



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
UNIDAD ZACATENCO**

---

*ANÁLISIS HIDROECONÓMICO DE LA  
ESCASEZ HÍDRICA EN LA CUENCA DEL  
RÍO COLORADO EN MÉXICO.*

**TESIS**

**PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL**

**PRESENTA:**

*ALEJANDRA ALVAREZ RIVERA*

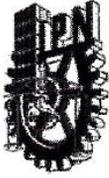
**DIRECTORES:**

*DR. JUAN MANUEL NAVARRO PINEDA*

*DRA. ASTRID HERNÁNDEZ CRUZ*



*Ciudad de México Enero, 2025*



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-13  
REP 2017

**ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS  
Y DESIGNACIÓN DE DIRECTOR DE TESIS**

Ciudad de México, a 07 de octubre del 2024

El Colegio de Profesores de Posgrado de la E.S.I.A.-U. Z. en su Sesión (Unidad Académica)

ordinaria No. 8 celebrada el día 27 del mes septiembre de 2024, conoció la solicitud presentada por el (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	ALVAREZ	Apellido Materno:	RIVERA	Nombre (s):	ALEJANDRA
-------------------	---------	-------------------	--------	-------------	-----------

Número de registro: B 2 2 0 7 4 6

del Programa Académico de Posgrado: MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Referente al registro de su tema de tesis; acordando lo siguiente:

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Análisis hidroeconómico de la escasez hídrica en la cuenca del Río Colorado en México.

Objetivo general del trabajo de tesis:

Evaluar estrategias de manejo en la cuenca del Río Colorado en México, abordando la escasez hídrica desde un enfoque hidroeconómico para fortalecer la gestión integral del agua.

2.- Se designa como Directores de Tesis a los profesores:

Director: Dr. Juan Manuel Navarro Pineda 2° Director: Dra. Astrid Hernández Cruz  
No aplica:

3.- El Trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:

La Sección de Estudios de Posgrado e investigación de la E.S.I.A.-U.Z.

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente, hasta la aprobación de la versión completa de la tesis por parte de la Comisión Revisora correspondiente.

Director(a) de Tesis  
  
Dr. Juan Manuel Navarro Pineda

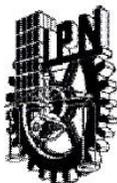
Aspirante  
  
Alejandra Alvarez Rivera

2° Director de Tesis (en su caso)  
  
Dra. Astrid Hernández Cruz

Presidente del Colegio  
  
Dr. Juan José Villalpando Casarín



ESCUELA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ZACATENCO  
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

SIP-14  
REP 2017

**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de  siendo las  horas del día  del mes de  del  se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de:  para examinar la tesis titulada:

del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	ALVAREZ	Apellido Materno:	RIVERA	Nombre (s):	ALEJANDRA
-------------------	---------	-------------------	--------	-------------	-----------

Número de registro:

Aspirante del Programa Académico de Posgrado:

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 2 % de similitud. **Se adjunta reporte de software utilizado.**

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo **SI**  **NO**  **SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.**

**JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN:**

Las similitudes se ubican en términos técnicos cotidianos que no constituyen plagio.

**\*\*Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR**  **SUSPENDER**  **NO APROBAR**  la tesis por **UNANIMIDAD**  o **MAYORÍA**  en virtud de los motivos siguientes:

El trabajo desarrolla un tópico original y dentro de los canones de la Maestría

**COMISIÓN REVISORA DE TESIS**

\_\_\_\_\_  
Dr. Juan Manuel Navarro Pineda  
Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
Dr. Samuel Sandoval Solís

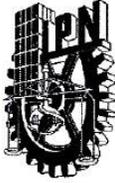
\_\_\_\_\_  
Dr. Oscar Cruz Castro

\_\_\_\_\_  
Dra. Ástrid Hernández Cruz  
2º Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
Dr. Mario Jilfoa Ramírez

\_\_\_\_\_  
Dr. José Villalobos Cazales  
PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES DE EDUCACIÓN PÚBLICA

ESCUELA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ZACATENCO  
DIRECCIÓN



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

*CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE OBRA PARA DIFUSIÓN*

En la Ciudad de México el día **10** del mes de **enero** del año **2025**, el (la) que suscribe **Alejandra Alvarez Rivera** alumno(a) del programa **Maestría en Ingeniería Civil** con número de registro **B220746**, adscrito(a) a la **Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura U.Z.** manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis bajo la dirección del **Dr. Juan Manuel Navarro Pineda** y la **Dra. Astrid Hernández Cruz** y cede los derechos del trabajo intitulado **Análisis hidroeconómico de la escasez hídrica en la cuenca del Río Colorado en México**, al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expresado del autor y/o director(es). Este puede ser obtenido escribiendo a las siguiente(s) dirección(es) de correo. [alealriv@gmail.com](mailto:alealriv@gmail.com). Si el permiso se otorga, al usuario deberá dar agradecimiento correspondiente y citar la fuente de este.

  
Alejandra Alvarez Rivera

---

## DEDICATORIA

A mis padres Oliva Rivera Camacho y José Bernardo Alvarez Merlos quienes me ha guiado a través de la vida, por la paciencia y el apoyo, por sus preocupaciones y amor incondicional.

A mis hermanos Paty, Jorge, Carmen y Juan por el amor que a su manera me brindan, por la paciencia y por los momentos compartidos.

A mis abuelitos mamá Raquel y papá Chelo, hasta el cielo.

Para mi abuelito Bernardino que vela por mi desde el cielo y como él decía:

*“Más vale gota dure, que chorro que se acabe”.*

---

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fortaleza para salir adelante y librar los obstáculos en el camino, por darme la paciencia, salud y sabiduría para concluir este episodio exitosamente.

Al Instituto Politécnico Nacional, mi alma mater, que me ha formado desde hace más de una década y me ha ayudado en mi desarrollo personal y profesional, que me ha dejado grandes amistades y enseñanzas en el camino y por su apoyo económico en mi movilidad académica.

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (Conahcyt) por el apoyo económico recibido y el cual fue pieza clave para llevar a cabo y terminar la investigación.

Al Instituto de Investigaciones Oceanológicas (IIO) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y al Dr. Leopoldo Mendoza Espinosa quien me recibió y apoyó en mi estancia.

A la Dra. Astrid Hernández Cruz por su gran dirección de tesis, paciencia, su apoyo en la estancia en Ensenada permitiéndome vivir una gran experiencia, por la dedicación y compromiso en este proyecto y por su amistad. Al Dr. Samuel Sandoval Solís por siempre darme alientos de salir adelante, por compartir sus conocimientos y confiar en mí. Al Dr. Juan Manuel Navarro Pineda quien me brindó su apoyo y me abrió el camino para lograr este trabajo. Al Dr. Óscar Cruz Castro por su gran apoyo a lo largo de la carrera, y siempre estar pendiente. Al Dr. Mario Ulloa Ramírez por sus recomendaciones y apoyo. A la Dra. Rosanna Bonasia quién es una gran inspiración e incentivo de seguir adelante y por su amistad.

Al coach Felipe Reyes Ortega, quién me ha apoyado a través de los años en mi vida deportiva en el deporte que más disfruto que es la halterofilia y el cual fue un gran incentivo para estudiar la maestría. A Mireya Bustamante (Yeya), por la confianza, los consejos, el cariño y la amistad que me brinda.

A todas mis amistades, familiares y personas que fueron de apoyo en este proceso, por ser un soporte cuando los necesite, en especial a Daniel López por su gran amistad y empatía. A Mar Almaraz y Daniel Martínez, por haber sido un gran soporte.

---

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	11
<b>ANTECEDENTES</b> .....	13
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	17
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	18
<b>HIPÓTESIS</b> .....	20
<b>OBJETIVOS</b> .....	20
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	20
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	20
<b>METODOLOGÍA GENERAL</b> .....	21
<b>1. MARCO TEÓRICO</b> .....	22
<b>1.1 Gestión del agua</b> .....	22
<b>1.2 Modelos hidro-económicos para la gestión del agua</b> .....	22
<b>2. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO COLORADO (CRC)</b> .....	26
<b>2.1 Descripción de la cuenca</b> .....	26
<b>2.1.1 Distribución del agua en el lado mexicano del Río Colorado</b> .....	29
<b>2.2 Región Hidrológica</b> .....	29
<b>2.3 Relación de México-EUA (Tratado de Aguas Internacionales de 1944)</b> <sup>32</sup>	
<b>2.4 Actas</b> .....	34
<b>2.4.1 Acta 306</b> .....	35
<b>2.4.2 Acta 316</b> .....	35
<b>2.4.3 Acta 317</b> .....	35
<b>2.4.4 Acta 318</b> .....	36
<b>2.4.5 Acta 319</b> .....	36
<b>2.4.6 Acta 322</b> .....	36
<b>2.4.7 Acta 323</b> .....	36
<b>2.4.8 Acta 327</b> .....	36
<b>2.4.9 Acta 330</b> .....	36
<b>2.5 Situación actual</b> .....	36

---

2.6	Usuarios del Río Colorado en México .....	40
3.	DATOS Y MÉTODOS .....	42
3.1	Análisis hidrológico .....	43
3.1.1	Escenario Histórico .....	45
3.1.2	Escenario base .....	46
3.1.3	Escenarios individuales .....	47
3.2	Análisis económico (uso agrícola, urbano y otros) .....	49
3.2.1	Uso agrícola .....	49
3.2.2	Uso urbano .....	51
3.2.3	Valor presente .....	52
3.2.4	Beneficios Netos .....	53
4.	RESULTADOS .....	54
4.1	Modelo .....	54
4.2	Análisis de Escenarios .....	54
4.2.1	Escenario Base .....	54
4.2.2	Escenarios Individuales .....	59
4.2.3	Escenarios Combinados .....	68
5.	DISCUSIONES .....	75
5.1	Reducciones en el Río Colorado .....	75
5.2	Limitaciones del modelo .....	76
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	78
	BIBLIOGRAFÍA .....	79
	ANEXOS .....	86
	GLOSARIO .....	107
	ÍNDICE DE TABLAS .....	108
	ÍNDICE DE FIGURAS .....	110

---

## RESUMEN

El estado de Baja California depende de fuentes externas para el suministro de agua, siendo su principal fuente el Río Colorado. Sin embargo, factores como el cambio climático, las reducciones en las asignaciones de agua y una deficiente gestión de los recursos, han generado problemas en el abastecimiento de agua. El sector económico se ha visto afectado de manera directa por esta problemática, es importante conocer los riesgos de los diferentes sectores económicos a los que se tendrían que enfrentar como resultado de la escasez del agua en un futuro. Por eso la necesidad de determinar el impacto hidro-económico de las reducciones y el cambio climático en un sistema que depende del Río Colorado en México mediante un sistema complejo. El objetivo de este trabajo es evaluar estrategias de manejo en la cuenca del Río Colorado en México, abordando la escasez hídrica desde un enfoque hidro-económico para fortalecer la gestión integral del agua. El modelo se compone de dos fases, la primera es el análisis hidrológico y la segunda el análisis económico, para finalmente integrarse en un modelo hidro-económico, que permite evaluar de manera conjunta los aspectos hidrológicos y económicos. Entre los principales resultados se encontraron que las reducciones en las asignaciones de agua a México generan un déficit del 25% en los beneficios netos del DR-014. En el escenario del cambio climático se presenta una pérdida de por lo menos 10% de los beneficios netos. Por otro lado, las estrategias propuestas para los usuarios urbanos, como el incremento en la eficiencia de la red de distribución, rehabilitación de los pozos, asignación total del Río Colorado, generan una inversión del 5% a 30% de los beneficios netos, pero aumentan la sustentabilidad hasta un 90%. El modelo es una herramienta útil que puede auxiliar la toma de decisiones que puede ser aplicada a otras cuencas con problemas similares y adaptarse a las necesidades específicas de cada usuario.

**Palabras clave:** Río Colorado, hidroeconómico, escasez hídrica, costo-beneficio

---

## ABSTRACT

The state of Baja California depends on external sources for its water supply, its main source being the Colorado River. However, factors such as climate change, reductions in water allocations and poor resource management have generated problems in water supply. The economic sector has been directly affected by this problem and it is important to know the risks that the different economic sectors will have to face as a result of water scarcity in the future. Hence the need to determine the hydro-economic impact of reductions and climate change in a system that depends on the Colorado River in Mexico through a complex system. The objective of this work is to evaluate management strategies in the Colorado River basin in Mexico, addressing water scarcity from a hydro-economic approach to strengthen integrated water management. The model is composed of two phases, the first is the hydrological analysis and the second is the economic analysis, to finally be integrated into a hydro-economic model, which allows a joint evaluation of the hydrological and economic aspects. Among the main results, it was found that reductions in water allocations to Mexico generate a 25% deficit in the net benefits of DR-014. In the climate change scenario, there is a loss of at least 10% of the net benefits. On the other hand, the proposed strategies for urban users, such as increasing the efficiency of the distribution network, rehabilitation of wells, full allocation of the Colorado River, generate an investment of 5% to 30% of the net benefits, but increase sustainability up to 90%. The model is a useful tool that can aid decision making and can be applied to other basins with similar problems and adapted to the specific needs of each user.

**Key words:** Colorado River, hydroeconomic, water scarcity, cost-benefit.

---

## INTRODUCCIÓN

El río Colorado es un río transfronterizo que recorre siete estados de los Estados Unidos Americanos (EUA) y dos de la República Mexicana. Proporciona agua potable a alrededor de 40 millones de habitantes en ambos países. En México, abastece a las ciudades de Baja California como: Mexicali, Tecate, Tijuana, Rosarito y parte de Ensenada, y la ciudad San Luis Río Colorado, Sonora. El principal usuario de los recursos hídricos del río Colorado es el Distrito de Riego 014 (DR-014) conformado por los Valles agrícolas de Mexicali y San Luis Río Colorado, que utilizan el 85% del agua, seguido por la industria (10%) y los usuarios urbanos (5%) (CEABC, 2018).

Sin embargo, en las últimas dos décadas, la sequía prolongada en la cuenca del río Colorado ha impactado en los volúmenes de agua que recibe México de acuerdo con el Tratado de 1944 y la Convención de 1906 entre ambos países. A lo largo de los años, esta región se ha visto afectada por diferentes etapas y episodios vinculados de conflicto y cooperación entorno al agua del río Colorado. La actividad antropogénica, y particularmente el desarrollo del riego, ha resultado en una mayor competencia por el recurso hídrico.

Esta competencia ha generado dificultades con incidencias directas en el acceso viable y en la calidad del agua y los suelos, y esto ha llevado a cambios significativos en el Tratado de Aguas.

Además de los cambios inducidos por la intensa actividad humana, la alta variabilidad climática amenaza la relativa estabilidad socioeconómica en el manejo de los recursos hídricos y del medio ambiente en la región. Esta situación requiere esfuerzos adicionales a nivel institucional, tanto a nivel binacional como nacional.

A nivel nacional, tanto los problemas históricos de gestión de aguas transfronterizas como los problemas emergentes relacionados con la alta variabilidad climática tienen repercusiones en el ámbito productivo, específicamente en el área de riego de interés de este trabajo (DR-014). De esta manera, es de interés explorar los impactos en las condiciones de gestión y manejo del agua, así como profundizar en la comprensión de los procesos de adaptación institucional al cambio climático y al consiguiente aumento de la salinidad del agua y los suelos en la cuenca del río Colorado (Cortez Lara & Castro Ruíz, 2020).

---

Los modelos de economía del agua o hidro-económicos (MHE), son instrumentos útiles para evaluar la gestión de los recursos hídricos y fundamentar la política hídrica. En la última década, los HEM han logrado avances significativos en la evaluación de los impactos de los instrumentos de política hídrica a nivel de cuenca hidrográfica o cuenca hidrográfica en el contexto del cambio climático (CC) (Expósito et al., 2020).

La asignación de los recursos hídricos del río Colorado para uso agrícola, municipal y ambiental necesita una evaluación integral que englobe la demanda, el suministro, la economía, calidad del agua y consideraciones ecológicas. Bajo este contexto, en este trabajo de investigación se propone el uso de un modelo hidro-económico (MHE) como un instrumento práctico y robusto para la planeación integrada de los recursos hídricos del río Colorado en México.

---

## ANTECEDENTES

La cuenca del Río Colorado se reconoce como uno de los sistemas hídricos más significativos de Norteamérica.

Se origina en lo alto de las montañas Rocallosas del oeste de Wyoming, el centro de Colorado y el noroeste de Utah, producto de su deshielo, el Río Colorado fluye hacia el suroeste en dirección al golfo de California o también conocido como mar de Cortés, tiene 2,334 km de longitud que atraviesan por siete de estados de Estados Unidos Americanos y finaliza el recorrido con 160 km entre los límites de Sonora y Baja California. La cuenca tiene un área de 637,137.08 km<sup>2</sup>, de los cuales el 97.58 % corresponde a territorio norteamericano y el 2.42 % a territorio mexicano (IMTA, 2020; National Research Council, 2007). El volumen anual de agua que fluye por el Río Colorado está estimado en 19,735 Mm<sup>3</sup> (Kuhn & Fleck, 2019).



**Figura 1.** Cuenca del Río Colorado (IMTA, 2020).

La condición actual que prevalece en la cuenca del Río Colorado se puede sintetizar en los siguientes puntos: la sobreconcesión del agua, la vulnerabilidad ante el cambio climático, la sequía y la alteración antropogénica del ciclo del agua.

Actualmente, la cuenca del Río Colorado es conocida por ser una de las cuencas más sobreconcesionadas del mundo. Eugene Clyde La Rue, quien fue uno de los hidrólogos del cuerpo de geólogos norteamericano, identificó desde 1925, que de llevarse a cabo construcciones de presas en este río promovería el uso a todas las concesiones disponibles de agua, lo que sumaría al régimen deficitario. Aún con la información científica de esa época, se implementaron del lado norteamericano las decisiones que darían como resultado la sobreexplotación que conocemos actualmente en esta cuenca (IMTA, 2020). Castle et al (2014) encontraron que en un periodo del 2005 a 2014, la cuenca perdió un total de 64, 800 Mm<sup>3</sup> de agua dulce, más de tres veces de su escurrimiento anual. El total de las concesiones de derecho de agua en la cuenca es de 21, 586 Mm<sup>3</sup>, en comparativa con 19,735 Mm<sup>3</sup> que es el volumen anual registrado.

**Tabla 1.** Concesión de agua del Río Colorado.

Usuario cuenca baja	Volumen (Mm <sup>3</sup> /año)	Usuario cuenca baja	Volumen (Mm <sup>3</sup> /año)
Arizona	62	Arizona	3,3454
Colorado	4,761	California	5,427
Nuevo México	1,036	Nevada	370
Utah	2,109	Adicionalmente (usada generalmente en California)	1,234
Wyoming	1,283	<b>México</b>	<b>1,850</b>
<b>Total</b>	<b>9,251</b>	<b>Total</b>	<b>12,335</b>

Nota: IMTA (2020).

Los patrones de lluvia, cambios de temperatura han sido alterados por el cambio climático y como resultado se tiene una afectación en la disponibilidad de agua. Estudios recientes han informado que el caudal del Río Colorado ha experimentado una disminución del 9.3 % por cada Celsius de aumento en la temperatura (Milly & Dunne, 2020). Este fenómeno se atribuye con la redacción de niveles de nieve y, como resultado al decremento de la reflexión de la radiación solar. Modelos numéricos, con base en el escenario RCP8.5 (Representative Concentration Pathway, por sus siglas en inglés), sugieren que los niveles del río podrían reducirse en un rango de 19 a 31 % para el año 2065, indicando un futuro con un alto riesgo de escasez de agua.

Las sequías son fenómenos naturales que se caracterizan por una disminución de humedad anormal y prolongada, afectando así de una manera negativa a la vegetación, la fauna y la población. Se pueden clasificar según sus impactos: meteorológicas, hidrológicas, agrícolas o socioeconómicas (IMTA, 2019). El fenómeno de la sequía en México ha sido un problema de gran preocupación para el sector agroalimentario del país, principalmente en los estados del norte. Una mala estimación de la disponibilidad del agua podría comprometer el bienestar económico y social de estas zonas (Mendivil-García et al., 2023).

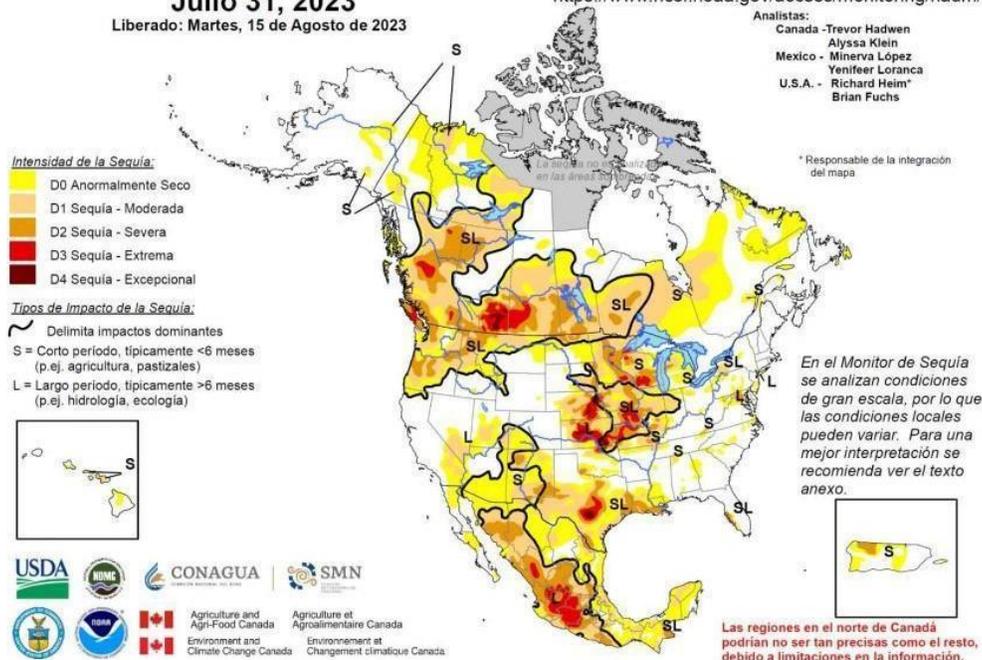
## Monitor de Sequía de América del Norte

Julio 31, 2023  
Liberado: Martes, 15 de Agosto de 2023

<https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/nadm/>

Analistas:  
Canada - Trevor Hadwen  
Alyssa Klein  
Mexico - Minerva López  
Yennifer Loranca  
U.S.A. - Richard Heim\*  
Brian Fuchs

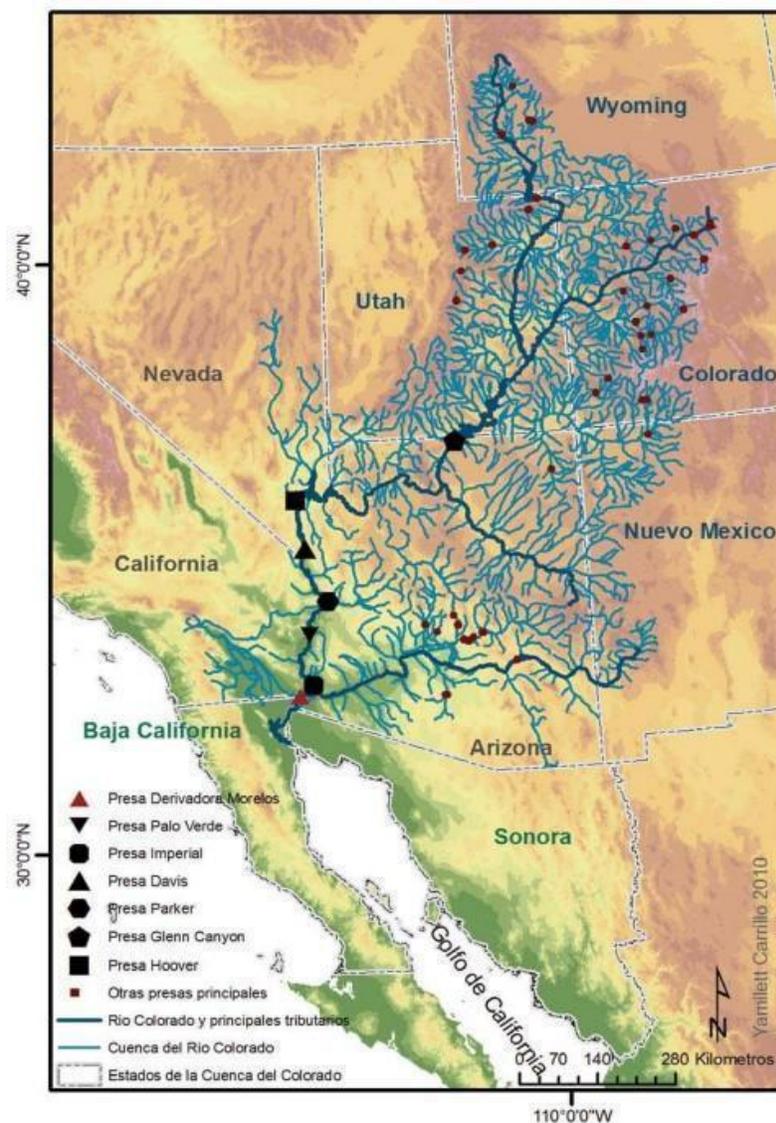
\* Responsable de la integración del mapa



**Figura 2.** Monitor de sequía de América del Norte, (CONAGUA, 2023).

El ciclo del agua del Río Colorado ha sido alterado por la infraestructura hidráulica, existe una serie de presas y embalses que controla la hidrología del río para que el agua sea aprovechada en el desarrollo económico de las ciudades tanto dentro como fuera de la cuenca, incluyendo los distritos de riego. Cuenta con 48 presas, de las cuales 32 se encuentran en la cuenca alta y 16 en la cuenca baja y únicamente 15 del total se encuentran en la corriente principal del río (Hinojosa-Huerta & Carrillo-Guerrero, 2010).

