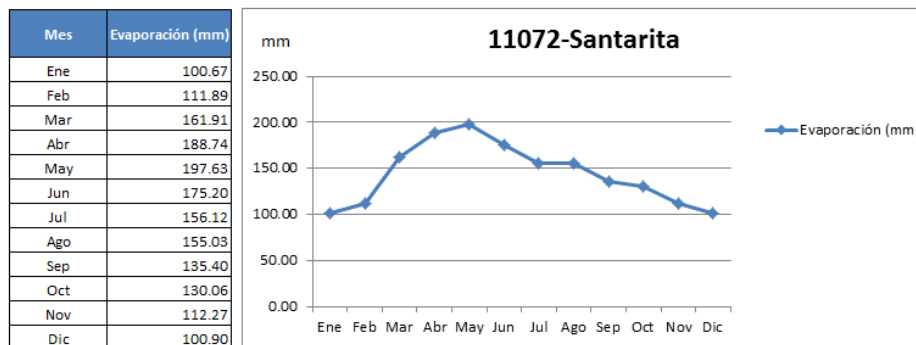
Figura 14. Curva elevaciones capacidades de la presa Laguna de Yuriria en WEAP



Fuente: Elaboración propia.

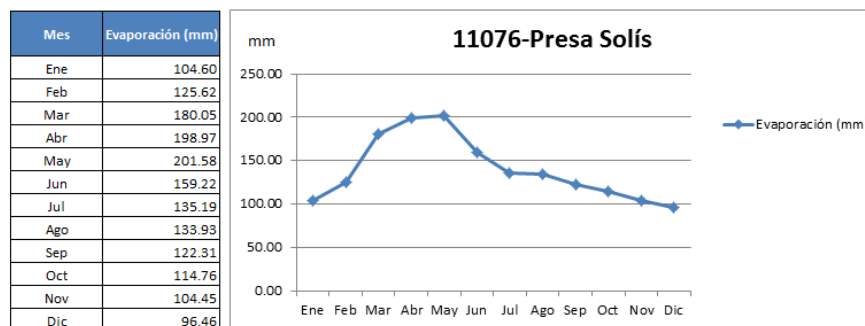
La evaporación neta se determinó mediante las estaciones climatológicas 11072-Santarita la cual se ubica cerca de la presa Laguna de Yuriria (latitud 20.299 y longitud -101.066) y 11076-Presa Solís la cual se ubica en dicha presa (latitud 20.051 y longitud -100.678).

Figura 15. Curva de evaporación neta para la presa Laguna de Yuriria





Fuente: Elaboración propia con información del ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica versión 3)

Figura 16. Curva de evaporación neta para la presa Solís



Fuente: Elaboración propia con información del ERIC III (Extractor Rápido de Información Climatológica versión 3)

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 59 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

Conectores de transmisión de agua entre fuentes y sitios de demanda

Los link de transmisión son la unión entre los nodos de abastecimiento y las demandas finales, es necesario definir la capacidad de conducción, las pérdidas que se tienen durante la conducción, ya sea por filtraciones, evaporación o fugas. Una pérdida dentro de un link de transmisión provocara un aumento en la cantidad de agua necesaria para abastecer el sitio de demanda.

Dentro de nuestro modelo se colocaron un total de 177 conectores que van de nuestras fuentes de abastecimiento superficial a las demandas.

Sistema de prioridades

Para decidir cuál será la demanda que se satisface primero ó tiene preferencia sobre las demás WEAP utiliza un sistema de prioridades; este consiste en una numeración del 1 al 99 considerando más importante el 1, la distribución de agua entonces será primero para los sitios de demanda que tengan la prioridad más alta y después para los de prioridad baja. Cuando dos sitios tengan el mismo número asignado la cantidad de agua entregada a estos sitios será, en porcentaje de su dotación, la misma.

Los embalses tienen también un número de prioridad, se recomienda que tengan la más baja posible para evitar que el reservorio almacene agua si no es necesario.