Las principales presas de esta cuenca son Hoover y Glen Canyon, que representan el 95.45 % (68,038.63 Mm<sup>3</sup>) en comparativa con el almacenamiento total de las presas principales. Cuenta con acueductos como: el Colorado-Big Thompson Project, del cual se suministra al estado de Colorado un volumen de agua de 246 Mm<sup>3</sup> al año, el Colorado River Aqueduct, que abastece al sur de California, particularmente a las ciudades de Los Ángeles, San Diego con un volumen de 1,480 Mm<sup>3</sup> y el All American Canal con un volumen de 428 m<sup>3</sup>/s que se distribuye para la agricultura del valle imperial y el valle de Coachella en California (IMTA, 2019).



**Figura 3.** Presas de EUA y México (Hinojosa-Huerta & Carrillo-Guerrero, 2010).

---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La problemática del agua ha sido más evidente a lo largo de los años; las entidades de gobierno, profesionistas, investigadores, entre otros han implementado o buscado diferentes alternativas tratando de mitigar los desafíos relacionados con el agua, estas medidas pueden ser tanto estructurales (referente a la infraestructura), como no estructurales (no requiere cambios físicos, como: mapas, estrategias, modelos, entre otros).

En este contexto, la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) ha anunciado que, por tercera vez desde la firma del Tratado de Aguas de 1994, se implementarán reducciones en las asignaciones de agua del Río Colorado para México y Estados Unidos a partir de 2024 (CILA, 2023). Este ajuste refleja la gravedad de la situación hídrica en el noroeste del país (Baja California y Sonora).

En particular, la cuenca del Río Colorado ha enfrentado desafíos sin precedentes. En 2022, se registró la peor sequía de los 114 años de historia documentados. Actualmente, los estudios indican que esta sequía es la más severa de los últimos 1,200 años. Esta situación subraya la urgencia de adoptar estrategias integrales y efectivas para la gestión del agua en una cuenta que sostiene actividades esenciales como la agricultura en el Distrito de Riego 014, el abastecimiento para cerca del 90% de la población de Baja California y la conservación de ecosistemas críticos como la Reserva de la Biosfera del Alto Golfo de California y Delta del Río Colorado.

---

## JUSTIFICACIÓN

Baja California, es un estado vulnerable debido a que su fuente principal es proveniente de la cuenca del Río Colorado. Actualmente la cuenca presenta una escasez hídrica a consecuencia de la sequía prolongada provocada por el cambio climático y factores antrópicos, la creciente demanda. A raíz de esta escasez hídrica se han aplicado reducciones y ahorros de agua en las asignaciones de agua, desde el 2021 México no ha recibido su asignación completa (1,850 Mm<sup>3</sup>), las autoridades de ambos países reconocen que es necesario tomar medidas adicionales y con mayor premura en respuesta al agravamiento de las condiciones de sequía y bajo escurrimiento. En el 2022, se registraron almacenamientos bajos récord en las principales presas en la cuenca (Hoover y Glen Canyon), los lagos Powell y Mead. La mayor parte del flujo del Río Colorado se origina en la parte alta de la cuenca en las Montañas Rocosas. El sistema del Río Colorado continua en riesgo se cuenta tan solo 36% del almacenamiento combinado de los Lagos Powell y Mead, pese a que ha existido mejoras en la hidrología, las cuales se observaron en este año, que permitieron una recuperación en el almacenamiento de algunas presas (CILA, 2023).

En este sentido, se insiste en la importancia de implementar proyectos de modernización y tecnificación para el uso eficiente del agua, así como la de continuar explorando potenciales proyectos de nuevas fuentes de agua en beneficio de los usuarios en ambos países (CILA, 2023).

Una medida no estructural son los modelos hidro-económicos (MHE), estos surgen de la combinación de la gestión de los recursos hídricos y el análisis económico. El análisis económico puede describir las posibles consecuencias redistributivas de los ingresos de cada alternativa, su tarea es demostrar qué curso de acción es la más eficiente o económica (Krutilla & Eckstein, 1958); estos modelos integran las complejas interrelaciones entre los sistemas hidrológicos y económicos, son herramientas eficaces para analizar estas cuestiones y proporcionar soluciones adecuadas en diversas escalas espaciales y temporales; pueden ser herramientas poderosas para examinar posibles cambios futuros en los recursos hídricos, incluidos los efectos del cambio climático, los cambios socioeconómicos y las respuestas infraestructurales y políticas a los desafíos de la gestión de los recursos hídricos (Bekchanov et al., 2017).

---

Por lo tanto, el agua es un factor limitante para el crecimiento económico y el desarrollo sostenible en muchos países, la asignación de este recurso natural tiene impactos notables en la eficiencia económica general; es también discusión dentro de la política ya que la variabilidad del suministro aumenta la vulnerabilidad en las regiones afectadas. El agua se ha transformado en un recurso estratégico que produce conflictos en aquellos que les genera consecuencias a raíz de diferentes políticas (Dinar, 2012).

Los MHE pueden proporcionar resultados hidrológicos, económicos y conocimientos integrados para la gestión y asignación del agua; la mayoría de estos modelos comparten componentes básicos de los flujos hidrológicos, la infraestructura de gestión del agua, las demandas económicas del agua, los costos operativos y las reglas de funcionamiento (Medellín-Azuara et al., 2009).

---

## **HIPÓTESIS**

- I. La reducción en la disponibilidad de agua en la cuenca del río Colorado, debido a las disminuciones en las asignaciones y al impacto del cambio climático, resultará en una menor productividad económica de los usuarios del agua en río Colorado en México.
- II. Existen estrategias de manejo que reduce de manera eficiente la brecha entre la oferta y la demanda de agua, optimizando la relación costo-beneficio.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar estrategias de manejo en la cuenca del Río Colorado en México, abordando la escasez hídrica desde un enfoque hidro-económico para fortalecer la gestión integral del agua.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- I. Caracterizar las variables económicas para los usos agrícolas, urbano e infraestructura de la cuenca del río Colorado en México
- II. Construir y calibrar un modelo hidro-económico para la gestión de los recursos hídricos del río Colorado.
- III. Simular escenarios de disponibilidad y estrategias de manejo utilizando un modelo hidro-económico.
- IV. Analizar los costos y beneficios económicos de cada estrategia, considerando la sustentabilidad y eficiencia en el uso del agua.

---

## METODOLOGÍA GENERAL

### **1. Investigación documental.**

Recopilar información del marco teórico, marco contextual y el estado del arte sobre modelos hidro-económicos y manejo de recursos hídricos.

### **2. Datos de oferta y demanda de agua.**

Recopilación de información sobre la oferta y demanda del agua para diversos usos, incluyendo agrícola, urbano, ambiental, hidrológico y otros posibles escenarios.

### **3. Definición de las variables.**

Identificar y definir las variables hidrológicas, de demanda/oferta y económicas que caracteriza a los escenarios.

### **4. Obtención de los beneficios netos.**

Procesar la información para el cálculo de la productividad económica y costos asociados a cada escenario.

### **5. Desarrollo de un modelo hidro-económico (MHE)**

Construir y calibrar un el modelo que integre las asignaciones de agua y datos económicos, generando distintos escenarios de manejo y reducción de oferta.

### **6. Análisis y discusión de escenarios.**

Analizar el desempeño de cada escenario, con énfasis en la evaluación costo-beneficio y el impacto de las variables críticas en la gestión de los recursos hídricos.

---

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Gestión del agua

El agua no es solo el principio de todas las cosas, sino que, sin agua, no es posible la vida en la tierra, además que el agua limpia es una condición previa para el desarrollo sustentable. El agua debe ser gestionada eficientemente respecto a la creciente escasez de recursos. Los problemas de oferta y demanda no son nuevos, por lo contrario, existen y existirán mientras exista vida en la tierra, sin embargo, con el aumento de la población, el cambio climático, alteración antrópica, estrategias de manejo y falta de condiciones regulatorias, los problemas de la gestión de agua se han convertido en globales en el último siglo. En la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (2015), se hace la petición de “garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos” (Meran et al., 2021).

Si el agua es escasa, la importancia de una perspectiva económica hacia el agua es inevitable. La declaración de Dublín en el principio 4, establece que el agua tiene un valor económico en todos sus usos competitivos y debe ser reconocida como un bien económico [...] La gestión del agua como bien económico es una forma importante de lograr un uso eficiente y equitativo y de fomentar la conservación y protección de los recursos hídricos (Xie, 2006).

## 1.2 Modelos hidro-económicos para la gestión del agua

Los modelos hidro-económicos (MHE) constituyen instrumentos útiles para evaluar la gestión de los recursos hídricos e informar las políticas hídricas. En la última década, los MHE han logrado avances significativos con respecto a la evaluación de los impactos de los instrumentos de política hídrica (Expósito et al., 2020). Los MHE se distinguen de otras herramientas, como los modelos de ingeniería que buscan minimizar costos financieros o los modelos económicos que abordan aspectos específicos, como la optimización dinámica de reservas de agua subterránea, modelos de equilibrio general económico, análisis de insumo-producto, análisis de costo-beneficio y modelos basados en agentes, entre otros. En los MHE, las asignaciones del agua se determinan o evalúa mediante los valores económicos que genera. Estos modelos representan todos los componentes esenciales hidrológicos e ingenieriles

---

del sistema, distribuidos espacialmente. Las representaciones abarcan elementos del balance hídrico, como caudales de ríos, evaporación de cuerpos de agua superficial, recarga y descarga natural de aguas subterráneas y flujos de retorno. La infraestructura y las operaciones relacionadas con el suministro de agua pueden incluir canales, embalses, plantas desalinizadoras, instalaciones de tratamiento de agua y aguas subterráneas, cuencas de recarga artificial y otras infraestructuras asociadas con la gestión de acuíferos. Estas características hidrológicas e ingenieriles se incorporan en una red de nodos y enlaces, donde las demandas económicas están ubicadas en nodos específicos y se incurre en costos (o beneficios) a lo largo de los enlaces. La red se adapta a sistemas distribuidos espacialmente tanto en términos físicos como económicos, integrando todos los elementos del modelo hidro-económico (Harou et al., 2009).

En su momento, el aumento del suministro de agua se cumplió mediante la construcción de infraestructura que captaría más de los flujos de agua superficial existentes. Para tales efectos proyectos, el papel de la economía en el sector del agua era esencialmente el de una justificación *ex post* (después del hecho), de la especificación de ingeniería óptima de la infraestructura.

En la actualidad el papel de la economía en el sector agua se ha transformado de esta evaluación posterior, generalmente mediante medidas de costo-beneficio, a una medida inicial de asignación óptima del agua, incluida la modificación de la demanda y la reasignación y el desarrollo de la oferta. Lo cual es más importante, se ha reconocido que los mecanismos económicos impulsan gran parte de la reasignación de los suministros existentes por parte de los mercados de agua y otros mecanismos potenciales basados en incentivos.

En este trabajo de investigación se utilizará la herramienta computacional WEAP, un software diseñado para la gestión integrada de recursos hídricos. Cuenta con un marco extenso, adaptable e intuitivo de usar para la planificación y análisis de políticas. Un número creciente de profesionales del agua está considerando WEAP como una adición útil a su caja de herramientas de modelos, bases de datos, hojas de cálculo y otros programas (Stockholm Environment Institute [SEI], 2023).

---

Expósito et al (2020) resume estudios que han aplicado MHE a la gestión de recursos hídricos, donde se consideran las vulnerabilidades que se asocian al cambio climático (CC) como: sequías, inundaciones y eventos extremos (Tabla 2). Este resumen tiene información general sobre el tipo de modelo, los métodos, el estudio de caso y los sectores que implica.

Algunos de las principales herramientas para la modelación hidro-económica incluyen:

- WEAP: Water Evaluation And Planning
- SWIM: Soil and integrated model
- MAgPIE: Model of agricultural production and its impact on the environment
- GAMS: General algebraic modeling system
- PMP: Positive mathematical programming
- PMAUP: Positive multi-attribute programming
- SWAT: Soil and water assessment tool
- SIMGES: Simulation model for watershed management
- MODFLOW: Modular finite-difference flow model
- SDDP: Stochastic Dual Dynamic Programming
- IBMR-MY: Indus Basin Model Revised-Multiyear
- WATBAL: Water balance
- MoGIRE: Model for water resources management.

**Tabla 2.** Uso de modelos hidro-económicos en la gestión del agua con enfoque en cambio climático.

Autor	Modelos y Métodos	Tipo de modelo	Enfoque principal	Estudio de caso (país)	Sectores
(Amin et al., 2018)	WEAP	Simulación	Abastecimiento de agua	Cuenca del Río Indo Superior (RB)(Pakistán)	Todos los sectores
(Souza da Silva & de Moraes, 2018)	SWIM + MAgPIE+ GAMS + PMP	Optimización holística	Compensaciones entre usos	Sao Francisco RB(Brasil)	Energía hidroeléctrica, urbanismo, riego y medio ambiente
(Essenfelder et al., 2018)	PMAUP + SWAT	Híbrido, holístico	Estrategias de adaptación	Mundo RB (España)	Irrigación
(Herman et al., 2018)	CALVIN	Optimización, holística	Abastecimiento de agua	California (USA)	Todos los sectores
(Escriva-Bou et al., 2017)	AQUATOOL + SIMGES	Híbrido, holístico	Estrategias de adaptación	Júcar RB (España)	Todos los sectores
(Rupérez-Moreno et al., 2017)	HEM para segura RB	Optimización	Gestión de agua subterránea	Segura RB (España)	Riego y medio ambiente
(Esteve et al., 2015)	WEAP + MABIA modelling framework+ PMP	Mejoramiento	Estrategias de adaptación	Cuenca media del Guardian (España)	Irrigación
(Kahil et al., 2015)	AQUATOOL + Jucar RB optimization model	Híbrido	Escasez de agua	Júcar RB (España)	Riego, urbanismo y medio ambiente
(D'Agostino et al., 2014)	Modelo de optimización no lineal + modelo hidrológico basado en SIG + CLIMAWARE	Mejoramiento	Equilibrio hídrico	Apulia (Italia)	Irrigación
(Tilmant et al., 2014)	SDDP	Optimización	Abastecimiento de agua	Éufrates RB (Turquía, Siria)	Energía hidroeléctrica y riego
(Yang et al., 2013, 2014)	IBMR-MY	Optimización	Estrategias de asignación y adaptación	Indo RB (Pakistán)	Irrigación

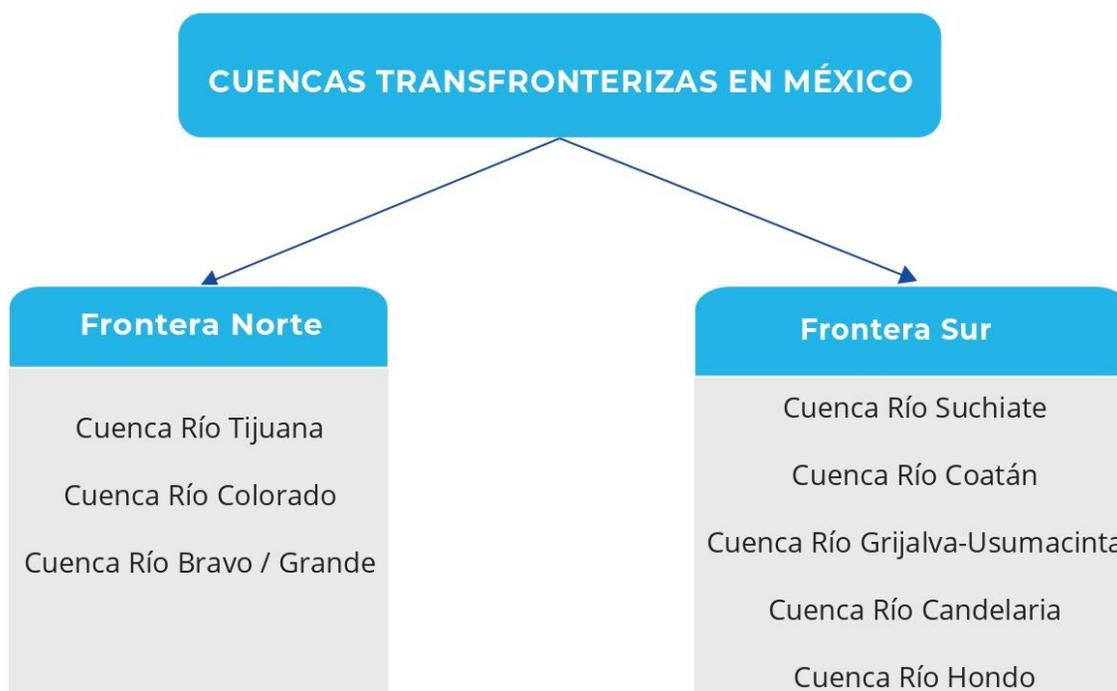
Nota: Elaboración propia basado en Expósito et al (2020).

---

## 2. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO COLORADO (CRC)

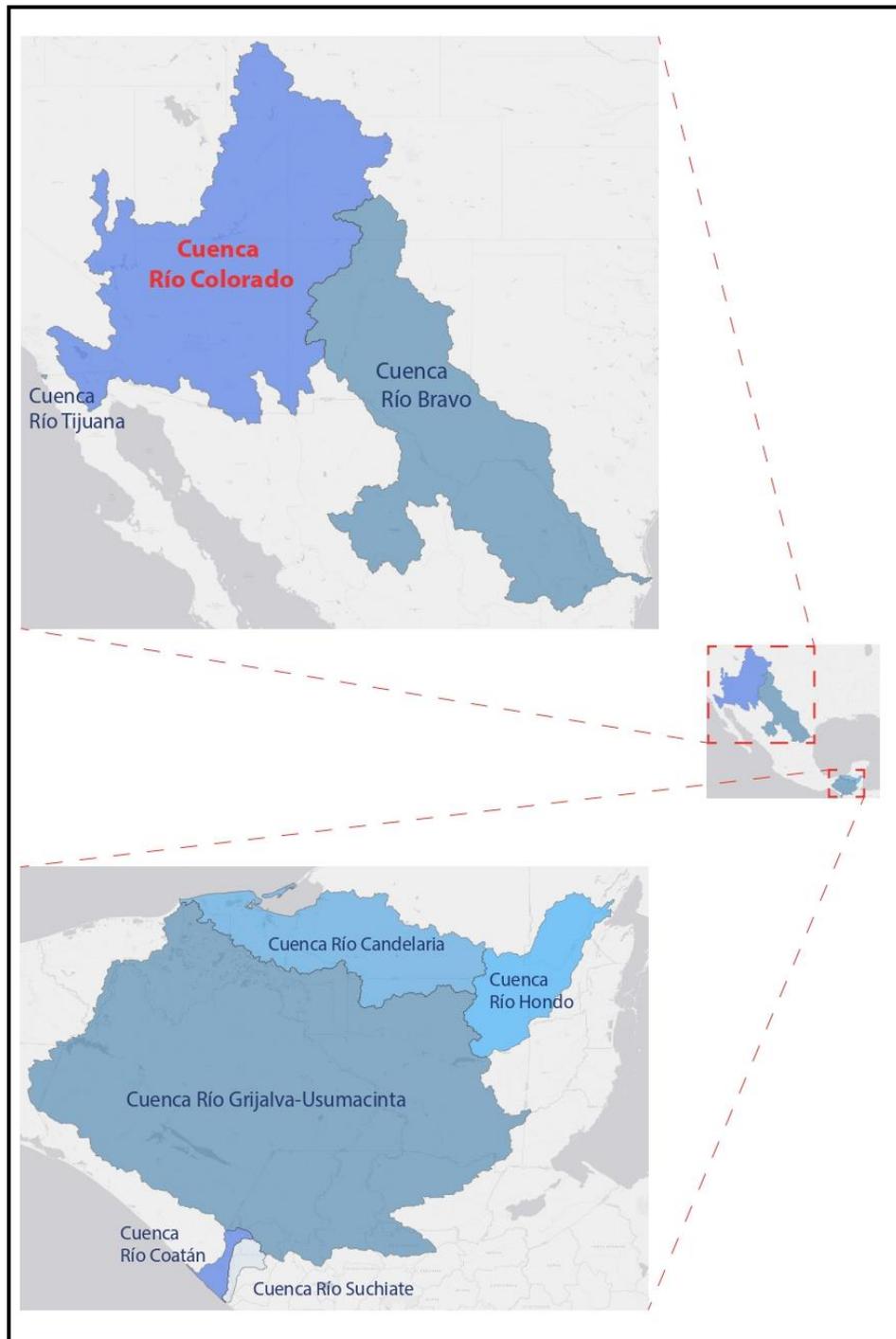
### 2.1 Descripción de la cuenca

Existen ocho cuencas transfronterizas en México, tres cuencas en la frontera norte y cinco en la sur. En la frontera norte, México colinda con Estados Unidos Americanos (EUA), en la que comparten las cuencas de Río Tijuana, Río Colorado y Río Bravo/Grande. En el caso de la frontera sur cuenta con las cuencas; del río Suchiate, del río Coatán en el estado de Chiapas y Guatemala, la del río Grijalva-Usumacinta que nace en Guatemala y cruza los estados de Chiapas y Tabasco, la del río Candelaria en Campeche, y la cuenca trinacional río Hondo que se comparte con Belice, Guatemala y los estados México (Campeche, Quintana Roo y Yucatán) (Gómora Alarcón, 2014).



**Figura 4.** Aguas transfronterizas de México, adaptado de (Gómora Alarcón, 2014).

En la Figura 5 se muestran las cuencas transfronterizas del norte y del sur de México.



**Figura 5.** Cuencas transfronterizas en México

Como se observa en la Figura 5, la cuenca del Río Colorado corresponde a la frontera norte, de acuerdo con Morrison et al. (1996) la primera asignación de volumen se divide por cuenca, la cuenca alta cuenta con 9,251 Mm<sup>3</sup> y la cuenca baja con 10, 484 Mm<sup>3</sup>. Asimismo, cada estado tiene su propia asignación; en la cuenca alta, los estados que cuentan con derecho a parte de la asignación son: Arizona con 62 Mm<sup>3</sup>, Colorado con 4,761 Mm<sup>3</sup>, Nuevo México con 1, 036Mm<sup>3</sup>, Utah con 2,109 Mm<sup>3</sup> y finalmente Wyoming con una asignación de 1,283 Mm<sup>3</sup>. Por otro lado, en la cuenca baja, los estados son: Arizona con 3,454 Mm<sup>3</sup>, California con 5, 424 Mm<sup>3</sup>, Nevada con 370 Mm<sup>3</sup> y una aportación adicional a la cuenca baja de 1,233 Mm<sup>3</sup> que generalmente son usados en California. Por otro lado, la asignación entre los siete estados de Estados Unidos, se determinó una asignación anual a México por 1,850 Mm<sup>3</sup>, de los cuales el 90% se reciben en Presa Morelos, en el Lindero Internacional Norte, cerca de San Luis Río Colorado, Sonora (Hinojosa-Huerta & Carrillo-Guerrero, 2010).



**Figura 6.** Distribución de las aguas del Río Colorado (CILA, 2023).

Gracias al acuerdo “Upper Colorado River Basin Compact” se llevó a cabo la distribución de las asignaciones de volúmenes por estado en la cuenca alta en 1948. En cuanto a la cuenca baja, el proceso de asignación de volúmenes por estado se concluyó en 1963, tras una decisión de la Suprema Corte de Justicia de los Estados Unidos. El Buró de Reclamaciones del Departamento Interior está a cargo del manejo del Río Colorado en EUA; sin embargo, cuando los volúmenes se entregan a cada estado, la jurisdicción sobre su manejo y control recae en las agencias estatales correspondientes (Hinojosa-Huerta & Carrillo-Guerrero, 2010).

### 2.1.1 Distribución del agua en el lado mexicano del Río Colorado

Como se mencionó anteriormente, el volumen anual de asignación de agua superficial proveniente del Río Colorado es de 1,850.23 Mm<sup>3</sup>. A esto se suma el escurrimiento natural promedio anual de la porción mexicana del río, que asciende a 12.52 Mm<sup>3</sup>, En conjunto con lo estipulado por el tratado binacional, el volumen total anual disponible es de 1,862.75 Mm<sup>3</sup>, distribuido de la siguiente manera:

**Tabla 3.** Distribución del agua en el lado mexicano del Río Colorado.

Uso	Volumen (Mm <sup>3</sup> )	Total superficial (%)
Uso agrícola, para el riego de cultivos en el DR 014	1,645.02	88.31
Uso Industrial	65.77	3.53
Uso público urbano, para el abastecimiento de centros de población	16.20	0.87
Volumen comprometido hacia aguas abajo, caudal ecológico	1.25	0.07
Otros usos, incluye los usos de acuacultura, doméstico, pecuario, múltiples y servicios	2.08	0.11

Nota: IMTA (2019).

## 2.2 Región Hidrológica

La cuenca del Río Colorado se divide en dos subcuencas de acuerdo con la clasificación de la oficina de Recuperación de los Estados Unidos Americanos, la cuenca alta (Upper Colorado Basin) y cuenca baja (Lower

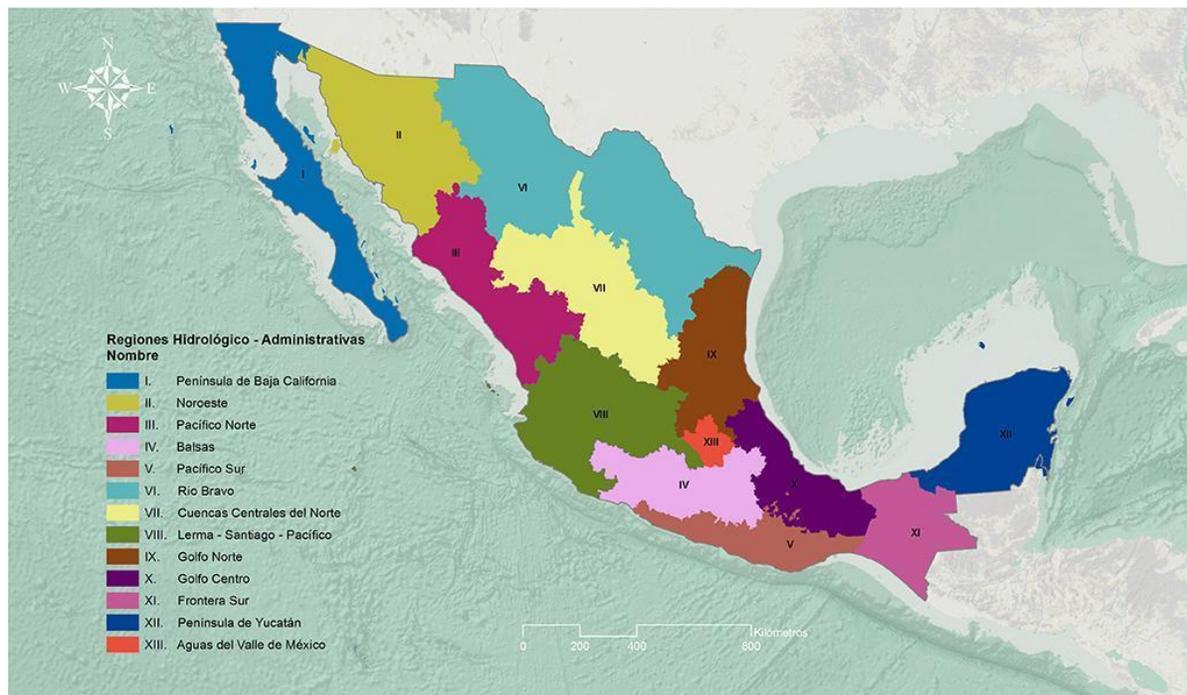
Colorado Basin). La cuenca alta corresponde a la región 6, que abarca Utah, el suroeste de Wyoming, el oeste de Colorado, pequeñas porciones de Arizona y Nuevo México, con cierre en la oficina regional en Texas. Por otro lado, la cuenca baja corresponde a la región 5, que incluye el sur de Nevada, el sur de California, la mayor parte de Arizona, una pequeña parte del suroeste de Utah y del centro de Nuevo México (USBR, 2023).



**Figura 7.** Cuenca y subcuencas del Río Colorado en EUA y México (Hinojosa-Huerta & Carrillo-Guerrero, 2010)

Por otra parte, México está dividido por Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA). Las RHA están formadas por un compuesto de cuencas, que se consideran unidades fundamentales para la dirección de los recursos hídricos. La RHA con mayor extensión en el país es la del Río Bravo que cuenta con una superficie de 390, 440 km<sup>2</sup>, en comparación con la cuenca del Valle de México que tiene superficie de solo 18, 229 km<sup>2</sup>. Las RHA que abarcan un mayor número de municipios son Golfo Centro con 432 y Balsas con 420 (SEMARNAT, 2015).

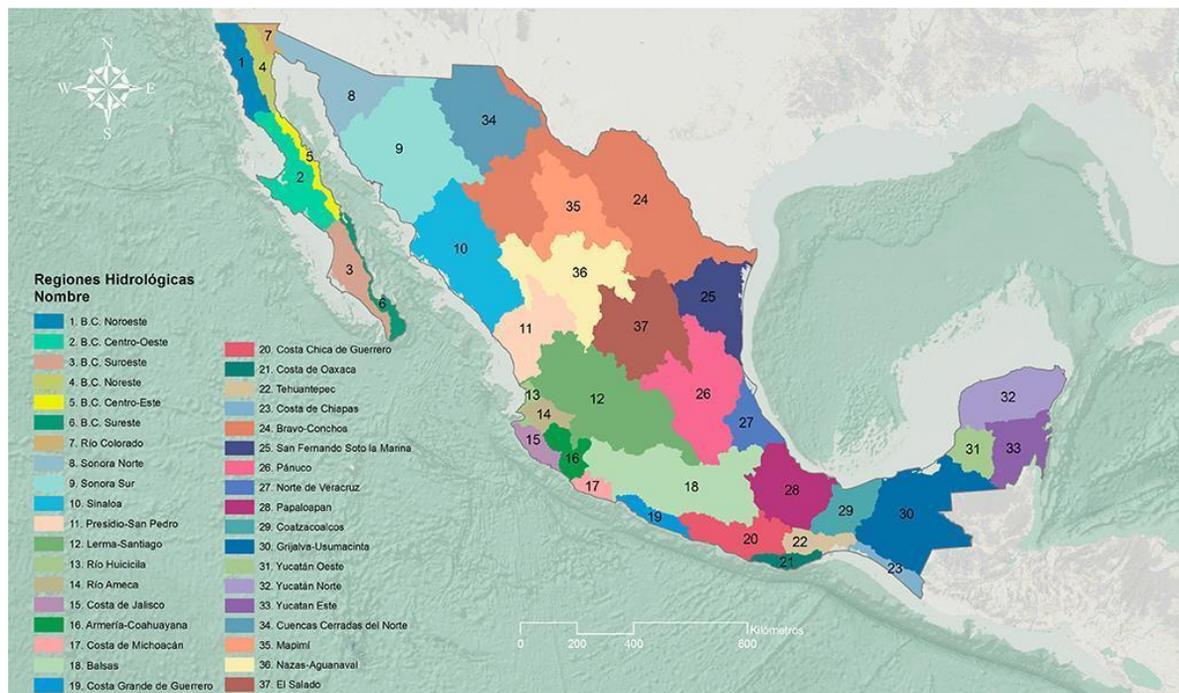
La región correspondiente a la zona de estudio es la región 1, Península de Baja California (ver figura 9), a su vez cada municipio representa una Unidad de Planeación y forma parte del Consejo de Cuenca Península de Baja California y Municipio de San Luis Río Colorado y en este participa con los órganos auxiliares que son: Comisión de Cuenca Río Colorado, tres Comités de Playas Limpias (Tijuana, Playas de Rosarito y Ensenada), 12 Comités Técnicos de Aguas Subterráneas COTAS y un Grupo Especializado (Humedal del Río Colorado) (CEABC, 2018).



**Figura 8.** Figura 9 Regiones Hidrológico-Administrativas de México (SEMARNAT, 2015).

A su vez, México también se divide en 37 regiones hidrológicas que se definen de acuerdo con los parteaguas del país. Cada una de estas regiones incluye al menos una cuenca, y no existe ninguna cuenca que pertenezca a más de una región hidrológica. La Región hidrológica de mayor extensión es la Bravo-Conchos (229 740 km<sup>2</sup>) y la de menor extensión es la Región del Río Huicicila, con tan solo 5 225 km<sup>2</sup>. La Región Costa es la región más lluviosa de Chiapas con 2 347 mm de precipitación normal anual, en contraste con la Región de B.C. Centro este que apenas registra 101 mm (SEMARNAT, 2015).

La Región Hidrológica (RH) que corresponde a la desembocadura del Río Colorado es la región 7 (Río Colorado), sin embargo, para nuestra zona de estudio también se consideró la región 1 (B.C. Noroeste) y 4 (B.C. Noreste).

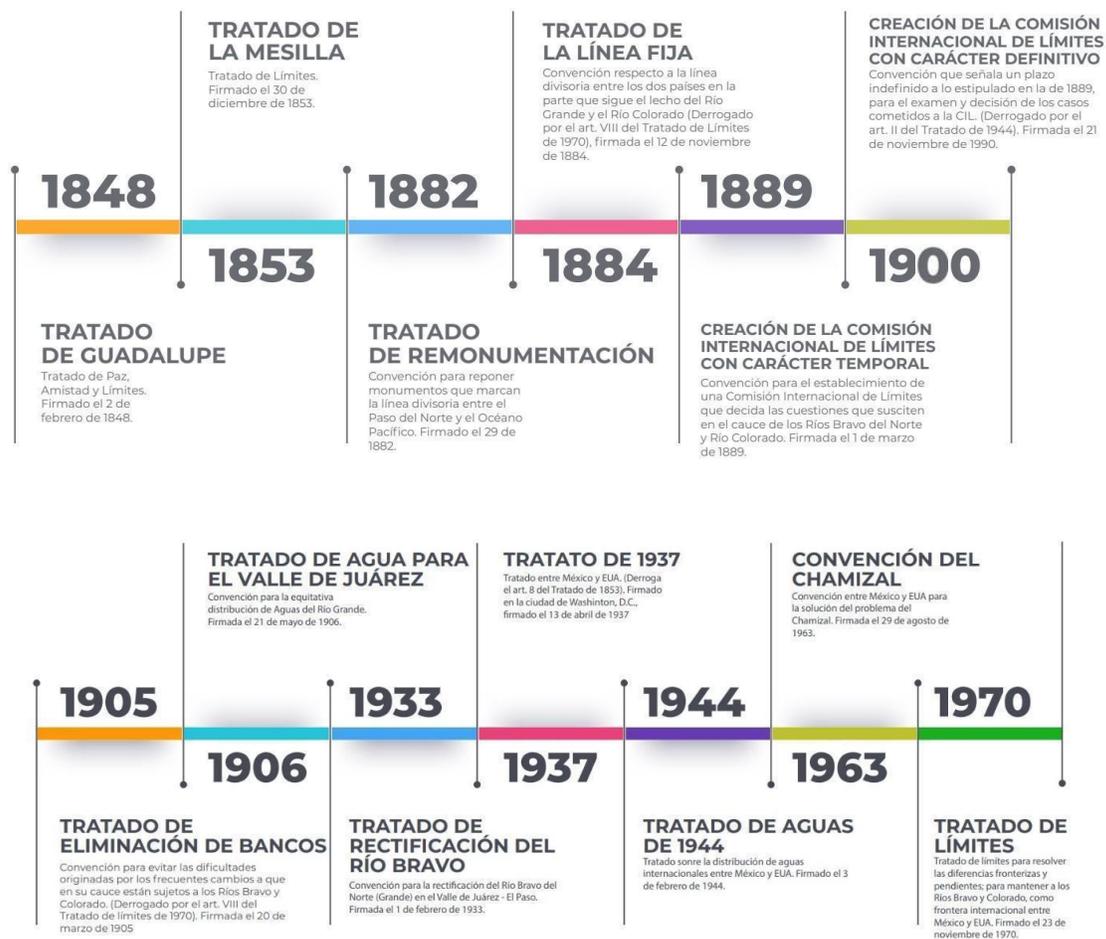


**Figura 9.** Figura 10 Regiones Hidrológicas de México (SEMARNAT, 2015).

### 2.3 Relación de México-EUA (Tratado de Aguas Internacionales de 1944)

*“Los tratados son por excelencia la manifestación más objetiva de la vida de relación de los miembros de la comunidad internacional.”*, como afirma el profesor César Sepúlveda (Ostria Trigo, 2008).

México y Estados Unidos han delegado a la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), durante más de 120 años la responsabilidad de supervisar y aplicar los tratados internacionales sobre límites y aguas, asimismo de gestionar y hacer cumplir los derechos y obligaciones establecidos en dichos tratados, solucionando así los conflictos que se puedan generar a raíz de su aplicación. La CILA ejerce esta responsabilidad a lo largo de su zona jurisdiccional fronteriza, manteniendo una relación de respeto mutuo y entendimiento, cultivando una mejor convivencia internacional, para de esta manera mejorar el bienestar de más de 12 millones de habitantes dentro de la zona fronteriza (SRE a, 2014).



**Figura 10.** Tratados y convenciones entre México y EUA, adaptado de (SRE a, 2014).

---

El 3 de febrero de 1944, se firmó el “Tratado relativo al aprovechamiento de las aguas de los ríos Colorado y Tijuana y del río Bravo (Grande) desde Fort Quitman, Texas, hasta el Golfo de México entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América”, el cual fue aprobado por México el 29 de septiembre de 1945 y por Estados Unidos el 18 de abril de ese mismo año.

El Tratado decreta la asignación de aguas del Río Colorado, la cual corresponde a una cantidad anual a México por 1,850 Mm<sup>3</sup>.

Además, establece las atribuciones de la Comisión Internacional de Límites creada en 1889, cambiando su nombre por el de Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA) México-Estados Unidos, organismo binacional encargado de la solución de cualquier conflicto que surja entre ambos países, respecto al uso y aprovechamiento de las aguas internacionales en la frontera México-Estados Unidos (SRE b, 2015).

## **2.4 Actas**

El Tratado de 1944 habilita a la CILA para aprobar Actas, a través de las cuales se disponen soluciones a problemáticas específicas que puedan presentar y sean parte la jurisdicción de esta Comisión. En este contexto, el Tratado asentó en su Artículo 25 la facultad de la CILA para suscribir Actas Internacionales que den solución a las problemáticas mencionadas. Dicho Artículo señala que (SRE c, 2023):

*“Los acuerdos de la Comisión se harán constar en forma de actas, levantadas por duplicado, en español y en inglés, firmadas por ambos comisionados y bajo la fe de ambos secretarios, una copia de las cuales será enviada a cada Gobierno dentro de los tres días siguientes a su firma.”*

En la actualidad se han suscrito 329 Actas, relativas a límites fluviales y terrestres, línea divisoria, frontera marítima, saneamiento de la región fronteriza, obras de protección y conservación de los cauces, calidad de las aguas, aguas subterráneas inversión conjunta en proyectos de generación y conservación de agua, así como preservación del medio ambiente (SRE c, 2023).

La tabla 4 muestra un resumen de las actas relacionadas con el Río Colorado desde la creación del tratado hasta la actualidad.

**Tabla 4.** Relación de proyectos con actas de la CILA, adaptado de (CILA, 2023)

Proyecto	Número de Acta
Conservación ambiental del Río Colorado	306, 316,323
Desmonte del Cauce del Río Colorado	217
Entregas del agua del Río Colorado	185, 188, 189, 191, 194, 195, 197, 208, 209, 211, 221, 246, 252, 256, 260, 263, 266, 267, 280, 287, 316, 317, 318, 319, 323, 327, 330
Obras del Tratado de Aguas de 1944	182
Planos del Límite Internacional del Río Colorado	253
Presa Morelos y Bordos	189, 195, 197, 208, 209, 211, 221
Salinidad de Río Colorado	218, 241, 242, 248, 284, 316,323,330

Nota: Elaboración propia adaptado de CILA (2023).

Las actas más relevantes firmadas en los últimos años, relacionadas con el Río Colorado son:

#### 2.4.1 Acta 306

Marco conceptual entre México y Estados Unidos para el desarrollo de estudios que permitan emitir recomendaciones respecto a la ecología ribereña y del estuario del tramo limítrofe del Río Colorado y su delta, diciembre de 2000 (CILA, 2023; SRE c, 2023).

#### 2.4.2 Acta 316

Uso del dren de desvío Wellton Mohawk y de la infraestructura necesaria en Estados Unidos, para la conducción de agua de México y las organizaciones no gubernamentales de ambos países, hacia el estero de Santa Clara, durante la prueba piloto de la planta desaladora de Yuma, abril de 2010 (CILA, 2023; SRE c, 2023):

- Constituye un ejemplo de disposición tanto de EU, como de México y las ONG's para destinar recursos y agua para fines ambientales.

#### 2.4.3 Acta 317

Marco conceptual para las conversaciones México - Estados Unidos, relativas a las acciones de cooperación sobre el Río Colorado (CILA, 2023; SRE c, 2023):

- 
- Crea un precedente importante para los proyectos que se buscan desarrollar en el marco del Grupo Base de Acciones de Cooperación para la Cuenca del Río Colorado, junio de 2010.

#### **2.4.4 Acta 318**

Ajuste del calendario de entregas de agua asignada a México para los años 2010 hasta 2013, con motivo de los daños en la infraestructura del distrito de riego 014, Río Colorado, ocasionados por los sismos ocurridos en abril de 2010 en el Valle de Mexicali, Baja California, noviembre de 2010 (CILA, 2023; SRE c, 2023).

#### **2.4.5 Acta 319**

Medidas interinas de cooperación internacional en la Cuenca del Río Colorado hasta el 2017 y ampliación de las medidas de cooperación del Acta 318, para atender los prolongados efectos de los sismos de abril de 2010 en el Valle de Mexicali, Baja California, noviembre de 2012 (CILA, 2023; SRE c, 2023).

#### **2.4.6 Acta 322**

Ampliación de las entregas temporales de emergencia de aguas del Río Colorado para su uso en Tijuana, Baja California, enero de 2017 (CILA, 2023; SRE c, 2023).

#### **2.4.7 Acta 323**

Ampliación de las medidas de cooperación y adopción de un plan binacional de contingencia ante la escasez de agua en la Cuenca del Río Colorado, septiembre de 2017 (CILA, 2023; SRE c, 2023).

#### **2.4.8 Acta 327**

Entregas de emergencia de aguas del Río Colorado para uso en la ciudad de Tijuana, Baja California, enero de 2022 (CILA, 2023; SRE c, 2023).

#### **2.4.9 Acta 330**

Ampliación de las medidas temporales en el Río Colorado, marzo 2024 (CILA, 2023; SRE c, 2023).

### **2.5 Situación actual**

En 2017, la CILA firmó el Acta 323, en la que se especificaron reducciones en las asignaciones del agua a México, conforme con las elevaciones de la presa Hoover ubicada en Estados Unidos (ver Tabla 5). Estas reducciones pueden clasificarse en dos tipos: volúmenes ahorrados y recortes de agua. En el Foro Permanente de Aguas Binacionales, Sandoval-Solís et al (2024),

denominaron a estos recortes como “Agua Recuperable” y “Agua No-Recuperable”, respectivamente.