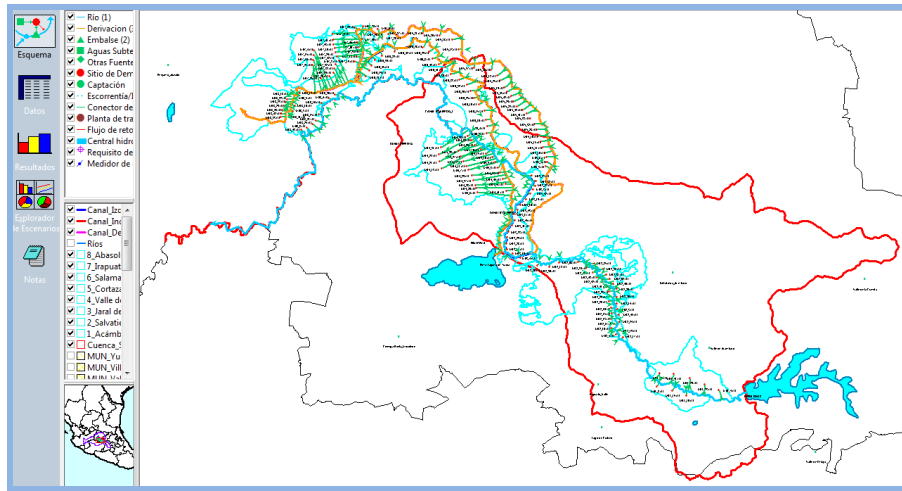
Así que los elementos incorporados a nuestro modelo en WEAP presentan varias prioridades donde las demandas de los cultivos que se presentaron los seis y cinco años se les asigno una prioridad de 1, y los cultivos donde se presentaron cuatro y tres años se les asigno prioridad 2 y los de dos y un año prioridad de 3. Las presas tienen considerado una prioridad de 99 y las líneas de transmisión y derivaciones 98.

35. 2.2.4 Análisis del modelo

El modelo realizado en WEAP se realizó considerando solo la fuente superficial ya que de esta manera permitiría hacer una evaluación más detallada de las demandas de los cultivos y la forma en que se satisfacen dichas demandas.

Así que como fuentes principales de abastecimiento de agua se consideraron la presa Solís y Laguna de Yururia, que ambas satisficieron las demandas de los 45 cultivos que se presentaron en los ocho módulos modelados, mediante el cauce del río Lerma y las tres derivaciones que representan el canal Antonio Coria, el canal Brazo Izquierdo y el canal de extracción que proveen de agua a los módulos de Jaral, Valle, Cortazar, Salamanca, Irapuato y Abasolo (Figura 17).

Figura 17. Vista de modelo completo en WEAP

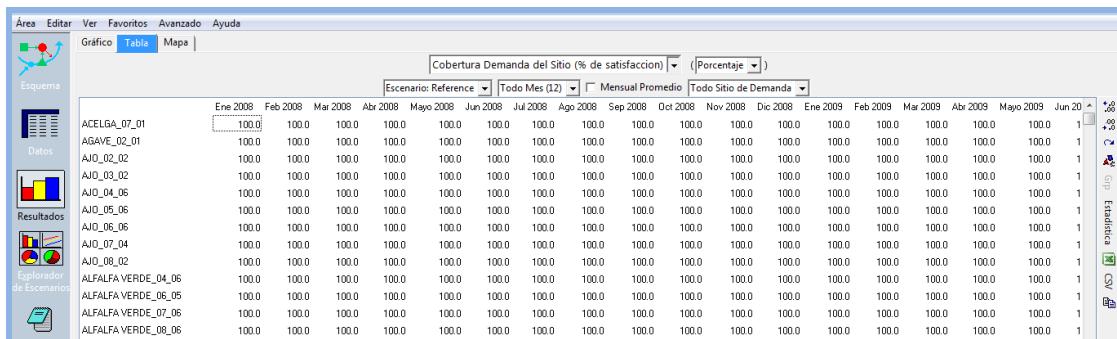


Fuente: Elaboración propia.

36. 2.2.5 Resultados del modelo

En la figura siguiente se observa que las coberturas de las demandas (cultivos) son satisfechas al 100%, esto es debido a que la oferta aún es mayor a lo demandado ya que lo concesionado por el REPDA en agua superficial lo supera alrededor de un 20%.