**Tabla 5.** Ahorros y reducciones de las asignaciones de agua en México, Acta 323.

Elevación Presa Hoover	Ahorros (Agua Recuperable)	Recortes (Agua No-Recuperable)	Reducción de la asignación
psnm*	Mm <sup>3</sup>	Mm <sup>3</sup>	Mm <sup>3</sup>
1090-1075	51	0	51
1075-1050	37	62	99
1050-1045	42	86	128
1045-1040	94	86	180
1040-1035	104	86	190
1035-1030	113	86	199
1030-1025	125	86	211
<1025	185	154	339

Nota: \*psmn. - pies sobre el nivel del mar. CILA (2023).

El Buró de Reclamación en Estados Unidos hace una predicción de los niveles de agua en la presa Hoover cada mes, y en agosto se determinan los volúmenes de ahorro y recorte para México y Estados Unidos.

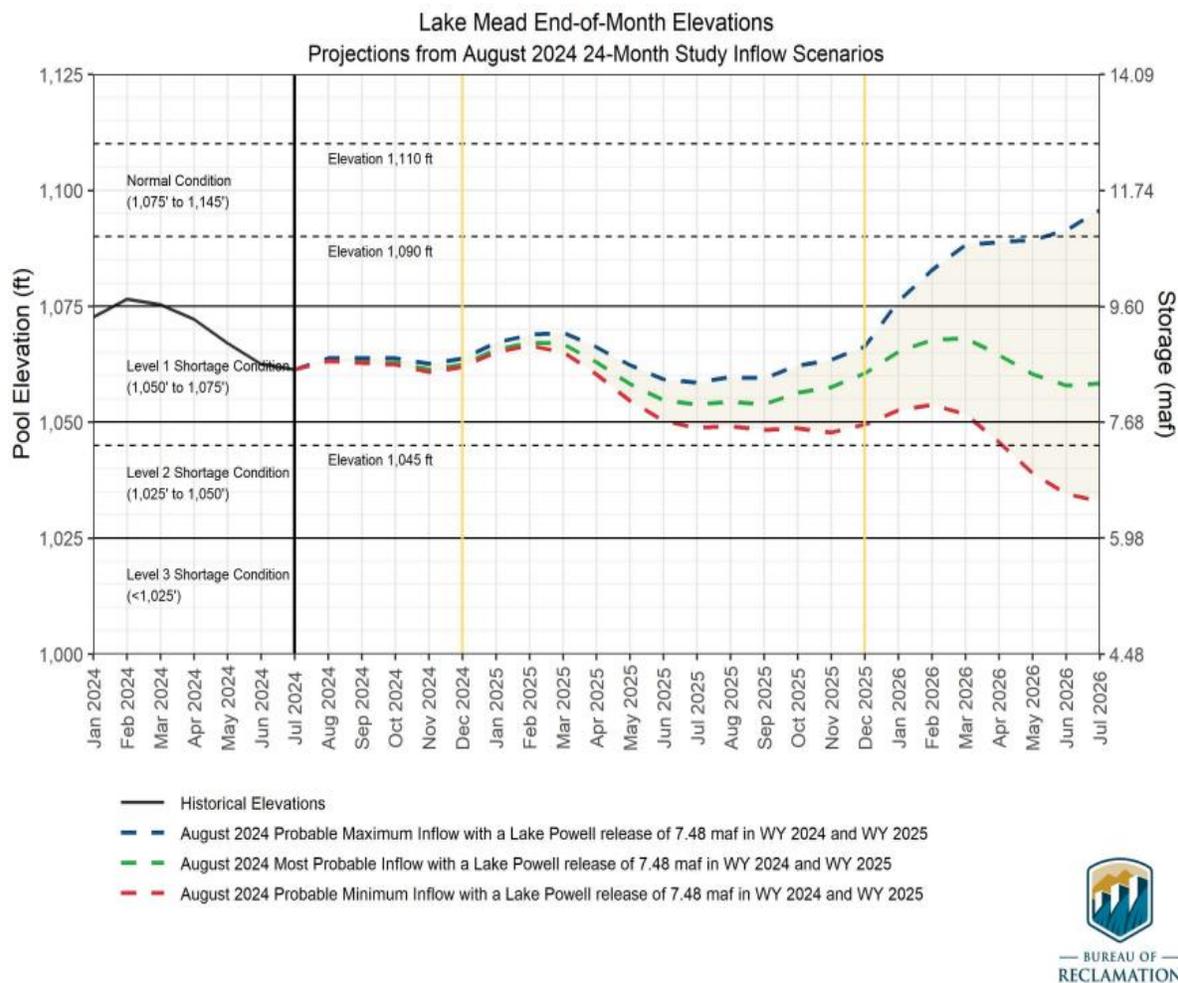
Los recortes iniciaron en el 2021, cuando el nivel estuvo por debajo de los 1075 psm, desde entonces, México no ha recibido su asignación completa (ver Tabla 6).

**Tabla 6.** Ahorros y recortes y reducciones históricas y probables de las asignaciones de agua en México, Acta 323.

Año	Ahorros (Agua Recuperable)	Recortes (Agua No-Recuperable)	Reducción de la asignación
	Mm <sup>3</sup>	Mm <sup>3</sup>	Mm <sup>3</sup>
2021	51	0	51
2022	37	62	99
2023	42	86	128
2024	37	62	99
2025	37	62	99
2026	42	86	128

Notas. CILA (2023).

De acuerdo con la predicción del nivel de agua en la presa Hoover (Figura 11), se anticipan reducciones para 2024, así como posibles cambios en las reducciones esperadas para 2025 y 2026.



**Figura 11.** Predicción del nivel de agua en la presa Hoover hasta el 2026 (USBR, 2024).

El 21 de marzo de 2024, la CILA firmó el Acta 330, que establece una disminución a la asignación anual de agua a México, esto adicional a las reducciones existentes en el Acta 323. En Acta 330 se especifica la reducción total de 494 Mm<sup>3</sup> y cómo se distribuirán anualmente (Tabla 7).

**Tabla 7.** Ahorros, recortes y reducciones de las asignaciones a México, Acta 330

Año	Ahorros (Agua Recuperable) Mm <sup>3</sup>	Recortes (Agua No-Recuperable) Mm <sup>3</sup>	Reducción de la asignación Mm <sup>3</sup>
2024	62	102	<b>164</b>
2025	93	154	<b>247</b>
2026	31	52	<b>83</b>
Total	<b>186</b>	<b>308</b>	<b>494</b>

Los números en negrita se especifican en el Acta 330 y los números en itálica son estimados por Sandoval-Solís et al. (2024).

En Tabla 8 se muestran los ahorros, recortes y reducciones de las asignaciones en ambas actas, 323 y 330.

**Tabla 8.** Ahorros, recortes y reducciones de las asignaciones a México, Acta 323 y 330

Año	Acta 323		Acta 330		Actas 323 y 330
	Ahorros (Agua Recuperable) Mm <sup>3</sup>	Recortes (Agua No-Recuperable) Mm <sup>3</sup>	Ahorros (Agua Recuperable) Mm <sup>3</sup>	Recortes (Agua No-Recuperable) Mm <sup>3</sup>	Reducción de la asignación Mm <sup>3</sup>
2021	51	0	NA	NA	51
2022	37	62	NA	NA	99
2023	42	86	NA	NA	128
2024	37	62	62	102	<b>263</b>
2025	37	62	93	154	<b>346</b>
2026	42	86	31	52	211
Total	246	358	186	308	1098

Algo que es importante considerar es que, de las reducciones totales en la asignación de agua a México, y tomando en cuenta la primera reducción en 2021 hasta la proyección para 2026, México sólo podrá recuperar el 39% de los volúmenes reducidos, mientras que el 61% se perderá (ver Tabla 9).

**Tabla 9.** Total de reducciones en las asignaciones a México, Acta 323 y 330

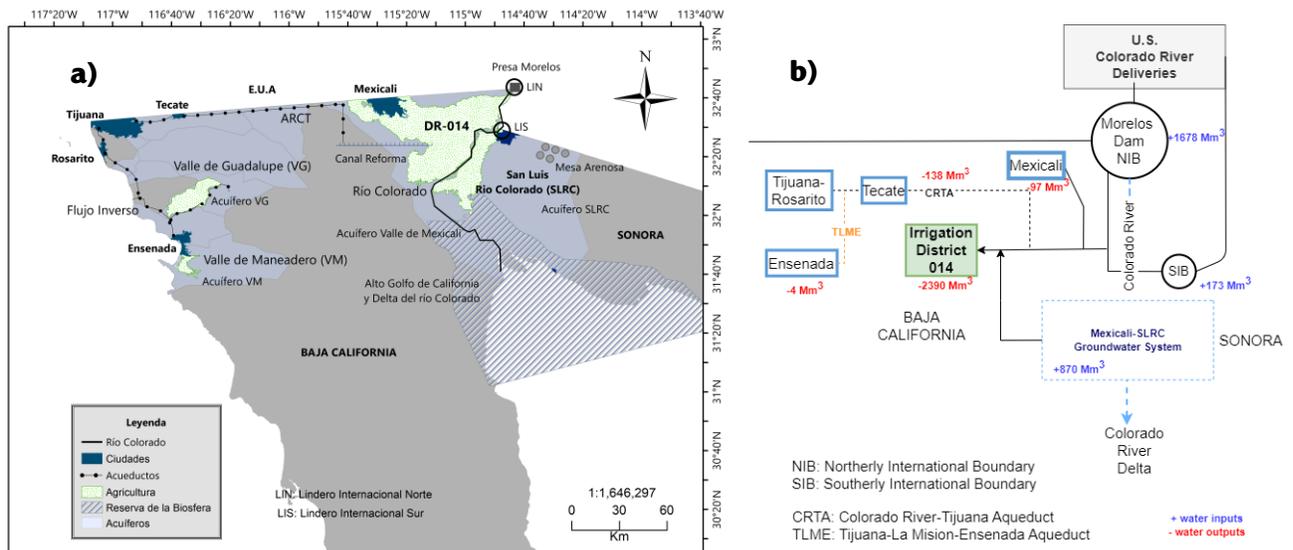
Año	Acta 323 + 330		Reducción de la asignación Mm <sup>3</sup>
	Ahorros (Agua Recuperable) Mm <sup>3</sup>	Recortes (Agua No-Recuperable) Mm <sup>3</sup>	
2021	51	0	51
2022	37	62	99
2023	42	86	128
2024	99	164	263
2025	130	216	346
2026	73	138	211
Total	432	666	1098
Porcentaje	39%	61%	100%

Otro aspecto relevante para considerar en este análisis es el económico. El gobierno estadounidense pondrá a disposición del gobierno de México 65 millones de dólares como compensación por la reducción de los 494 Mm<sup>3</sup> en su asignación. Lo cual significa una compensación de \$2.5 por metro cúbico.

## 2.6 Usuarios del Río Colorado en México

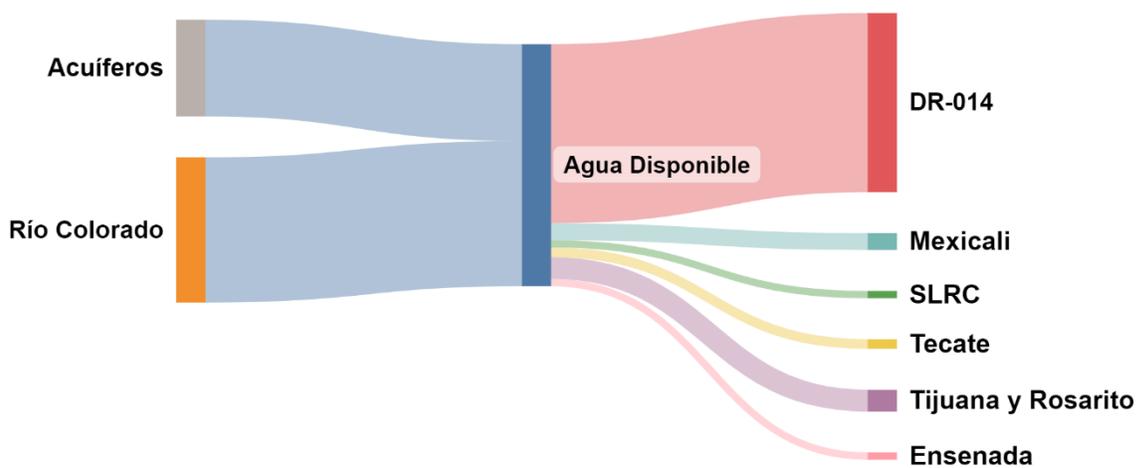
El río Colorado proporciona agua potable a alrededor de 40 millones de habitantes tanto en EUA como en México. En México, abastece a las ciudades de Mexicali, Tecate, Tijuana, Rosarito y parte de Ensenada en Baja California, así como a San Luis Río Colorado en Sonora. El principal usuario de los recursos hídricos del río Colorado es el Distrito de Riego 014 (DR-014) conformado por los Valles agrícolas de Mexicali y San Luis Río Colorado (CEABC, 2018) (ver figura 12).

El estado de Baja California es el usuario principal de los recursos hídricos del Río Colorado en México, cuenta con un litoral de 1,400 km, que se dividen en las costas del Océano Pacífico y el Golfo de California que representan aproximadamente el 12% del total de las costas del país. Su precipitación promedio anual es de 176 mm, sin embargo, presenta una gran variedad espacial, en la parte noroccidental las precipitaciones que se presentan van de los 200 mm a los 400 mm promedio anual, a diferencia del centro que varía de 100 mm a 600 mm que comprende desde la línea de costa hasta la sierra de San Pedro Mártir, y finalmente la zona sur donde sus precipitaciones oscilan en 100 mm a 200 mm (CONAGUA, EAM, 2016).



**Figura 12.** a) Sistema en México del Río Colorado. b) Distribución simplificada de las entregas del Río Colorado en México (Hernández-Cruz et al.,2023).

Actualmente, Baja California está conformado por siete municipios: Ensenada, Mexicali, Tecate, Tijuana, Playas de Rosarito, San Quintín y San Felipe, de los cuales los primeros cinco reciben parte del agua del Río Colorado. En la Figura 13 se muestra la distribución del agua disponible del Río Colorado entre los usuarios mexicanos, considerando también el agua subterránea (de acuíferos).



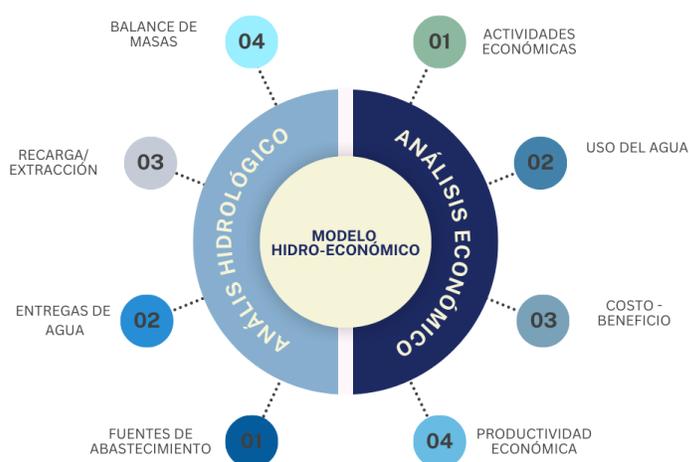
**Figura 13.** Distribución del agua disponible del Río Colorado en México en los usuarios mexicanos.

### 3. DATOS Y MÉTODOS

La metodología se compone principalmente de dos fases. La primera es el análisis hidrológico, que consistió en la recopilación y análisis de los resultados de Hernández-Cruz et al (2023). A partir de este análisis, se recolectaron datos sobre los volúmenes de agua disponible para abastecimiento. Estos valores se calcularon considerando fuentes de agua, demandas agrícolas y urbanas, y condiciones hidrológicas (entregas de agua superficial y recarga/extracción de agua subterránea). El objetivo de esta etapa fue obtener una estimación de los volúmenes de abastecimiento, a los que denominó “agua aplicada”.

La segunda fase de la metodología fue el análisis económico. En esta etapa, se realizó un estudio de los costos y beneficios asociados con el uso del agua aplicada en diferentes actividades económicas. El resultado fue un análisis de costos y beneficios que permitió estimar la productividad económica del agua aplicada, es decir, una medida de cuán eficientemente se utilizó el recurso hídrico para generar valor económico.

Finalmente, los resultados del análisis hidrológico y del análisis económico se integraron para desarrollar un MHE. Este modelo permitió evaluar de manera conjunta los aspectos hidrológicos y económicos, proporcionando una herramienta integral para la toma de decisiones en la gestión del agua (ver Figura 14).

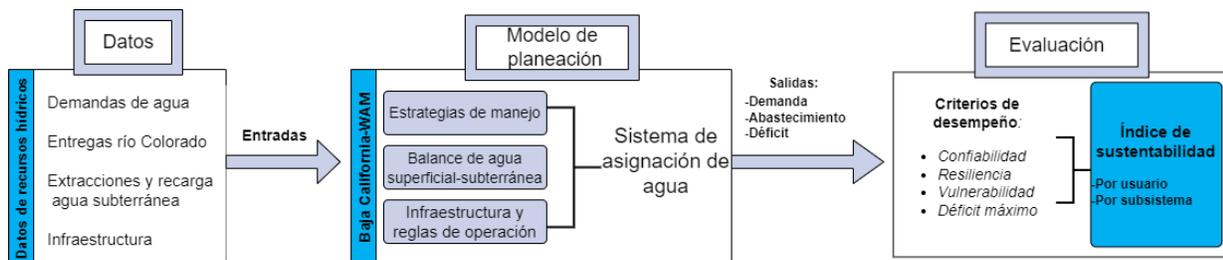


**Figura 14.** Metodología general

### 3.1 Análisis hidrológico

El análisis hidrológico se basó en el estudio reportado por Hernández-Cruz et al. (2023), quienes desarrollaron un modelo de asignación de agua que representa la demanda y el abastecimiento actual y futuro (escenario hasta el 2050). En este modelo se caracterizan todas las demandas de agua (DR-014, Mexicali, San Luis Río Colorado, Tecate, Tijuana-Rosarito y Ensenada). En este estudio, se corrieron escenarios individuales por subsistema y posteriormente se analizó su impacto en todo el sistema para identificar los factores de estrés hídrico y las estrategias que favorecen el desempeño del sistema.

La metodología (ver Figura 15) incluyó la compilación de los datos, el desarrollo del modelo, así como su calibración y validación. Posteriormente, se evaluaron estrategias individuales de manejo del agua, así como la evaluación de meta-escenarios que combinan diferentes escenarios, con el fin de identificar y analizar factores clave de estrés en el sistema, tales como la asignación y reducción de agua, el cambio climático y la disminución del área irrigada.



**Figura 15.** Metodología del análisis hidrológico (Hernández-Cruz et al., 2023).

Para la calibración se aplicó un enfoque de balance de masa para calcular el suministro de agua subterránea ( $AS_t$ ) y estimar el cambio en el almacenamiento del acuífero Valle de Mexicali.

$$AS_t = Recarga_t - GW\ extracción_t \quad \text{Ec. 1}$$

$$Recarga_t = Recarga^{AgSW} + Recarga_t^{AgGW} + Recarga_t^{ConvLosses} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde los términos se definen de la siguiente manera:

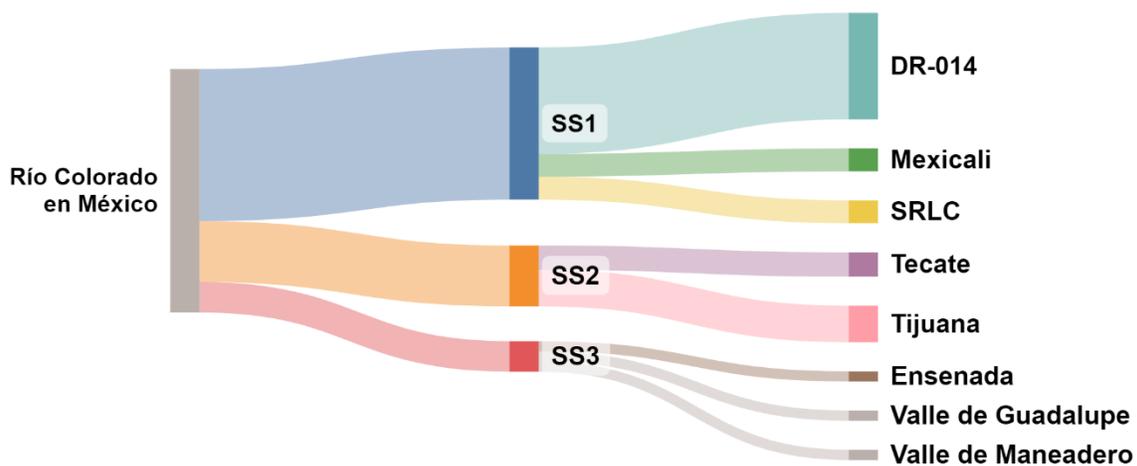
$Recarga_t^{AgSW}$ : Recarga del acuífero debido a las pérdidas de riego provenientes del uso de agua superficial.

$Recarga_t^{AgGW}$ : Recarga del acuífero debido a las pérdidas de riego debido al uso de agua subterránea por percolación profunda.

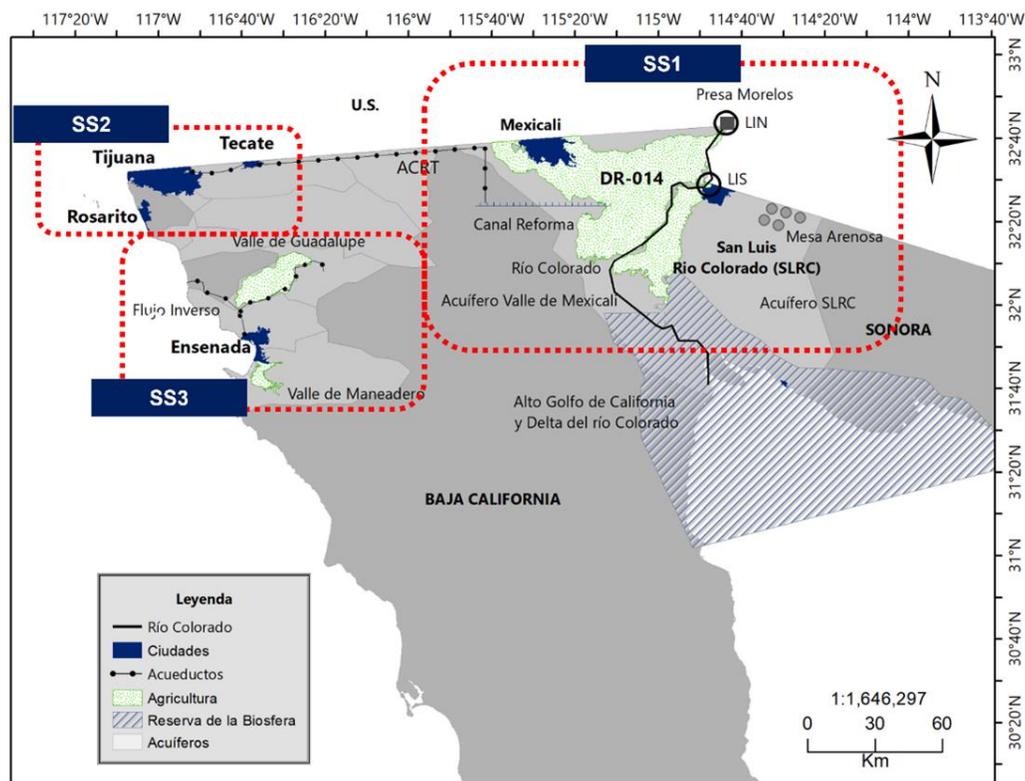
$Recarga_t^{ConvLosses}$ : Recarga por la pérdida de conducción en canales y;

$GW\ extracción_t$ : Volumen de extracción de agua subterránea mediante bombeo.

El área de estudio fue dividida en tres subsistemas (ver figura 16 y 17): Subsistema 1 (SS1) que comprende el DR-014, el delta del Río Colorado y las ciudades de Mexicali y San Luis Río Colorado; Subsistema 2 (SS2) que comprende las ciudades de Tecate y Tijuana-Rosarito; y el Subsistema 3 (SS3) que comprende la ciudad de Ensenada y las regiones de agricultura del Valle de Guadalupe y Valle de Maneadero.



**Figura 16.** Distribución del abastecimiento del sistema del Río Colorado en México.

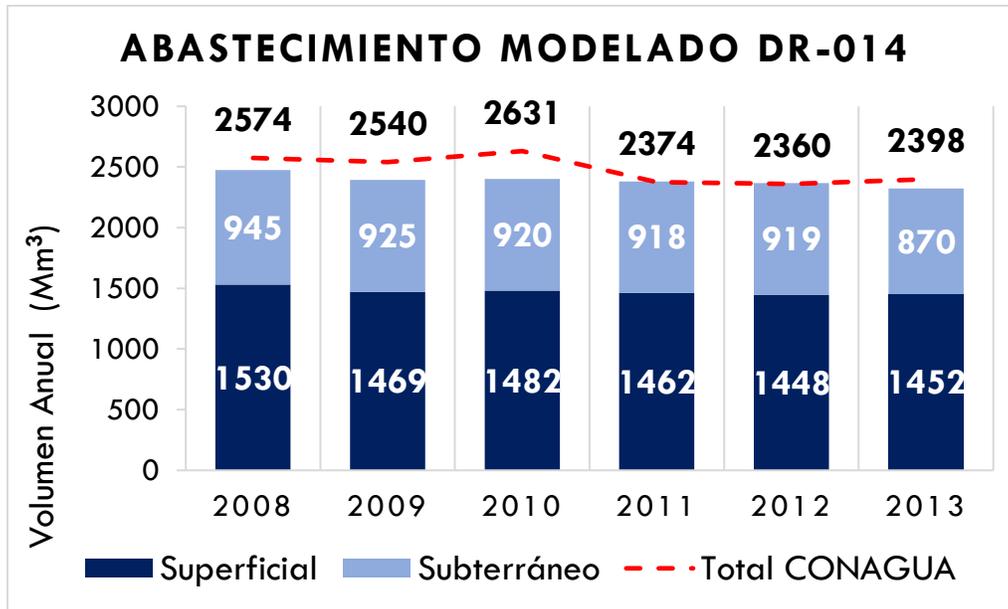


**Figura 17.** Área de estudio.

### 3.1.1 Escenario Histórico

El modelo utiliza como insumos las asignaciones de agua superficial del río Colorado, el área irrigada por cultivo y módulo, los coeficientes de cultivo, la evapotranspiración de referencia y las eficiencias de riego. Para verificar la idoneidad del modelo se comparó el suministro de agua estimado que procede de aguas superficiales y subterráneas con los registros históricos. Se utilizaron datos mensuales del 2008-2013 para comparar los valores observados (históricos) con los estimados por el modelo, aplicando criterios de bondad de ajuste. El índice de concordancia de Willmott arrojó un puntaje de 0.90, mientras que el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe fue de 0.64, lo cual se considera un desempeño aceptable según Moriasi et al. (2007).

El volumen de agua estimado por los autores para uso agrícola en el DR-014 fue de 2,376 Mm<sup>3</sup>/año, en comparación con la estimación de CONAGUA de 2,479 Mm<sup>3</sup>/año, lo que representa una diferencia del 4% (Figura 18).



**Figura 18.** Escenario histórico (Hernández-Cruz et al., 2023).

Además, los autores estimaron la recarga para el sistema de agua subterránea de Mexicali-SLRC en 836.44 Mm<sup>3</sup>/año, cifra que se encuentra dentro de los rangos reportados por Lesser et al. para CONAGUA (2006) (902.6 Mm<sup>3</sup>) y CEABC (2017) (766.29 Mm<sup>3</sup>). La sobreexplotación del acuífero se estimó en 102.54 Mm<sup>3</sup>/año (2008-2013), valor situado entre las estimaciones del CEABC 2017 (132.27 Mm<sup>3</sup>/año) (2006-2016) y CONAGUA 2020 (95.00Mm<sup>3</sup>/año).

### 3.1.2 Escenario base

El escenario base (2015-2050) representa el sistema sin la implementación de ninguna estrategia de manejo ni disminución en la oferta, tal como lo establece el acta 323. En este escenario se mantuvieron constantes los suministros de agua del río Colorado (1,850Mm<sup>3</sup>) y se considera la sobreexplotación actual de aguas subterráneas. Las demandas agrícolas se mantuvieron constantes, y las demandas urbanas aumentan a medida que crece la población (tasa de crecimiento 1%, CONAPO 2018). De acuerdo con los resultados del escenario base para el solo se logra satisfacer al 89% de la demanda total, esto representa un déficit de 321 Mm<sup>3</sup>.

Hernández-Cruz et al (2023) obtuvieron un índice de sustentabilidad IS, (es decir, compuesto de criterios de desempeño) para escenarios individuales de gestión del agua para cada subsistema con y sin sobreexplotación de

---

agua subterránea. Los criterios pueden consultarse en el Apéndice 1 del artículo de los autores.

Se utilizaron cinco criterios para evaluación del desempeño en el modelo: 1) confiabilidad volumétrica, 2) confiabilidad en el tiempo, 3) resiliencia, 4) vulnerabilidad y 5) déficit máximo. Los resultados se concentraron en un valor único de 0 a 100% utilizando el índice de sustentabilidad de los recursos hídricos ( $SI^{User}$ ), que representa la media geométrica de los (cinco) criterios de desempeño.

El índice de sustentabilidad (IS) identifica políticas que preservan o mejoran las características deseadas del agua en la cuenca, al tiempo que facilita la comparación del desempeño entre distintas estrategias de gestión del agua (Sandoval-Solis et al. 2011). El índice de sustentabilidad por subsistema ( $IS^{ss}$ ) se empleó para consolidar los resultados de todos los usuarios de un subsistema dado en un solo valor, calculando como el promedio ponderado de los IS individuales, ajustado según la demanda de agua de cada usuario. El IS es una integración de los criterios de desempeño que revelan las características sustentables esenciales y deseadas de la cuenca en estudio. El SI resume los parámetros esenciales de desempeño de la gestión del agua de una manera significativa, en lugar de agregar factores generales, y el SI ha sido utilizado por la comunidad científica. Las definiciones y procedimientos de los criterios de desempeño y el SI se presentan en Loucks (1997) y Sandoval-Solís et al. (2011).

### **3.1.3 Escenarios individuales**

La Tabla 10 resume las estrategias de gestión del agua para cada subregión, que incluyen las que se describen en el Acta 323 (CILA,2017), el Plan Hídrico de Baja California (CEAB, 2018) y las que se discutieron en foros regionales organizados por la Secretaría de Manejo, Saneamiento y Protección del Agua (SEPROA), el Consejo de Cuenca de Baja California y de SLRC (2020-2021). En cada subsistema se implementaron estrategias individuales, y posteriormente se analizó su impacto en el sistema en su conjunto. Se generó un escenario base como escenario de referencia, el cual representa el sistema sin ninguna estrategia de gestión alternativa y tomando en cuenta un suministro constante de agua (2015-2050).

**Tabla 10.** Descripción de escenarios del manejo del agua.

Subsistema	Escenario	Escenario Base	Valor de escenario
SS1	Reducción en las entregas del Río Colorado	Asignación de agua: 1,850 Mm <sup>3</sup>	-55 a -339 Mm <sup>3</sup>
	Aumento en la evapotranspiración del cultivo ET <sub>c</sub> (m/año) debido al cambio climático	Trigo <sub>ETc</sub> : 0.57	B1 <sup>1</sup> :0.5898-0.5918 A2 <sup>2</sup> :0.5872-0.5928
		Alfalfa <sub>ETc</sub> : 1.93	B1: 2.0786-2.1034 A2: 2.0864-2.1067
		Algodón <sub>ETc</sub> : 1.14	B1:1.1675-1.1832 A2:1.1705-1.1840
		Otros <sub>ETc</sub> : 1.19	B1:1.2501-1.2644 A2:1.2530-1.2661
			Revestimiento del Canal Todo Americano
	Aumento de la eficiencia de aplicación (E <sub>a</sub> )	E <sub>a</sub> : 65%	E <sub>a</sub> : Aumento de 2.5-10%
	Reducción de superficie regada	Área total irrigada: 192,214 ha	Disminución de 2.5-10%
	Reducción de la superficie regada de alfalfa	Área irrigada de la alfalfa: 34,598 ha	Disminución de 2.5-10%
	Incremento de la eficiencia de la red de distribución de agua (E <sub>n</sub> )	E <sub>n</sub> : 83%	Incremento de 2.5-10% en Mexicali
Agua ambiental (Delta)	Asignación de agua ambiental: 0 Mm <sup>3</sup>	Asignación de agua ambiental: 27.5 Mm <sup>3</sup>	
SS2	Incremento de la capacidad del CRTA	Capacidad: 5333l/s	Incremento de 2.5-10%
	Rehabilitación de pozos del acuífero de Tijuana	Uso de 0 l/s	Uso de 270 l/s
	Incremento de la eficiencia de la red de distribución de agua (E <sub>n</sub> ) Tijuana	E <sub>n</sub> : 80%	Incremento de 2.5-10%
SS3	Asignación total del Río Colorado	Ensenada recibe 116 l/s	Ensenada recibe 285 l/s
	Desalinización de agua de mar	Uso de 100 l/s / 170.33 l/s (2018-2022)	Uso de 250 l/s
	Incremento en el reúso de agua residual reciclada en el Valle de Maneadero	Uso de 80 l/s	Uso de 200 l/s
	Incremento en el reúso de agua residual tratada en el Valle de Guadalupe	Uso de 0 l/s de Tijuana WWTP	Uso de 1000 l/s de Tijuana WWTP
	Incremento de la eficiencia de la red de distribución de agua (E <sub>n</sub> ) Ensenada	E <sub>n</sub> : 83%	Incremento de 2.5-10%

Nota: Hernández-Cruz et al (2023).

---

### 3.2 Análisis económico (uso agrícola, urbano y otros)

El análisis económico incluyó la estimación de los beneficios derivados de la productividad económica en función de su uso, así como la estimación de los costos asociados. De acuerdo con la investigación y el análisis hidrológico, se consideraron los siguientes usos: agrícola (DR-014, Valle Guadalupe, Valle Maneadero), urbano (San Luis del Río Colorado, Mexicali, Tecate, Tijuana, Ensenada) y otros (Infraestructura, y otros escenarios). Estos usos se agruparon en subsistemas, siguiendo la metodología del análisis hidrológico.

La productividad económica del agua (Ec.3) se define como la relación entre el valor total o neto y la cantidad de agua aplicada o asignada. Este indicador puede ser útil para definir los costos de oportunidad o los posibles usos alternativos del recurso hídrico.

$$Productividad\ económica = \frac{Valor\ de\ productividad\ (\$)}{Agua\ aplicada\ (m^3)} \quad Ec. 3$$

El valor de productividad se refiere a la cantidad, valor o facturación totales en pesos, generada por el cultivo. Por otro lado, el agua aplicada corresponde a los volúmenes de abastecimiento obtenidos del análisis hidrológico.

#### 3.2.1 Uso agrícola

Para el uso agrícola se analizó el DR-014 correspondiente al SS1, para ello, se consultaron las estadísticas agrícolas disponibles en el sitio web oficial de CONAGUA (2023) de estas estadísticas se obtuvo la superficie cultivada, el rendimiento, la producción, el precio medio rural (PMR) y el valor de la producción.

Se calcularon dos productividades económicas del agua; la productividad histórica ( $P_h$ ) con datos de las estadísticas y la lámina de cultivo, y la productividad modelada ( $P_m$ ) calculada a partir de los valores de productividad (facturación total) y el agua aplicada (volúmenes de abastecimiento obtenido del análisis hidrológico). Este procedimiento permitió realizar una comparación entre ambas productividades y calibrar el modelo.

---

Tanto el rendimiento ( $R$ ) como el valor de la producción ( $F_t$ ) son datos reportados por CONAGUA, y es importante conocer el origen de estas variables. El rendimiento agrícola  $R$  calculó de acuerdo con la Ec. 4.

$$R = \frac{Prod}{Sup} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$R$  = Rendimiento del cultivo (ton/ha)

$Prod$  = Producción (ton)

$Sup$  = Superficie (ha)

El valor de la producción o facturación total ( $F_t$ ) es el resultado de la producción por el PMR.

$$F_t = Prod * PMR \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$F_t$  = Valor de la producción (\$)

$Prod$  = Producción (ton)

$PMR$  = Precio medio rural (\$/ton)

Para calcular la productividad histórica ( $P_h$ ), fue necesario obtener el valor del agua aplicada. Este valor no se obtiene directamente de las estadísticas agrícolas de los distritos de riego de CONAGUA. Una forma de estimar esta productividad económica del agua es calcular la ganancia por hectárea ( $G_{ha}$ ) utilizando los datos disponibles en las estadísticas. Por lo tanto, la primera variable económica modelada fue la ganancia por hectárea ( $G_{ha}$ ), de acuerdo con la Ec. 6:

$$G_{ha} = R * PMR \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

$G_{ha}$  = Ganancia (\$/ha)

---

$R$  = Rendimiento (ton/ha)

$PMR$  = Precio medio rural (\$/ton)

Una vez que se calculó la ganancia se procedió a calcular la productividad histórica ( $P_h$ ):

$$P_h = \frac{G_{ha}}{L_a * 10000} \quad \text{Ec. 7}$$

$P_h$  = Productividad histórica (\$/m<sup>3</sup>)

$G_{ha}$  = Ganancia (\$/ha)

$L_a$  = Lámina de agua (m)

Con el fin de calibra el modelo, se calculó la productividad modelada ( $P_m$ ) utilizando los valores obtenidos del análisis hidrológico.

$$P_m = \frac{F_t}{A_a} \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$P_m$  = Productividad modelada (\$/m<sup>3</sup>)

$F_t$  = Facturación total o valor de la productividad (\$)

$A_a$  = Agua aplicada (m<sup>3</sup>)

Continuando con el análisis del uso agrícola, se evaluaron los Valles de Guadalupe y Maneadero, que pertenecen al Subsistema 3 y se obtuvo su productividad económica. Las estadísticas agrícolas de los valles de Guadalupe y Maneadero se obtuvieron mediante una solicitud a la SAGARPA, que proporcionó información de las promotorías de Guadalupe y Maneadero de los años 2022 y 2023.

### 3.2.2 Uso urbano

El uso urbano se encuentra presente en los tres subsistemas, San Luis Río Colorado y Mexicali para el SS1, Tecate y Tijuana en el SS2 y finalmente Ensenada en el SS3.

A través de la plataforma de transparencia se solicitó la información de las tarifas a las comisiones de las diferentes ciudades como: Comisión Estatal

---

de Servicios Públicos de Mexicali/ Tecate/ Tijuana/ Ensenada (CESPM, CESPTE, CESPT y CESPE) y San Luis de Río Colorado (OOMAPAS-SLRC). Además, se utilizaron los indicadores de gestión de los organismos operadores de sistemas de agua potable y alcantarillado, publicados por la Secretaría para el Manejo, Saneamiento y Protección de Agua de la Comisión Estatal del Agua del estado de Baja California (CEABC).

Con esta información, se estimaron los costos del agua ( $C_a$ ).

$$C_a = \frac{F_t}{A_a} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

$C_a$  = Costo del agua \$/m<sup>3</sup>

$F_t$  = Facturación total \$

$A_a$  = Agua aplicada m<sup>3</sup>

### 3.2.3 Valor presente

En un análisis económico, es importante calcular el valor presente o actual ( $V_p$ ), para esto es necesario contar con los valores de años anteriores, ajustados por la inflación para reflejar su valor en términos actuales. En este caso se tiene la serie de valores históricos que permite realizar el ajuste y proyectarlos al valor presente en el año 2024 (Ec 10).

$$P_{2024} = P_n(1 + i)^T \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$P_{2024}$  = Precio por metro cúbico de agua al 2024 (\$/m<sup>3</sup>)

$P_n$  = Precio por metro cúbico anual del análisis (\$/m<sup>3</sup>)

$i$  = Inflación (%)

$T$  = Periodo entre el año de análisis y actual (años)

La tasa de inflación fue obtenida mediante el portal del INEGI, (2024) del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC).

---

Una técnica muy utilizada para determinar cómo diferentes valores que se asignan a una variable independiente interfieren a una variable dependiente bajo ciertos supuestos es el análisis de sensibilidad. Este análisis identifica cómo la incerteza de los resultados en un modelo o sistema matemático puede atribuirse a distintas fuentes dentro de sus variables de entrada (Sy-Corvo, 2021).

Se realizó un análisis de sensibilidad considerando un rango de tasas de inflación del 2.13 a 7.82 % de acuerdo con los datos de INEGI que varían en los años de 2008 a 2024. Se seleccionó un precio unitario que se mantuvo fijo del 2023 al 2050.

### **3.2.4 Beneficios Netos**

Los Beneficios Netos se estiman mediante la resta de los beneficios y los costos (Ec.11).

$$\textit{Beneficios Netos} = \textit{Beneficios} - \textit{Costos.} \quad \text{Ec. 11}$$

Lo beneficios serán las productividades económicas de los usuarios agrícolas, y los costos serán tanto el costo del agua de las ciudades, es decir lo que pagan los usuarios por el agua, como las inversiones necesarias para aplicar los escenarios.

---

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Modelo

Las entradas del MHE incluyeron las variables correspondientes al análisis hidrológico y las del análisis económico que fueron: las asignaciones de agua superficial (ingresadas previamente a través del análisis hidrológico), tarifas urbanas, variables económicas y datos operativos (actas CILA, asignaciones, infraestructura). Todos los datos económicos se convirtieron a datos actuales considerando una inflación del 5.54%.

### 4.2 Análisis de Escenarios

#### 4.2.1 Escenario Base

Se realizó un análisis de un total de 35 años, de enero de 2015 a diciembre de 2050, de acuerdo con el análisis hidrológico establecido en las proyecciones y planes de acción del Plan Hídrico de Baja California (CEABC 2018). Se utilizaron los años 2008-2015 como referencia para la calibración del modelo (escenario histórico); este periodo considera la disminución en la recarga del acuífero de Valle de Mexicali, que de acuerdo con García, López y Navarro (2009), contribuía al 14% de la recarga total del acuífero.

En el análisis hidrológico inicial, se contemplaron las reducciones de 51 Mm<sup>3</sup> a 339 Mm<sup>3</sup> establecidas por el Acta 323 (Tabla 5). Sin embargo, con la entrada en vigor de la nueva Acta 330, se actualizaron los valores de reducción, que ahora son de 263 Mm<sup>3</sup> y 346 Mm<sup>3</sup>. Por lo tanto, fue necesario agregar estas nuevas reducciones al modelo y realizar un nuevo análisis en la herramienta WEAP para obtener la cantidad de agua aplicada de estos escenarios (Tabla 11).

**Tabla 11.** Abastecimiento promedio debido a las reducciones

Reducciones (Mm <sup>3</sup> )	Abastecimiento promedio (Mm <sup>3</sup> )
ESCENARIO BASE	2,400
-51	2,354
-99	2,310
-128	2,297
-180	2,283
-190	2,236
-199	2,219
-211	2,132
<b>-263</b>	<b>2,044</b>
-339	1,973
<b>-346</b>	<b>1,902</b>

Para caracterizar el SSI se determinaron las productividades económicas del Distrito de Riego 014, principal usuario del sistema. Las Tablas 12 y 13 muestran las productividades económicas histórica y modelada para el año 2015, respectivamente. Los valores proyectados para el periodo 2015-2050 se incluyen en las Tablas 31 y 32 de la sección de Anexos.

**Tabla 12.** Productividad económica del agua histórica DR-014

AÑO	CULTIVO	GANANCIA (\$/ha)	LÁMINA ( $L_a$ ) (m)	PRODUCTIVIDAD HISTÓRICA ( $P_h$ ) (\$/m <sup>3</sup> )
2015	Algodón	28,304.96	1.1415	<b>2.48</b>
	Alfalfa	30,766.34	1.8922	<b>1.63</b>
	Trigo Grano	25,046.93	0.5707	<b>4.39</b>
	Otros Cultivos	116,246.54	1.1863	<b>9.80</b>
	Total	40,524.78		

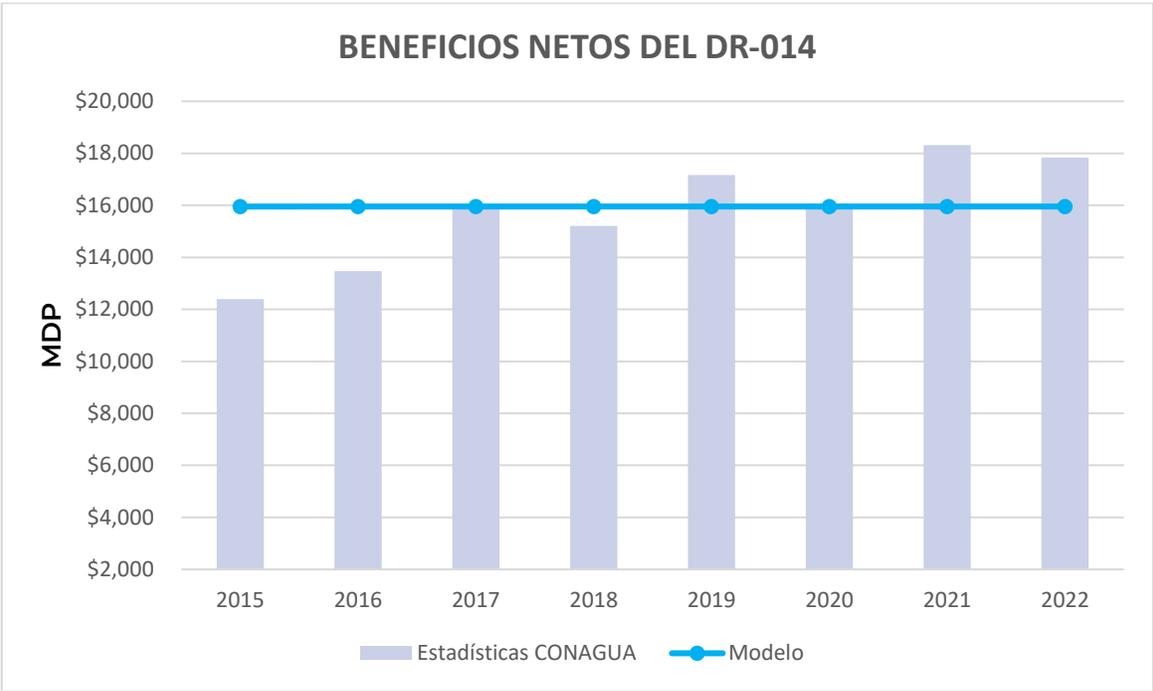
Nota: Ejemplo del 2015

**Tabla 13.** Productividad económica del agua modelada DR-014

AÑO	CULTIVO	VALOR DE PRODUCTIVIDAD ( $F_r$ ) (\$)	AGUA TOTAL APLICADA ( $A_a$ ) (m <sup>3</sup> )	PRODUCTIVIDAD MODELADA $P_m$ (\$/m <sup>3</sup> )
2015	Algodón	599,102,777.35	338,292,203.66	<b>1.77</b>
	Alfalfa	974,370,019.47	801,956,526.45	<b>1.21</b>
	Trigo Grano	2,661,186,245.20	782,886,969.24	<b>3.40</b>
	Otros Cultivos	3,396,103,009.20	485,256,715.78	<b>7.00</b>
	Total	7,630,762,051.23	2,408,392,415.13	<b>3.17</b>

Nota: Ejemplo del 2015

Los beneficios netos (productividad económica total, BN) estimados en el DR-014 fue de \$15,954 millones de pesos por año (MDP), en comparación con las estadísticas agrícolas de CONAGUA de \$15,804 MDP/año, lo que representa una diferencia del 1% (Figura 19).