Figura 18. Cobertura de la demanda de los sitios de demanda en WEAP

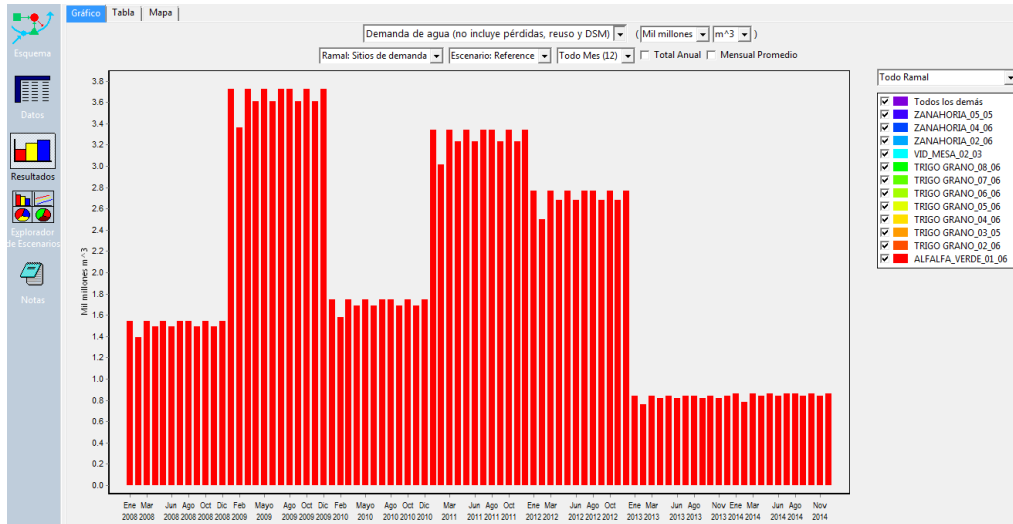


Sitio de Demanda	Cobertura Demanda del Sitio (% de satisfacción)																		
	Ene 2008	Feb 2008	Mar 2008	Abr 2008	Mayo 2008	Jun 2008	Jul 2008	Ago 2008	Sep 2008	Oct 2008	Nov 2008	Dic 2008	Ene 2009	Feb 2009	Mar 2009	Abr 2009	Mayo 2009	Jun 2009	
ACELGA_07_01	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
AGAVE_02_01	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
AJO_02_02	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
AJO_04_06	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
AJO_05_06	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
AJO_06_06	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
AJO_07_04	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
AJO_08_02	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ALFALFA VERDE_04_06	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ALFALFA VERDE_06_05	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ALFALFA VERDE_07_06	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ALFALFA VERDE_08_06	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: Elaboración propia.

Las demandas de agua son satisfechas para cada uno de las demandas (cultivos) como es el caso de la alfalfa verde del módulo de Acámbaro (Figura 42) que presento cubierto todos sus requerimientos, y que su fuente principal es la presa Solís.

Figura 19. Demanda de agua en WEAP



37. Conclusión

Este trabajo tuvo como finalidad mostrar el modelo realizado en la plataforma del Water Evaluation and Planning System (WEAP), donde se presentó el análisis de los ocho módulos (Acámbaro, Salvatierra, Jaral, Valle, Cortazar, Salamanca, Irapuato y Abasolo) considerados del DR 011 Alto Río Lerma para llevar a cabo la valoración económica del agua dentro de la subcuenca de Salamanca. En dicho análisis se tuvo que la producción de granos ocupa la mayor parte de la superficie de los módulos y que son cultivos que consumen un volumen de agua significativo como son el sorgo de grano, maíz de grano, cebada y trigo de grano que en conjunto representan el 82% de la producción.

Volumen de producción (Ton)							
MODULO	Total del volumen de producción	Sorgo grano	Maíz grano	Cebada	Trigo grano	Total	%
1 ACÁMBARO	492,203	298,843	110,615	564	19,355	429,377	87%
2 SALVATIERRA	1,173,612	109,719	540,181	38,555	91,918	780,373	66%
3 JARAL	670,275	36,631	387,012	90,442	14,851	528,937	79%
4 VALLE	1,115,130	497,788	158,784	303,698	36,740	997,010	89%
5 CORTAZAR	1,605,197	589,904	289,309	188,493	263,464	1,331,170	83%
6 SALAMANCA	893,446	434,135	57,947	129,495	134,966	756,543	85%
7 IRAPUATO	636,477	271,585	31,640	72,478	75,186	450,890	71%
8 ABASOLO	1,030,204	516,507	103,822	162,871	178,611	961,812	93%
Total	7,616,544	2,755,113	1,679,310	986,596	815,091	6,236,111	82%

En cuanto al costo del metro cúbico de agua empleado para dichos cultivos es alrededor de \$2.22 por fuente superficial y \$3.11 por fuente subterránea, considerando los costos de producción y el volumen de agua utilizado.

Cultivos	Mod. 1		Mod. 2		Mod. 3		Mod. 4		Mod. 5		Mod. 6		Mod. 7		Mod. 8	
	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P	G	P
CEBADA	3.38	3.17	1.21	1.81	0.74	1.56	1.42	2.09	1.99	1.86	1.15	1.21	1.21	1.79	1.88	2.56
MAÍZ DE GRANO	2.75	5.25	3.03	4.60	2.00	1.89	3.16	4.10	2.00	3.06	2.71	4.60	3.39	3.13	4.38	5.09
SORGO DE GRANO	2.79	3.73	3.30	4.06	1.79	1.61	3.21	3.65	2.48	3.22	2.31	3.50	2.72	3.42	3.83	12.90
TRIGO DE GRANO	2.61	3.56		1.95	0.74	1.46	1.48	1.87	0.95	1.31	1.02	1.86	1.40	1.45	1.44	2.31
Promedio	2.88	3.93	2.51	3.10	1.32	1.63	2.32	2.93	1.85	2.36	1.80	2.79	2.18	2.45	2.88	5.71
Nota: G: Gravedad P: Pozos																

Los costos de producción que se obtuvieron de los diferentes cultivos que se cosecharon en los ocho módulos estudiados mostraron que la fresa, espárrago y ajo son los más altos por ello la producción fue de apenas del 2% de la producción total.

En cuanto al promedio del precio rural por tonelada que se obtuvo de los cultivos se tiene que el espárrago, ajo y anís son los más altos pero no redituables ya que presentan un bajo rendimiento por hectárea en

comparación de los cultivos de grano. Por ello se tiene que valorar el rendimiento y el precio rural que se tiene del cultivo por hectárea.

Con referencia a las ganancias también los granos fueron los cultivos que mayores beneficios aportan al DR 011, donde sorgo de grano y maíz de grano son los que más aportan al agricultor; y siendo los módulos cuatro y cinco los que mayor beneficio tienen.



Ganancias en millones de pesos (\$)									
Cultivo	Mod. 1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4	Mod. 5	Mod. 6	Mod. 7	Mod. 8	Total
Sorgo Grano	448.60	133.98	64.36	732.22	858.04	697.74	341.30	585.45	3,861.68
Maíz grano	169.39	811.42	912.56	318.40	621.99	91.84	58.73	165.56	3,149.88
Cebada	0.65	54.21	175.99	524.85	308.25	158.92	91.37	226.70	1,540.94
Trigo Grano	16.53	113.74	28.97	49.33	455.34	149.84	72.93	196.20	1,082.87
Total	635.16	1,113.35	1,181.87	1,624.79	2,243.62	1,098.34	564.33	1,173.91	9,635.37

En cuanto a la pérdida que se tuvo de los cultivos la cebada fue la que presentó el mayor déficit siguiéndole el sorgo de grano; y al realizar la comparativa en los módulos, el módulo de Abasolo es el que obtuvo mayor pérdida en los cuatro cultivos.

Al comparar los beneficios con las pérdidas obtenidas se tiene que estas últimas solo afectan un 1.5% de las ganancias.



Pérdidas en millones de pesos (\$)									
Cultivo	Mod. 1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4	Mod. 5	Mod. 6	Mod. 7	Mod. 8	Total
Cebada			-7.06		-45.18	-4.25	-7.11	-9.09	-72.69
Sorgo Grano	-0.02	-3.06						-27.87	-30.95
Trigo Grano		-8.16		-0.19		-4.46	-3.42	-2.89	-19.12
Maíz grano	-5.40	-0.83						-1.13	-7.36
Total	-5.42	-12.04	-7.06	-0.19	-45.18	-8.72	-10.53	-40.99	-130.12

El modelo hidro económico realizado en WEAP quedó construido de tal manera que se colocaron 177 sitios de demandas (que para nuestro modelo representan los cultivos), 2 presas (Solís y Laguna de Yuriria), 3 derivaciones (canal Antonio Coria, canal Brazo Izquierdo y Canal de extracción) y 177 conectores de transmisión que van de la fuente superficial a las demandas. El modelo presentó en su análisis una satisfacción al 100% en los requerimientos de las demandas.