**Figura 19.** Calibración los beneficios netos del DR-014.

Para el uso rural se estimaron los costos del agua utilizando los indicadores de gestión de los organismos operadores de sistemas de agua potable y alcantarillado, publicados por SEPROA, lo datos más recientes corresponden a los primeros meses del 2022 (Tabla 14).

**Tabla 14.** Costos del agua en Baja California

2022	Mexicali	Tecate	Tijuana y Playas de Rosarito	Ensenada
Enero	\$10.05	\$27.45	\$25.16	\$12.36
Febrero	\$11.17	\$28.89	\$23.18	\$20.20
Marzo	\$9.77	\$30.30	\$25.46	\$22.18
PROMEDIO	\$10.33	\$28.88	\$24.60	\$21.19
<b>VALOR ACTUAL 2024</b>	<b>\$11.51</b>	<b>\$32.17</b>	<b>\$27.40</b>	<b>\$23.60</b>

Nota: (SEPROA, 2022).

En la Tabla 15 se presentan los costos del agua de uso urbano (\$/m<sup>3</sup>) por subsistema.

**Tabla 15.** Costo del agua por subsistema

SUBSISTEMA	CIUDAD	VOLUMEN m <sup>3</sup>	COSTO DEL AGUA \$/m <sup>3</sup>
SS1	Mexicali	135,772,965	<b>\$11.51</b>
	SLRC	27,792,371	<b>\$11.51</b>
SS2	Tecate	9,509,013	<b>\$32.17</b>
	Tijuana y Playas de Rosarito	129,786,170	<b>\$27.40</b>
SS3	Ensenada	20,049,912	<b>\$23.60</b>

En el caso del sector agrícola del SS3 se calculó la productividad económica del agua con la Ecuación 8, con datos proporcionados de la SAGARPA del 2022 y 2023, (Tabla 16).

**Tabla 16.** Productividad modelada de los Valles SS3

Valle de Guadalupe			
Cultivo	$F_t$ (\$)	$A_a$ (m <sup>3</sup> )	$P_m$ actual (\$/m <sup>3</sup> )
Vid	\$ 296,901,317	13,815,150	<b>\$ 22.84</b>
Olivo	\$ 12,876,214	2,454,374	<b>\$ 5.58</b>
Otros	\$ 119,438,536	2,324,218	<b>\$ 54.62</b>
Total	\$ 429,216,067	18,593,742	<b>\$ 29.04</b>
Valle de Maneadero			
Cultivo	$F_t$ (\$)	$A_a$ (m <sup>3</sup> )	$P_m$ actual (\$/m <sup>3</sup> )
Flor	\$ 41,395,121	3,436,658	<b>\$ 12.82</b>
Espárragos	\$ 176,277,302	2,628,032	<b>\$ 71.40</b>
Jitomate	\$ 52,055,475	1,212,938	<b>\$ 45.68</b>
Pepino	\$ 170,874,037	2,425,876	<b>\$ 74.98</b>
Otros	\$ 217,367,544	10,512,129	<b>\$ 22.01</b>
Total	\$ 657,969,479	20,215,633	<b>\$ 34.65</b>

Nota:  $F_t$  Valor de la productividad;  $A_a$ : Agua aplicada,  $P_e$ : productividad modelada

Los Beneficios Netos en el Río Colorado en México ascienden a \$10, 469 millones de pesos (551 MDD) (Tabla 17).

**Tabla 17.** Beneficios Netos en la cuenca del Río Colorado en México.

ESCENARIO BASE	SUBSISTEMA	BENEFICIOS NETOS (MDP)
	SS1 (BENEFICIOS NETOS)	\$ 13,160
	SS2 (COSTOS)	-\$ 3,862
	SS3 (BENEFICIOS NETOS)	\$ 1,171
	TOTAL	\$ 10,469 MDP
	\$ 551 MDD	

#### 4.2.2 Escenarios Individuales

Se analizó la inversión para los escenarios individuales para cada uno de los subsistemas, algunos se vieron reflejados por una inversión y otros por un cambio de costo del agua y cambio en la productividad.

Los escenarios que consideran una inversión son:

Subsistema 1:

El incremento en la evapotranspiración en los cultivos debido al cambio climático (Tabla 18), tuvo un cambio en la productividad de los cultivos.

**Tabla 18.** Cambio en la productividad de los cultivos debido al cambio climático

Incremento en la eficiencia de la red de distribución de agua				
Cultivo	Productividad modelada (\$/m <sup>3</sup> )			
	B1:0.5898-0.5918 A2:0.5872-0.5928	B1: 2.0786-2.1034 A2: 2.0864-2.1067	B1:1.1675-1.1832 A2:1.1705-1.1840	B1:1.2501-1.2644 A2:1.2530-1.2661
Algodón	3.31	3.27	3.31	2.27
Alfalfa	6.67	6.59	6.64	6.58
Trigo	2.96	2.95	2.97	2.95
Otros	12.61	12.47	12.58	12.45

El aumento en la eficiencia de aplicación (Tabla 19), para este escenario se consideró un costo de 18MDP por millón de agua ahorrada (0.479MDP), dato calculado y recuperado de Sandoval Solis, S. (2011).

**Tabla 19.** Inversión en el por el aumento de aplicación en los cultivos DR-014

Aumento en la eficiencia de aplicación (DR-014)	
Incremento (%)	Inversión (MDP)
2.5	71
5	141
7.5	212
10	282

Cambio en el costo por el incremento de la eficiencia de aplicación en la red de la ciudad de Mexicali y SLRC con datos del CESPM (2019) (Tabla 20).

**Tabla 20.** Cambio del costo por el incremento en la eficiencia de la red en Mexicali y SLRC

Incremento en la eficiencia de la red de distribución de agua	
Incremento (%)	Mexicali/SLRC (\$/m <sup>3</sup> )
2.5	12.47
5	13.47
7.5	14.53
10	15.65

Subsistema 2:

La inversión considerada en el SS2 corresponde a la rehabilitación de pozos (Tabla 21), con datos recuperados de CESPT (2023).

**Tabla 21.** Inversión por la rehabilitación de pozos en Tijuana

Rehabilitación de pozo (Tijuana)	
Incremento (lps)	Inversión (MDP)
270	3

Cambio de costo del agua por el aumento de la capacidad (5333l/s) del acueducto río Colorado-Tijuana (ARCT) (Tabla 22), tomando en cuenta datos de la CEA (2021).

**Tabla 22.** Cambio del costo del agua por ampliación del ARCT

Aumento de la capacidad del ARCT		
Incremento (%)	Costo del agua (\$/m <sup>3</sup> )	
	Tijuana	Tecate
2.5	28.11	33.01
5	28.86	33.88
7.5	29.66	34.81
10	30.49	35.79

Cambio en el costo por el incremento de la eficiencia de aplicación en la red de la ciudad de Tecate y Tijuana con datos del CESP (2019) (Tabla 23).

**Tabla 23.** Cambio del costo por el incremento en la eficiencia de la red en Tecate y Tijuana

Incremento en la eficiencia de la red de distribución de agua		
Incremento (%)	Tijuana (\$/m <sup>3</sup> )	Tecate (\$/m <sup>3</sup> )
2.5	28.76	33.66
5	30.20	35.22
7.5	31.71	36.87
10	33.31	38.61

Subsistema 3:

En el SS3 se analiza una inversión para el reúso de agua residual tratada en los valles y desalinización de agua de mar (Tabla 24), con datos recuperado de Proyectos México (2018,2024), CESPM (2019) y CESPT (2024).

**Tabla 24.** Inversión de escenarios en el sistema SS3

Desalinización de agua de mar	
Incremento (lps)	Inversión (MDP)
250	68
Reúso de agua residual tratada	
Valle	Inversión (MDP)
Maneadero	13
Guadalupe	49

Cambio en el costo por el incremento de la eficiencia de aplicación en la red de Ensenada con datos del CESPM (2019) (Tabla 25).

**Tabla 25.** Cambio del costo por el incremento en la eficiencia de la red en Ensenada

Incremento en la eficiencia de la red de distribución de agua	
Incremento (%)	Ensenada (\$/m <sup>3</sup> )
2.5	24.87
5	26.20
7.5	27.60
10	29.08

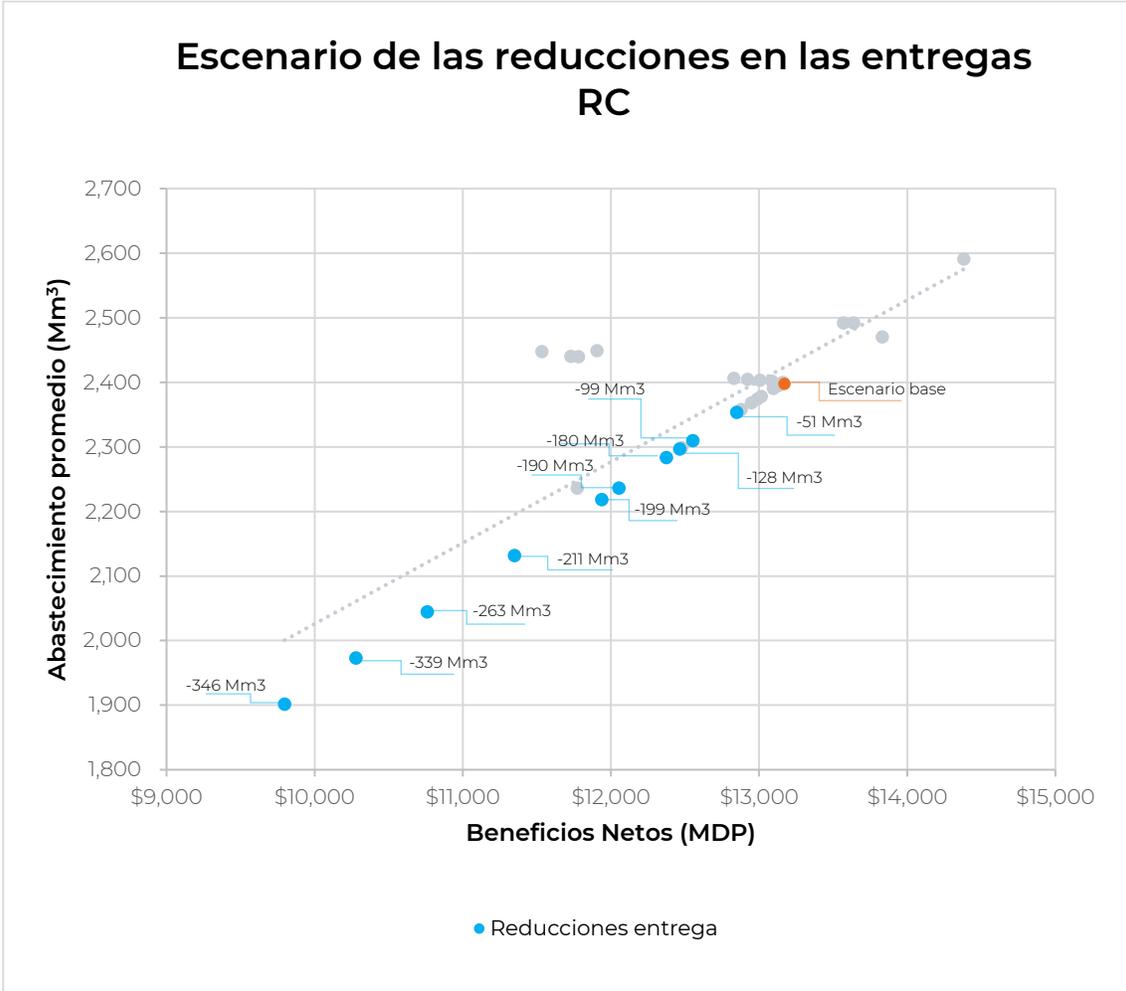
En el SS1 se observó que el escenario más crítico es el escenario de las reducciones de las entregas del Río Colorado, considerando la mayor reducción (-346 Mm<sup>3</sup>) se tendría un déficit del 26% en la productividad del DR-014 (Tabla 21 y Figura 26).

**Tabla 26.** Escenarios individuales del SS1

ESCENARIO	BENEFICIOS NETOS (MDP)	ABASTECIMIENTO (Mm <sup>3</sup> )	+/-	IS (%)
Escenario base	\$ 13,160	2,400	NA	68
Reducción en las entregas del Río Colorado	\$ 12,848	2,354	-2%	43
	\$ 12,552	2,310	-5%	
	\$ 12,463	2,297	-5%	
	\$ 12,374	2,283	-6%	
	\$ 12,054	2,236	-8%	
	\$ 11,937	2,219	-9%	
	\$ 11,348	2,132	-14%	
	\$ 10,760	2,044	-18%	
	\$ 10,278	1,973	-22%	
Aumento de la evapotranspiración de los cultivos ETC (m/año) debido al cambio climático	\$ 9,797	1,902	-26%	55
	\$ 11,781	2,440	-10%	
	\$ 11,533	2,448	-12%	
	\$ 11,728	2,440	-11%	
Revestimiento del Canal Todo Americano (CTA)	\$ 11,905	2,449	-10%	77
Aumento de la eficiencia de aplicación ( $E_a$ )	\$ 13,832	2,470	5%	63
	\$ 14,382	2,591	9%	
	\$ 13,638	2,492	4%	
	\$ 13,569	2,492	3%	
Reducción del área irrigada	\$ 11,772	2,236	-11%	94
	\$ 13,015	2,378	-1%	
	\$ 12,947	2,368	-2%	
	\$ 12,879	2,358	-2%	
Reducción de la superficie irrigada de alfalfa	\$ 12,477	2,299	-5%	65
	\$ 13,155	2,399	0%	
	\$ 13,142	2,397	0%	
	\$ 13,129	2,395	0%	
Incremento de la eficiencia de la red de distribución de agua (En) Mexicali	\$ 13,096	2,390	0%	66
	\$ 13,086	2,402	-1%	
	\$ 13,006	2,403	-1%	
	\$ 12,921	2,405	-2%	
Agua ambiental (Delta)	\$ 12,829	2,406	-3%	60
	\$ 12,987	2,374	-1%	

Nota: +: Incremento (verde), -: decremento (rojo) en los beneficios netos.

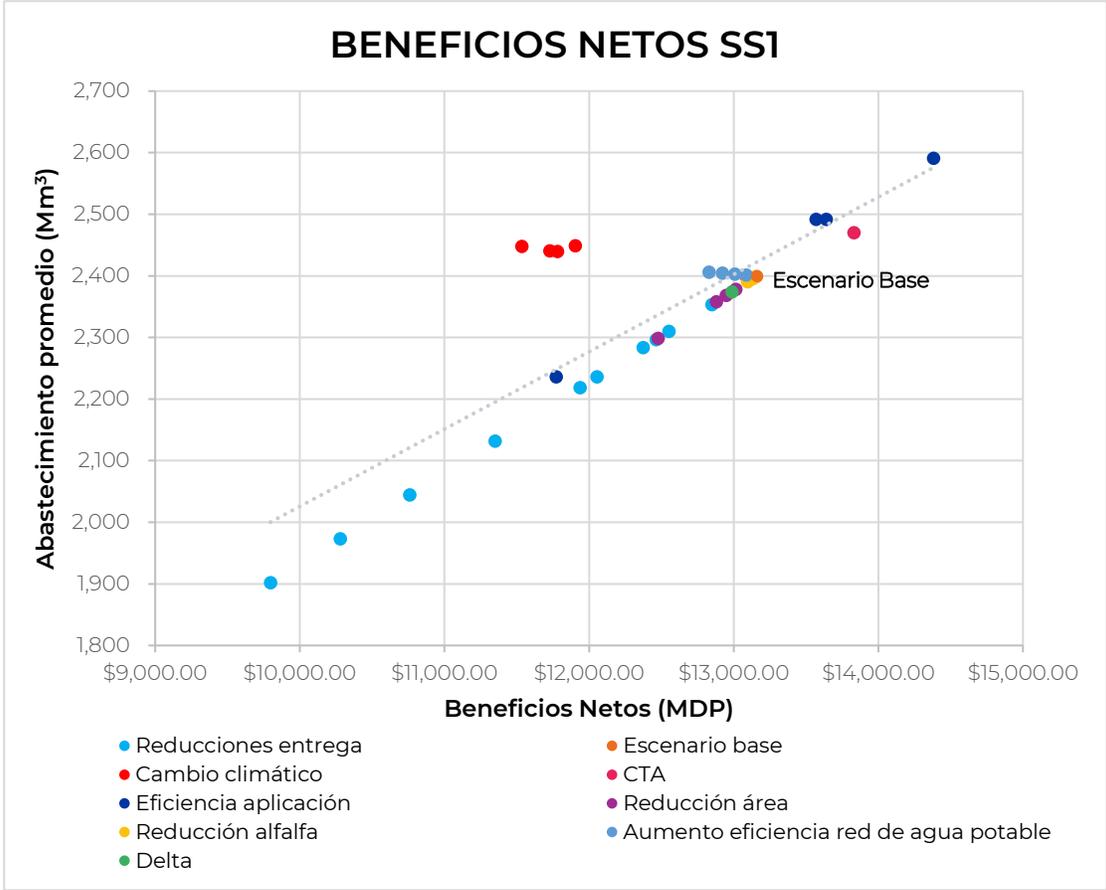
De acuerdo con las proyecciones para el 2025, se espera tener una reducción de 346 Mm<sup>3</sup> en las entregas de aguas del Río Colorado, lo que se traduce a una disminución del 26% de los beneficios netos (BN) en el SS1, además de ser el escenario con el IS más bajo de 43% (ver Figura 20)



**Figura 20.** Beneficios Netos con las reducciones en las entregas del Río Colorado en México

La Figura 21 muestra la relación entre los beneficios netos y el abastecimiento promedio de agua para los escenarios aplicados al SS1. En general, la mayoría de los escenarios siguen una tendencia lineal, donde los beneficios netos aumentan proporcionalmente con el abastecimiento del agua. Sin embargo, se destacan los puntos en rojo que corresponden al escenario del cambio climático (aumento en la evapotranspiración). A pesar de tener un abastecimiento parecido al del escenario base, sus beneficios son menores, esto refleja que, debido al cambio climático, los

cultivos requieren más agua y a pensar de contar con la misma cantidad de agua o incluso más, la productividad se ve reducida. En el DR-014, la mayor evapotranspiración de los cultivos resulta en una pérdida de al menos un 10% en los beneficios netos. Es importante destacar que el cambio climático no es un escenario hipotético, sino una realidad que ya estamos experimentando, como consecuencias directas sobre la productividad.



**Figura 21.** Beneficios Netos del Río Colorado

El escenario de revestimiento del CTA, más que un escenario futuro es un análisis en retrospectiva. Los resultados muestran un incremento del 5% en los beneficios netos, lo cual refleja la pérdida que se tuvo debido al revestimiento del CTA, que de acuerdo con García, López y Navarro (2009) contribuía al 14% de la recarga total del acuífero.

En cuanto a la eficiencia de aplicación (representada por los puntos azul marino Figura 21), se observó que los beneficios netos podrían aumentar entre un 3 y un 9 %. Sin embargo, si se aplicara un aumento del 10% en la

eficiencia, se produciría a un decremento casi equivalente en los beneficios netos, es decir una pérdida del 11%. Esto se debe a que la mayor eficiencia de aplicación reducirá la recarga al acuífero, lo que impactaría negativamente en los beneficios económicos a largo plazo.

Por otro lado, una reducción del 10% en el área total irrigada podría implicar una pérdida del 5% de los beneficios netos. Sin embargo, este es el escenario individual del SS1 con el mejor índice de sustentabilidad (IS), alcanzando un 94% (IS: 68% Escenario base). En otras palabras, incrementar el IS en un 26% en este escenario conlleva un costo del 5% en los beneficios netos. En contraste, en el escenario de reducción del área dedicada a la alfalfa, no se observa una variación en los beneficios netos del subsistema, aunque el IS disminuye en un 3% en comparación con el escenario base.

El escenario de incrementar la eficiencia de la red de distribución no se muestra un cambio significativo, más bien la inversión trata de mantener los beneficios netos, teniendo un déficit del 3%.

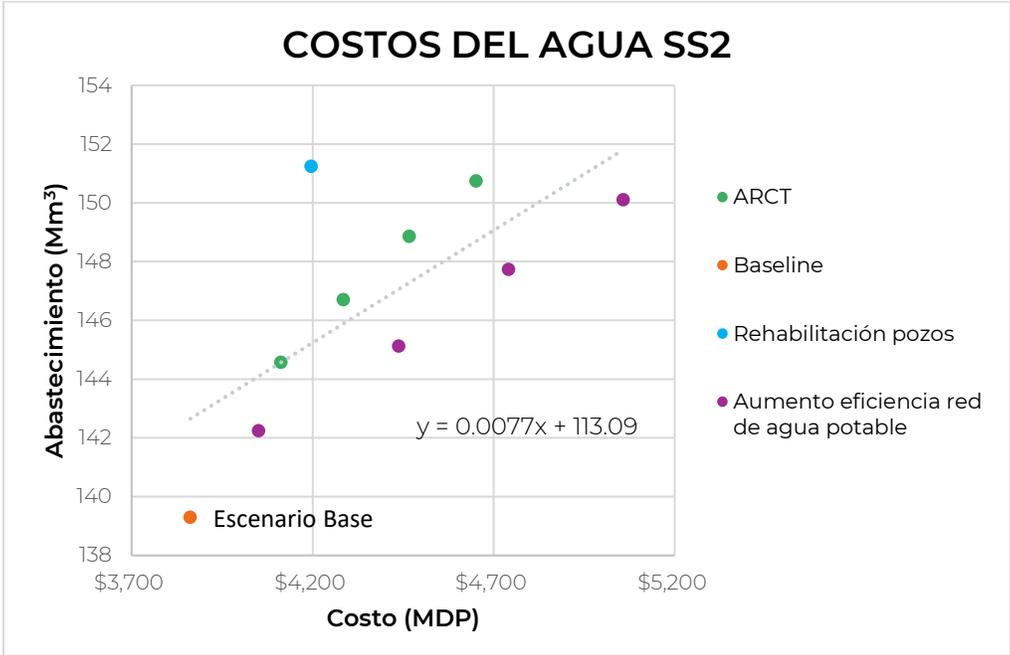
Finalmente, la asignación de 27.5 Mm<sup>3</sup> al Delta del Río Colorado es de los escenarios individuales que menos afecta en los beneficios del subsistema, además de que está estipulado por el acta 323.