 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 64 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

38. Bibliografía

1. Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, DOF diciembre 2013.
2. Aparicio Mijares Francisco Javier (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie”. Editorial LIMUSA.
3. Calderón Estrada Dionisio (2012). Modelación conjunta de recursos hídricos superficiales y subterráneos. Caso de estudio en la cuenca media del río Sonora. Tesis Licenciatura, UNAM.
4. Disponibilidad media anual de agua superficial en la cuenca hidrológica, DOF del 19 de abril del 2010.
5. Evaluación y Planificación del Recurso Hídrico a través de WEAP (2008). Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Guatemala.
6. Florencio Cruz, Valentín; Valdivia Alcalá, Ramón; Scott, Christopher A. (2002). “Productividad del Agua en el Distrito de Riego 011, Alto Río Lerma”. Agrociencia, vol. 36, núm. 4, julio-agosto, 2002, pp. 483-493. Colegio de Postgraduados.
7. Guía Metodológica- Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP. (2009). Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute.
8. Loucks, D. (1995). “Developing and Implementing Decision Support Systems: A Critique and a Challenge”. Water Resources Bulletin, Vol. 31, No. 4, pp. 571-582.
9. Navarro Gómez Humberto Iván (2013). “Análisis y Evaluación del Programa de Rehabilitación y Modernización en Distritos de Riego”. Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados.
10. Magaña Zamora José Dolores (1995). “Una aplicación al modelo de Redes Generalizado”. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
11. Martínez Pérez Rogelio (2013). Evaluación del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma a 20 años de su transferencia. Tesis maestría, Colegio de Postgraduados.
12. Programa de rehabilitación de obras hidroagrícolas del agua superficial, Secretaría de desarrollo agropecuario, 2012.
13. Romero, Roberto 2002. “Evaluación social de la transferencia del distrito de riego 011 alto Lerma”. En: Los estudios del agua en la Cuenca Lerma-Chapala-Santiago. El Colegio de Michoacán, A.C., Universidad de Guadalajara.
14. Rubiños-Panta, Juan Enrique; Martínez-Damián, Miguel Ángel; Palacios-Vélez, Enrique; Hernández-Acosta, Elizabeth; Valdivia-Alcalá, Ramón (2007). Valor económico del agua y análisis de las transmisiones de derechos de agua en distritos de riego de México. TERRA Latinoamericana, Vol. 25, Núm. 1. Universidad Autónoma Chapingo México.

 SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES	ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO	 IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA
Página 65 de 66	México, 2015	Clave: F.C0.2.04.01

15. Salcedo Baca Irma (2006). “Burocracia hidráulica y transferencia: El caso del Distrito de Riego 011 Alto Río Lerma, Guanajuato”. Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados.
16. SEI (2009). “WEAP, Water Evaluation and Planning System: Tutorial”, Stockholm Environment Institute.
17. SEI (2009). “Guía Metodológica – Modelación Hidrológica y de Recursos Hídricos con el Modelo WEAP”, Centro de Cambio Global-Universidad Católica de Chile, Stockholm Environment Institute.
18. Sistema de Información de Seguridad de Presas. Subdirección técnica; Atlas Digital del Agua México, Principales presas, 2012. <http://www.conagua.gob.mx/atlas/usosdelagua33.html>
19. Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. and Huber-Lee, A. (2005). “WEAP21 – A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics” Water International, Vol. 30, No.4, December 2005, pp. 487–500.
20. WEAP –Water Evaluation and Planning System (<http://www.weap21.org/>).

  <p>SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES</p>	<p>ANÁLISIS ECONÓMICO INTEGRAL EN UN SISTEMA HÍDRICO</p>	 <p>IMTA INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGÍA DEL AGUA</p>
<p>Página 66 de 66</p>	<p>México, 2015</p>	<p>Clave: F.C0.2.04.01</p>

Anexos

Anexo A. Estadísticas agrícolas en costos de producción, rendimiento y precio medio rural

Anexo B. Clave de los nombre de las demandas en el modelo WEAP

Anexo C. Datos de elevación y capacidad de las presas Solís y Laguna de Yuriria