A diferencia del SS1 y SS3, el SS2 presenta únicamente costos e inversiones. El incremento en la eficiencia de la red de distribución de agua presenta el mejor IS del subsistema con 75% los costos van de 5% al 31% dependiendo el incremento de la eficiencia. El aumentar la capacidad del ARCT incrementa los costos del 6 al 20% y la rehabilitación de pozos un 9%.

**Tabla 27.** Escenarios individuales del SS2

ESCENARIO	ESCENARIO BASE	ESCENARIO	BENEFICIOS NETOS (MDP)	ABASTECIMIENTO (Mm <sup>3</sup> )	IS (%)
Escenario base	NA	NA	\$3,862	139	33
Aumentar la capacidad del ARCT	Capacidad: 5333l/s	Incremento del 2.5-10%	\$4,113	145	47
			\$4,285	147	
			\$4,467	149	
			\$4,651	151	
Rehabilitación de pozos del acuífero de Tijuana	Uso del 0 l/s	Uso del 270 l/s	\$4,196	151	46
Incremento de la eficiencia de la red de distribución de agua (E <sub>n</sub> ) Tijuana	E <sub>n</sub> : 80%	Incremento del 2.5-10%	\$4,051	142	75
			\$4,438	145	
			\$4,742	148	
			\$5,058	150	

En la Figura 22 se observa que la rehabilitación de pozos (punto azul) tiene un mayor abastecimiento con un menor costo en comparación con los demás escenarios, tiene un IS del 46%.



**Figura 22.** Costos- Abastecimiento promedio en el SS2

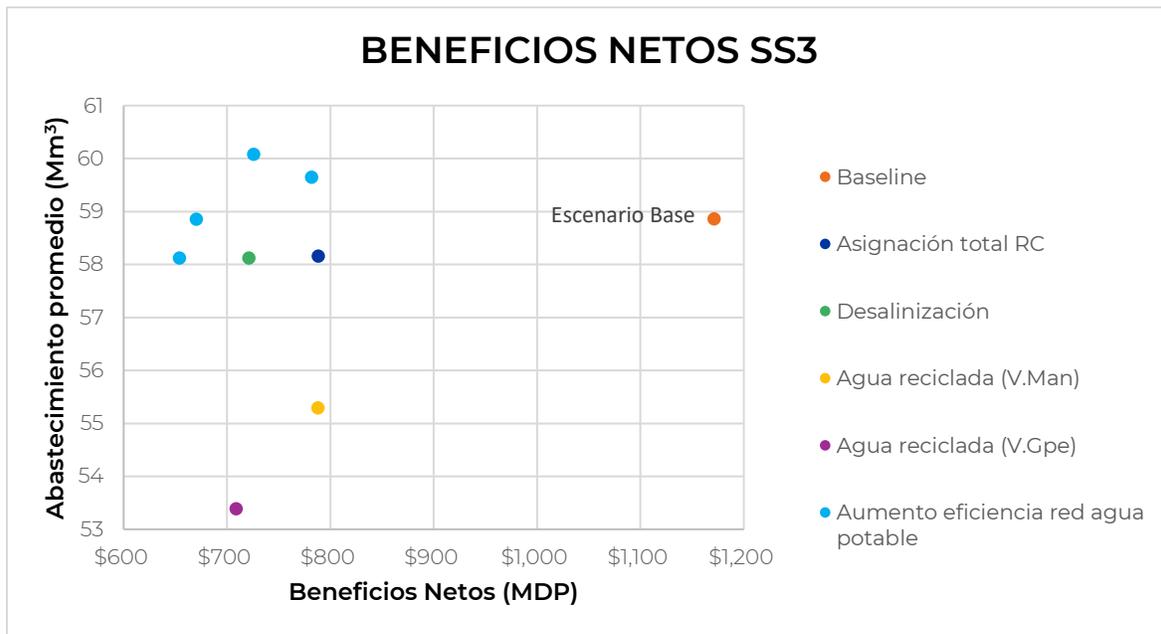
Para el SS3 todos los escenarios están por debajo del escenario base (Tabla 28) en cuanto a los beneficios netos, pero presentan una mejora en el IS. Aumentando la desalinización de agua de mar o si Ensenada recibe la asignación total se presenta un IS de 72%, pero se tienen mayores beneficios con la asignación total.

El escenario de reúso de agua residual tratada varía entre el Valle de Guadalupe y Valle de Maneadero. En el primero, se planea incrementar este uso, lo que resultaría en un aumento del 12% en el IS y generaría un beneficio neto de \$788. En contraste, el Valle de Maneadero, la implementación de este escenario incrementaría el IS un 21%, y el beneficio neto sería \$709.

Al incrementar la eficiencia de la red de distribución de agua, hay un decremento notable en los BN, oscilan entre 38% al 44% y el IS solo aumenta un 15%.

**Tabla 28.** Escenarios individuales del SS3

ESCENARIO	VALOR DEL ESCENARIO BASE	VALOR DEL ESCENARIO	BENEFICIOS NETOS (MDP)	ABASTECIMIENTO (Mm <sup>3</sup> )	IS (%)
Escenario base	NA	NA	\$1,171	59	40
Asignación total del río Colorado	Ensenada recibe 116 l/s	Ensenada recibe 285 l/s	\$788	58	72
Desalinización de agua de mar	Uso de 100 l/s / 170.33 l/s (2018-2022)	Uso de 250 l/s	\$721	58	72
Aumento de reúso de agua residual tratada en el Valle de Maneadero	Uso de 80 l/s	Uso de 200 l/s	\$788	55	52
Uso de reúso de agua residual tratada en el Valle de Guadalupe	Use of 0 l/s from Tijuana WWTP	Uso de 1000 l/s de Tijuana WWTP	\$709	53	61
Incremento de la eficiencia de la red de distribución de agua (E <sub>n</sub> ) Ensenada	En: 83%	Incremento del 2.5-10%	\$726	60	65
			\$782	60	
			\$670	59	
			\$654	58	



**Figura 23.** Beneficios Netos del SS3

En todos escenarios se requiere hacer una inversión por lo tanto los BN son menores al escenario base, sin embargo, son necesarios para mantener el abastecimiento promedio como se observa en la Figura 23.

### 4.2.3 Escenarios Combinados

Los escenarios combinados (meta escenarios) están representados por seis escenarios, considerando una disminución en el abastecimiento (reducciones, afectación por el cambio climático) y la implementación de acciones de manejo (Tabla 29).

**Tabla 29.** Meta Escenarios

ESCENARIO	DESCRIPCIÓN
Meta1	El sistema experimenta el cambio <b>más drástico</b> en la oferta (cambio en el abastecimiento debido a: máxima reducción y mayor afectación por el cambio climático). Sin acciones adicionales (manejo)
Meta2	El sistema experimenta el cambio <b>menos drástico</b> en la oferta (mínima reducción y menor afectación por el cambio climático). Sin acciones adicionales (manejo)
Meta3	Sistema experimenta el cambio <b>más drástico</b> en la oferta. Se toman las acciones de manejo más drásticas
Meta4	Sistema experimenta el cambio <b>más drástico</b> en la oferta. Se toman las acciones de manejo menos drásticas
Meta5	Sistema experimenta el cambio <b>menos drástico</b> en la oferta. Se toman las acciones de manejo más drásticas
Meta6	Sistema experimenta el cambio <b>menos drástico</b> en la oferta. Se toman las acciones de manejo menos drásticas

Las acciones de manejo más drásticas abarcan los escenarios con mayor impacto en la demanda de agua. Estas acciones drásticas incluyen, por ejemplo, una reducción máxima de hectáreas del 10%. Por otro lado, las acciones menos drásticas corresponden a estrategias de menor impacto y menor inversión en la demanda de agua. Por ejemplo, la reducción mínima del 2.5% en las hectáreas, y aplican de manera similar en los demás escenarios (ver Tabla 30).

**Tabla 30.** Indicador de color de los Meta Escenarios

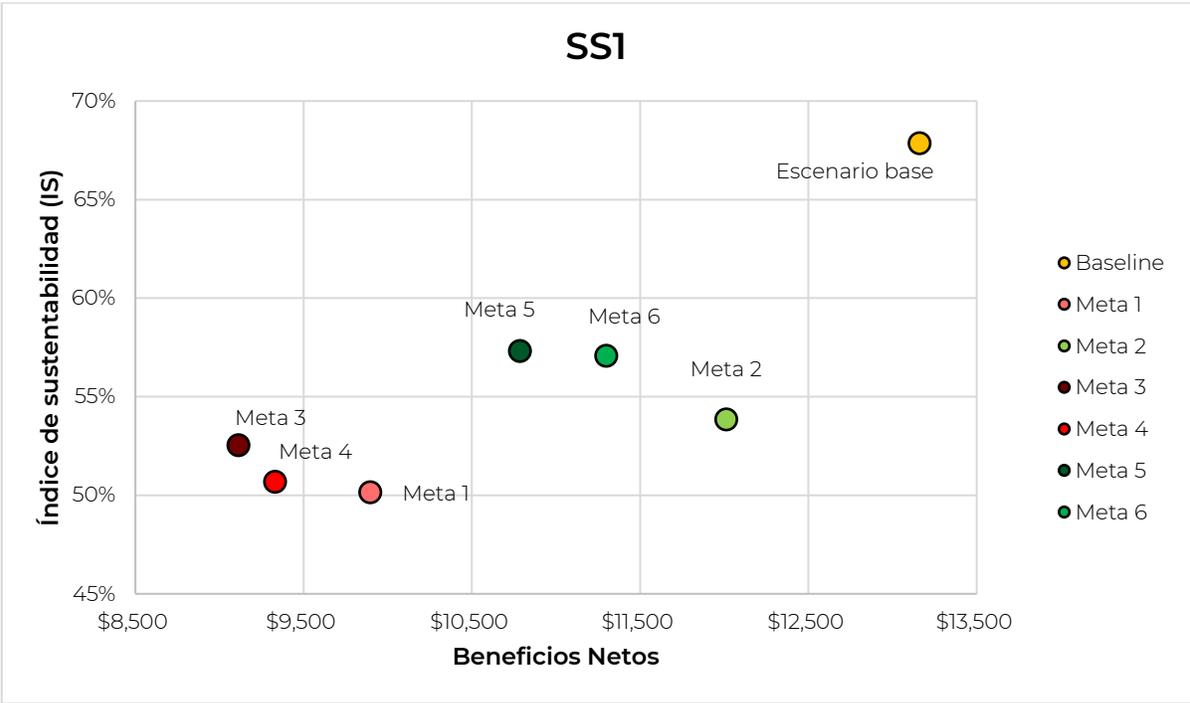
Escenario	Acciones		
	Sin acciones	Más drásticas	Menos drásticas
<b>Escenario base</b>			
Meta 1			
Meta 2			
Meta 3			
Meta 4			
Meta 5			
Meta 6			
Cambio en el abastecimiento	Indicador de color		
Más drástico			
Menos drástico			

El IS de todos los Meta Escenarios del SS1 están por debajo del escenario base, a diferencia del SS2 y SS3 que sí hay un incremento y superan los 90% y 80% del IS respectivamente, sin embargo, los beneficios netos obtenidos son menores para todas las permutaciones en el SS1 y SS3 y el costo-inversión mayor en el SS2.

**Tabla 31.** Beneficios Netos-IS del sistema del Río Colorado en México

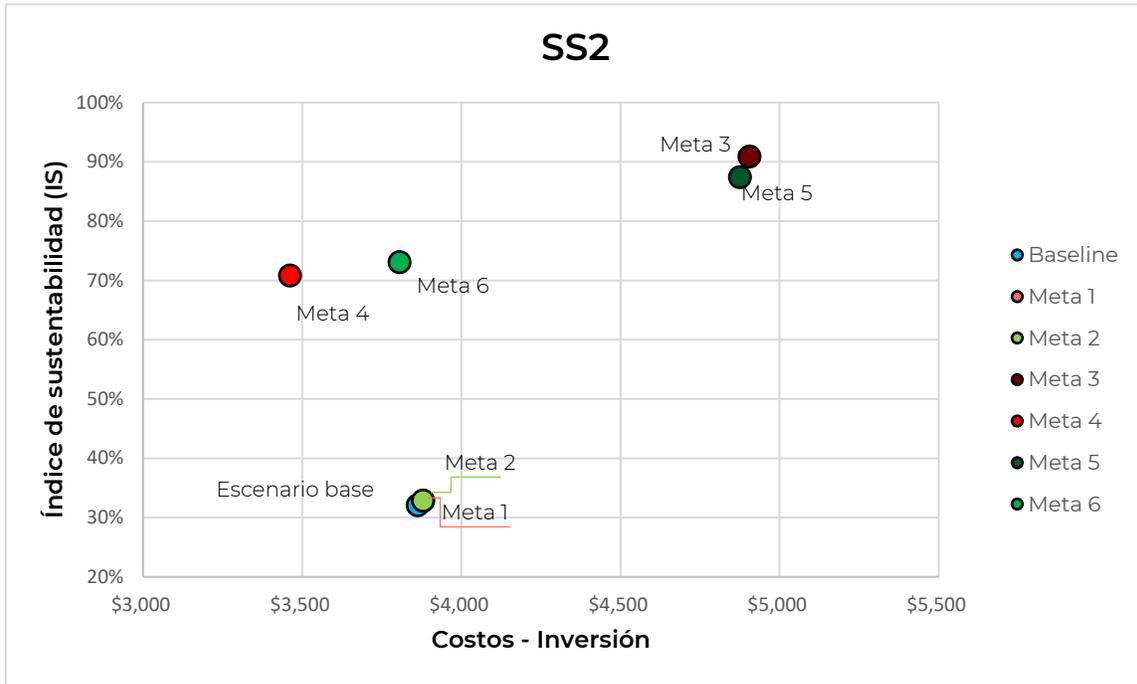
SS1	Beneficios Netos (MDP)	IS (%)
<b>Escenario base</b>	<b>\$13,160</b>	<b>68%</b>
Meta 1	\$9,896	50%
Meta 2	\$12,010	54%
Meta 3	\$9,111	53%
Meta 4	\$9,330	51%
Meta 5	\$10,784	57%
Meta 6	\$11,298	57%
SS2	Costos (MDP)	IS (%)
<b>Escenario base</b>	<b>\$3,862</b>	<b>32%</b>
Meta 1	\$3,879	33%
Meta 2	\$3,879	33%
Meta 3	\$4,905	91%
Meta 4	\$3,461	71%
Meta 5	\$4,875	87%
Meta 6	\$3,805	73%
SS3	Beneficios Netos (MDP)	IS (%)
<b>Escenario base</b>	<b>\$1,171</b>	<b>40%</b>
Meta 1	\$1,074	38%
Meta 2	\$1,086	40%
Meta 3	\$718	87%
Meta 4	\$724	82%
Meta 5	\$718	87%
Meta 6	\$761	84%

Debido a las reducciones en la entrega de agua del Río Colorado, el SS1 se ve altamente vulnerado y ni con las reducciones de área cultivada, la eficiencia de aplicación en los cultivos o cualquier otro escenario propuesto en este trabajo logra igualar o superar el IS del escenario base (Figura 24). Si se considera el escenario más positivo en el abastecimiento (reducción en las entregas de  $-51 \text{ Mm}^3$ , incremento de la evapotranspiración de solo el 2.5%), el IS estaría 14% por debajo del escenario base. Por consecuencia los beneficios netos se reducen en por lo menos 9% (Meta 2). En el escenario más drástico en abastecimiento, se tiene un IS del 50% (Meta 1) lo que equivale un 18% menos del escenario base, pero al implementar acciones aumentaría al 53% (Meta 3), lo que costaría 6% de los beneficios netos.



**Figura 24.** Beneficios Netos SS1 (escenarios combinados)

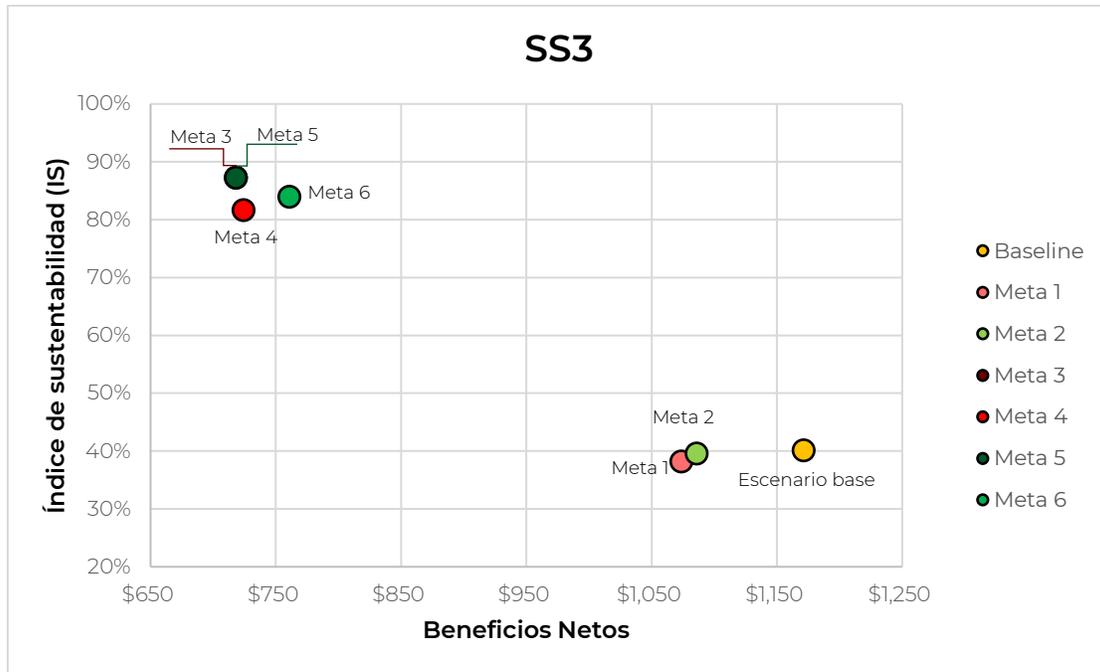
El SS2 representa únicamente costos e inversión, en el caso de los escenarios Escenario base, Meta 1 y Meta 2 no tiene ninguna inversión, ya que se consideran acciones, entonces solo serían costos, pero en el caso de los Meta 3,4,5 y 6 es una combinación de Costos e Inversión (Figura 25).



**Figura 25.** Costos e Inversión del SS2 (escenarios combinados)

El Escenario base, Meta 1 y 2, se encuentran prácticamente en las mismas condiciones de costos e IS (32-33%), Meta 4 y 6 (71-73%), y el Meta 3 y 5 (91 y 97%) estos dos últimos sienten los más costos, debido a que son los que tienen una mayor inversión.

En el SS3, la gráfica en dos bloques (Figura 26), los escenarios que no tienen acciones (Escenario base, Meta 1 y Meta 2), y los que tienen acciones (Meta 2, Meta 3, Meta 4, Meta 5, Meta 6), el primer bloque tiene mayores beneficios netos, pero el IS es muy bajo (38-40%) en comparación con el segundo bloque que su IS llega hasta un 87%, aunque disminuye hasta un 39% de los BN.



**Figura 26.** Beneficios Netos SS2 (escenarios combinados)

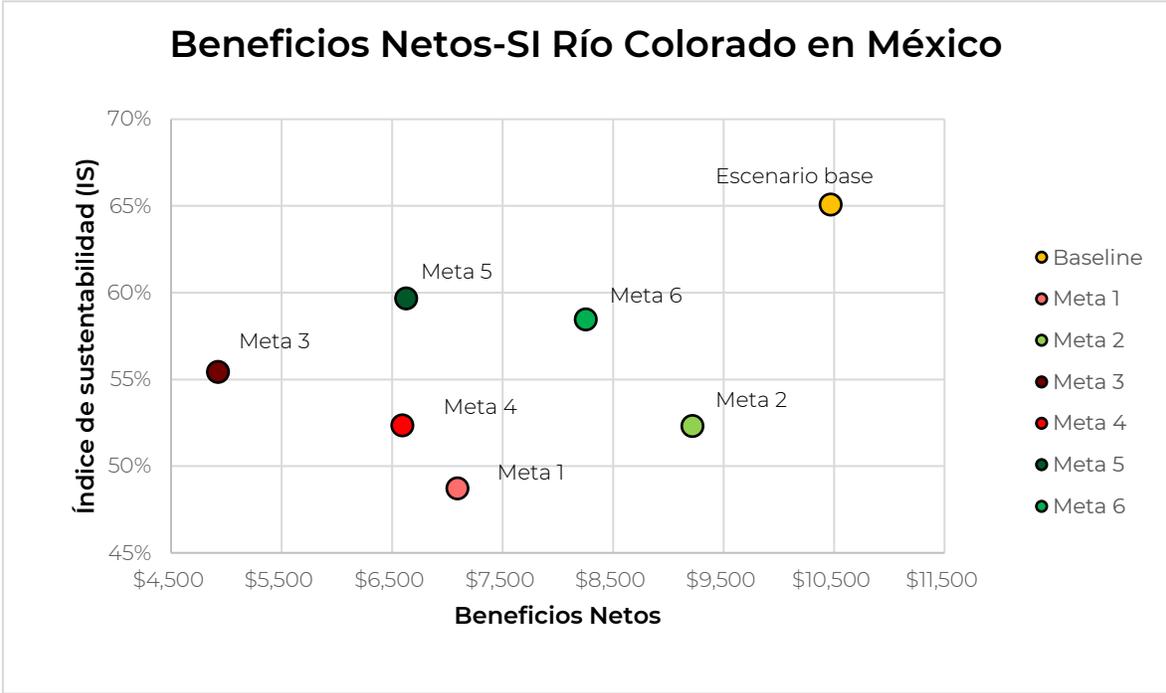
El resumen de los escenarios combinados del sistema total queda de la siguiente manera (ver Tabla 32), todos los metas están por debajo del IS del escenario base, sin embargo, hay que considerar que el escenario base no está considerando el cambio climático (que ya está presente), ni reducciones en las entregas de agua (acta 323 y 330).

**Tabla 32.** Beneficios Netos-IS en la cuenca del Río Colorado en México (escenarios).

ESCENARIOS	BENEFICIOS NETOS	IS*
Escenario base	\$ 10,469	65%
Meta1	\$ 7,249	49%
Meta2	\$ 9,216	52%
Meta3	\$ 5,050	55%
Meta4	\$ 6,593	52%
Meta5	\$ 6,752	60%
Meta6	\$ 8,420	58%

Nota: \*IS: Índice de Sustentabilidad

Los metas con mayor IS son el 5 y 6 los cuales consideran la evapotranspiración en cultivos más baja y la reducción menor, lo cual serían los escenarios “más favorables”, considerando la situación actual y las tendencias en los niveles de la presa Hoover.

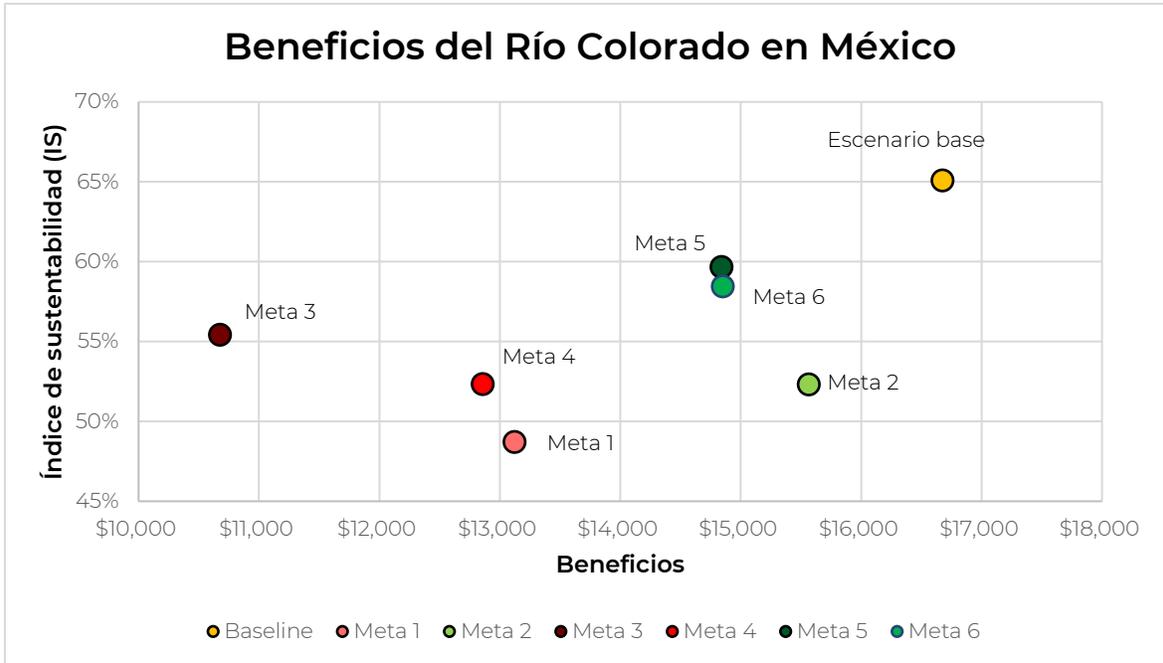


**Figura 27.** Beneficios Netos del Río Colorado en México.

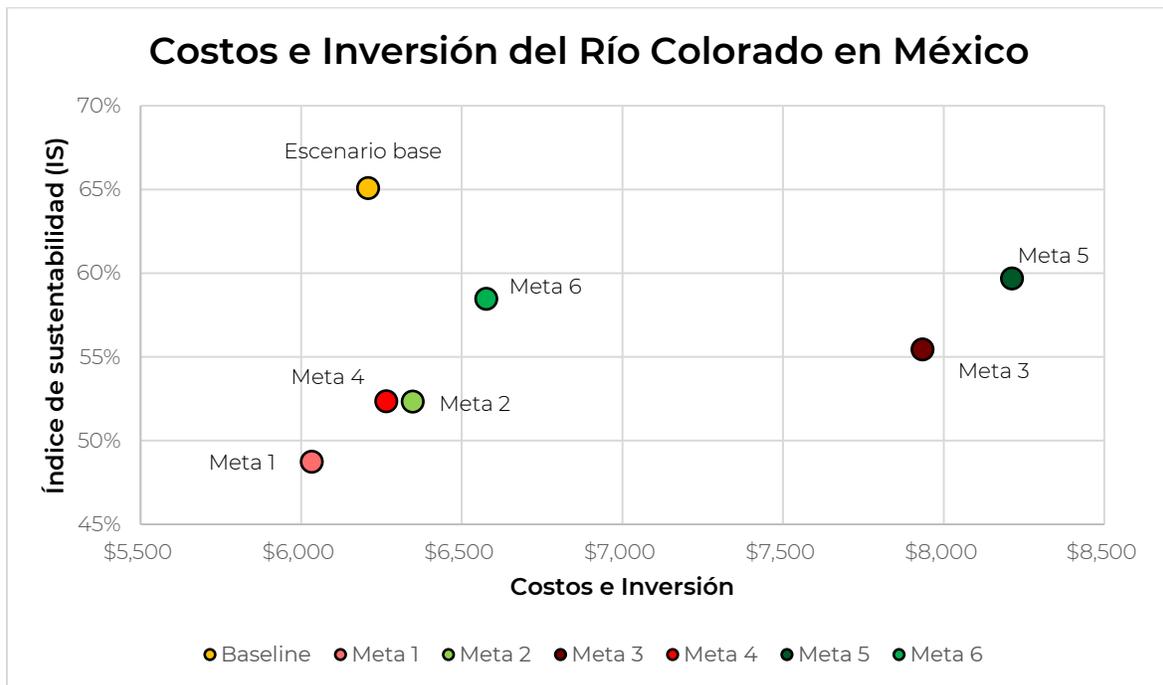
Los Meta Escenarios con cambios más drásticos en la oferta, son el Meta 1, Meta 3 y Meta 4, es por lo que tienen menores beneficios, como se observa en la Figura 28, en contraste con los Meta Escenarios con cambios menos drásticos en la oferta, que son el Meta 1, Meta 5 y Meta 6.

Los Meta 3 y Meta 5 son los escenarios con un costo mayor y con mayor inversión, estos son los que aplican las acciones más drásticas (Figura 29).

Haciendo una consolidación de los resultados, obtenemos que, si se aplica la reducción más drástica (-346 Mm<sup>3</sup>), el Meta 4 (acciones menos drásticas) es el más recomendable y si se aplica la reducción menos drástica (-51Mm<sup>3</sup>), es el Meta 6 (acciones menos drásticas), porque cuesta menos el incremento del IS.



**Figura 28.** Beneficios de Río Colorado en México



**Figura 29.** Costos e Inversión en el Río Colorado en México

---

## 5. DISCUSIONES

### 5.1 Reducciones en el Río Colorado

La disminución en la disponibilidad de agua en la cuenca del río Colorado ocasionada por la reducción en las asignaciones binacionales y los efectos del cambio climático tiene impacto en la seguridad hídrica de los usuarios en México. Este análisis evidencia que los sectores agrícola y urbano enfrentan desafíos considerables para mantener su productividad económica y garantizar la sostenibilidad del recurso hídrico.

Se desarrolló un modelo hidro-económico con el propósito de abordar la escasez hídrica en la cuenca del Río Colorado, optimizando la relación costo-beneficio y promoviendo la sostenibilidad del recurso hídrico en México. Este modelo consideró las reducciones en las asignaciones de agua debido al acta 323 y 330, los aumentos de evapotranspiración esperados por el cambio climático, y otros estresores, permitiendo cuantificar el abastecimiento de agua de los diferentes usuarios del Río Colorado en México. Además, se obtuvieron las productividades de los usuarios agrícolas, los costos del agua de los usuarios urbanos y las inversiones necesarias para los escenarios propuestos.

El sector agrícola del DR-014 es particularmente vulnerable debido al uso intensivo del agua. El cultivo de trigo, que consume un volumen estimado de 643 Mm<sup>3</sup>, se alinea con datos reportados previamente (Flores et al., 2016; Camacho, 2010; CONAGUA, 2009). Sin embargo, a pesar de su alta demanda de agua, la productividad económica de este cultivo es baja, alcanzando **\$3.06/m<sup>3</sup>**, valor cercano al reportado por Flores et al. (2016) (\$2.39/m<sup>3</sup>). En contraste, cultivos como el espárrago en el Valle de Maneadero (\$71.40/m<sup>3</sup>) y la vid en el Valle de Guadalupe (\$22.84/m<sup>3</sup>) presentan una productividad alta a pesar de utilizar menos del 2% del agua demandada en el DR-014. Estas regiones agrícolas han adoptado medidas para optimizar el uso del recurso hídrico, como la tecnificación de los sistemas de riego (por goteo) y el reúso de aguas residuales tratadas.

Además, considerando las proyecciones de reducción en los niveles de la presa Hoover las reducciones podrían estar oscilando de 128 a 199 Mm<sup>3</sup> lo que representa pérdidas del 5 al 9% de los beneficios netos del SS1, afectando directamente al sector agrícola. Para 2025, con la implementación del acta 330, se estima una reducción máxima de 346

---

Mm<sup>3</sup>, equivalente al 26% de los beneficios netos agrícolas, lo que supone un desafío para este sector.

Entre los escenarios evaluados, la reducción del área irrigada mostró el mayor aumento en el índice de sustentabilidad del DR-014, con una pérdida máxima proyectada del 5% en los beneficios netos.

En el acta 330, firmada el 21 de marzo del presente año, disminuye la asignación de agua a México, adicional al acta 323 firmada en el 2017. Se pretende tener un ahorro de un volumen acumulado (2024 a 2026) de 493 Mm<sup>3</sup>, lo que equivale al abastecimiento acumulado de Mexicali y SLRC.

Como compensación, el país vecino otorgará 65MDD al gobierno mexicano por el ahorro de los 493Mm<sup>3</sup> es decir un precio de \$2.5 por m<sup>3</sup> (tipo de cambio \$19MXN). Sin embargo, se reporta que la USBR pagará 776 dólares por acre-pie (\$11.95 por m<sup>3</sup>) a sus propios usuarios, cinco veces más que la compensación recibida por México. En contraste, el costo promedio del agua en Mexicali es de \$11.51 por m<sup>3</sup>.

Para los subsistemas SS2 (Tecate y Tijuana/Playas de Rosarito) y SS3 (Ensenada, Valle de Guadalupe y Valle de Maneadero) se determinó que la combinación de las estrategias propuestas, mejoran su desempeño sustentable. Para el SS2, las estrategias más efectivas incluyen el aumento en la eficiencia en la red urbana, la rehabilitación de pozos y el aumento en la capacidad del Acueducto Río Colorado-Tijuana (ARCT) Y en el SS3, la combinación de estrategias de reúso de aguas residuales tratadas, el aumento en la capacidad de una planta desaladora, el aumento en la eficiencia de la red y la asignación completa del acuífero de SLRC, mejoran significativamente el desempeño del subsistema. En ambos subsistemas se recomienda iniciar por las acciones menos drásticas debido a que su costo unitario es menor en comparación con las acciones más drásticas.

## **5.2 Limitaciones del modelo**

El modelo hidro-económico desarrollado proporciona una base sólida para analizar los impactos de la escasez hídrica y evaluar estrategias de manejo, pero presenta limitaciones que deben abordarse en futuras investigaciones.

Aunque el cambio climático fue considerado, es necesario integrar su impacto desde el escenario base, debido a que es un escenario actual y permitiría analizar de manera más completa su progresión temporal.

---

Además, en el estudio no se incluyeron costos específicos según el sistema de riego, lo que limita la precisión del análisis económico en zonas con infraestructura variada, como los valles de Guadalupe y Maneadero.

Finalmente es importante incluir diversos factores como: las diferentes productividades como sociales, horarias (cantidad de horas de trabajo), para hacer un análisis a con mayor detalle del costo-beneficio, en este se podrían integrar los empleos generados, horas invertidas de trabajo, y su ganancia, entre otros.

---

## CONCLUSIONES

El Estado de Baja California y San Luis Río Colorado son altamente vulnerables ya que dependen de fuentes externas para el suministro del agua y la principal fuente es el Río Colorado. Este riesgo se agrava con el avance del cambio climático, los procesos antrópicos y las decisiones de manejo, poniendo en evidencia la necesidad de estrategias integrales para gestionar este recurso crítico.

En respuesta, se desarrolló un modelo hidro-económico que busca auxiliar el proceso de toma de decisiones considerando los efectos adversos y formas de optimizar la relación costo-beneficio en la región de estudio.

Es un hecho que el Distrito de Riego 014 se verá afectado, a pesar de todas las posibles combinaciones de escenarios, se genera un déficit, y la causa principal son las reducciones en la asignación del Río Colorado. Las reducciones actuales ya generan una pérdida de más de un 25% en los beneficios netos del distrito, disminuyendo su IS a un 43%. Aunque las estrategias propuestas no logran restablecer la productividad agrícola a niveles óptimos, la inacción conduciría a un punto crítico de difícil retorno.

Con relación a Tecate, Tijuana y Playas de Rosarito hay una mejora en el IS de 32% a 91%, esto generaría un cambio en el costo y una inversión, que oscila del 5% al 30% dependiendo la combinación de estrategias. Las acciones para tomar pueden ser la rehabilitación de pozos, la ampliación de la capacidad del ARCT o el aumento en la eficiencia de la red de distribución de las ciudades.

Ensenada y sus valles son los últimos usuarios en el sistema del Río Colorado, en este caso el objetivo es mantener su abastecimiento, en el orden de prioridad de acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales (LAN) priorizando a la ciudad de Ensenada, por tal motivo sus beneficios netos disminuyen, ya que se requiere de inversiones, para aumentar la eficiencia en la red de distribución, el uso de reúso de agua para los valles, aumento de la capacidad de la planta desalinizadora y la asignación completa de los recursos del Río Colorado, con estas estrategias el IS aumenta a un 87%.

En conjunto, las estrategias propuestas demuestran que, aunque no es posible eliminar completamente los desafíos asociados a la disponibilidad de agua, es factible reducir su impacto y mejorar la sustentabilidad del sistema mediante una gestión integral basada en criterios hidrológicos, económicos y ambientales.

---

## BIBLIOGRAFÍA

- Amin, A., Iqbal, J., Asghar, A., & Ribbe, L. (2018). Analysis of current and future water demands in the upper indus basin under IPCC climate and socio-economic scenarios using a hydro-economic WEAP model. *Water*, 10(5), 537. <https://doi.org/10.3390/w10050537>
- Bekchanov, M., Sood, A., Pinto, A., & Jeuland, M. (2017). Systematic review of water-economy modeling applications. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000793](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000793)
- Cáñez Cota, A. (2022). Confianza en la gobernanza de aguas transfronterizas México-Estados Unidos: El caso de Tijuana-San Diego. *Norteamérica*, 17(1). <https://doi.org/10.22201/cisan.24487228e.2022.1.572>
- Castle, S. L., Thomas, B. F., Reager, J. T., Rodell, M., Swenson, S. C., & Famiglietti, J. S. (2014). Groundwater depletion during drought threatens future water security of the Colorado River Basin. *Geophysical Research Letters*, 41(16), 5904–5911. <https://doi.org/10.1002/2014GL061055>
- CCA. (2020). *Radiografía del agua en México (infografía)*. Consejo Consultivo del Agua . [pactosocialagua.mx](http://pactosocialagua.mx)
- CEABC. (2018). *Programa hídrico del estado de Baja California visión 2023*. <https://consejociudadanobc.org/wp-content/uploads/2021/09/PLAN-HIDRICO-ESTATAL-RESUMEN-EJECUTIVO-PHEBC.pdf>
- Cervantes, A. H. (2024, 14 mayo). ¿Cuál es la diferencia entre valor presente y valor futuro? Soc Asesores. <https://blog.socasesores.com/cual-diferencia-valor-presente-valor-futuro/>
- CILA. (2023, November 6). *Comisión Internacional de Límites y Aguas entre México y Estados Unidos*. Distribución de Las Aguas Del Río Colorado.
- CONAGUA (2023). Estadísticas agrícolas de los distritos de riego. Recuperado el 12 de agosto del 2023, de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/estadisticas-agricolas-de-los-distritos-de-riego>
- CONAGUA. (2023, December 14). *Monitor de sequías de America del Norte*. Comisión Nacional Del Agua.

---

<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/monitor-de-sequia/monitor-de-sequia-de-america-del-norte>

- Cortez Lara, A. A., & Castro Ruíz, J. L. (2020). *Cambio climático y riego: retos para la gobernanza y adaptación institucional en el manejo de aguas transfronterizas del bajo Río Colorado en el Valle de Mexicali*.
- D'Agostino, D. R., Scardigno, A., Lamaddalena, N., & El Chami, D. (2014). Sensitivity Analysis of Coupled Hydro-Economic Models: Quantifying Climate Change Uncertainty for Decision-Making. *Water Resources Management*, 28(12), 4303–4318. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0748-2>
- Dinar, A. (2012). *Economy-wide implications of direct and indirect policy interventions in the water sector*. <http://econ.worldbank.org>.
- Escriva-Bou, A., Pulido-Velazquez, M., & Pulido-Velazquez, D. (2017). Economic value of climate change adaptation strategies for water management in Spain's Jucar Basin. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 143(5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000735](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000735)
- Essenfelder, A. H., Pérez-Blanco, C. D., & Mayer, A. S. (2018). Rationalizing systems analysis for the evaluation of adaptation strategies in complex human-water systems. *Earth's Future*, 6(9), 1181–1206. <https://doi.org/10.1029/2018EF000826>
- Esteve, P., Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., & Downing, T. E. (2015). A hydro-economic model for the assessment of climate change impacts and adaptation in irrigated agriculture. *Ecological Economics*, 120, 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.09.017>
- Expósito, A., Beier, F., & Berbel, J. (2020). Hydro-economic modelling for water-policy assessment under climate change at a river basin scale: A review. In *Water (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 6, pp. 1–18). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/W12061559>
- Flores, J. L. R., Moreno, M. T., Torres, J. R., & Moreno, M. A. T. (2016). Efficiency and productivity of water irrigation in wheat (*Triticum vulgare*) from Ensenada and Valle de Mexicali, Baja California, Mexico. *Acta Universitaria*, 26(1), 20-29. <https://doi.org/10.15174/au.2016.825>
- García García, A., & Kauffer Michel, E. F. (2011). Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: Un acercamiento a su delimitación y problemática general Transboundary Rivers Basins between Mexico,

---

Guatemala and Belize: From Demarcation to General Issues. In *NÚM* (Vol. 23).

- Gómora Alarcón, J. (2014). La ribera mexicana del Río Suchiate, territorio fronterizo en extinción. *Revista Pueblos y Fronteras Digital*, 9(17), 59. <https://doi.org/10.22201/cimsur.18704115e.2014.17.63>
- Harou, J. J., Medellín-Azuara, J., Zhu, T., Tanaka, S. K., Lund, J. R., Stine, S., Olivares, M. A., & Jenkins, M. W. (2010). Economic consequences of optimized water management for a prolonged, severe drought in California. *Water Resources Research*, 46(5). <https://doi.org/10.1029/2008WR007681>
- Harou, J. J., Pulido-Velazquez, M., Rosenberg, D. E., Medellín-Azuara, J., Lund, J. R., & Howitt, R. E. (2009). Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology*, 375(3–4), 627–643. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.037>
- Herman, J. D., Fefer, M., Dogan, M., Jenkins, M., Medellín-Azuara, J., & Lund, J. (2018). Advancing hydro-economic optimization to identify vulnerabilities and adaptation opportunities in California's water system. *Report for California's Fourth Climate Change Assessment*.
- Hernández-Cruz, Samuel Sandoval-Solís, Leopoldo G. Mendoza-Espinosa, Jorge Ramírez-Hernández, Josué Medellín-Azuara and Luis W. Daesslé. (2023) Assessing water management strategies under water scarcity in the Mexican portion of the Colorado River Basin. *Water Resources Planning and Management*.
- Hinojosa-Huerta, O., & Carrillo-Guerrero, Y. (2010). La cuenca binacional del Río Colorado. In *Las cuencas hidrográficas en México diagnóstico y priorización* (Vol. 1, pp. 180–189). [www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/flora\\_fau-](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/flora_fau-)
- Hurd, B., & Coonrod, J. (2012). Hydro-economic consequences of climate change in the upper Rio Grande. *Climate Research*, 53(2), 103–118. <https://doi.org/10.3354/cr01092>
- IMTA. (2019, June 18). *Sequías*. Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua. <https://www.gob.mx/imta/articulos/que-son-las-sequias?idiom=es>
- IMTA. (2020). *El agua en el Valle de Mexicali, Baja California: origen, uso y destino*. [www.gob.mx/imta](http://www.gob.mx/imta)

- 
- INEGI (2024). Índice Nacional de Precios al Consumidor  
<https://www.inegi.org.mx/temas/inpc/>
- Jeuland, M. (2010). Economic implications of climate change for infrastructure planning in transboundary water systems: An example from the Blue Nile. *Water Resources Research*, 46(11).  
<https://doi.org/10.1029/2010WR009428>
- Kahil, M. T., Dinar, A., & Albiac, J. (2015). Modeling water scarcity and droughts for policy adaptation to climate change in arid and semiarid regions. *Journal of Hydrology*, 522, 95–109.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.042>
- Kahil, M. T., Ward, F. A., Albiac, J., Eggleston, J., & Sanz, D. (2016). Hydro-economic modeling with aquifer–river interactions to guide sustainable basin management. *Journal of Hydrology*, 539, 510–524.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.057>
- Kreins, P., Henseler, M., Anter, J., Herrmann, F., & Wendland, F. (2015). Quantification of climate change impact on regional agricultural irrigation and groundwater demand. *Water Resources Management*, 29(10), 3585–3600. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1017-8>
- Krutilla, J. V., & Eckstein, O. (1958). *River Development* (Hopkins Johns, Ed.; 1969th ed.). Resources for the future, inc.
- Kuhn, E., & Fleck, J. (2019). *Science be dammed*. University of Arizona Press.  
<https://doi.org/10.2307/j.ctvq4c1gr>
- Loucks, D. P. 1997. “Quantifying trends in system sustainability.” *Hydrol.Sci. J.*, 42(4), 513–530
- Medellín-Azuara, J., Mendoza-Espinosa, L. G., Lund, J. R., Harou, J. J., & Howitt, R. E. (2009). Virtues of simple hydro-economic optimization: Baja California, Mexico. *Journal of Environmental Management*, 90(11), 3470–3478. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.05.032>
- Mendivil-García, K., Amábilis-Sosa, L. E., Roé-Sosa, A., & Hermosillo-Nevárez, J. J. (2023). Gestión de presas para el abastecimiento del sector agroalimentario ante el fenómeno de sequía. In *Gestión integral de sequías* (Vol. 22, pp. 44–51). Impluvium, Publicación Digital de la Red del Agua UNAM.
- Meran, G., Siehlow, M., & Von Hirschhausen, C. (2021). *The Economics of Water: Rules and Institutions*. Springer.

- 
- Milly, P. C. D., & Dunne, K. A. (2020). Colorado River flow dwindles as warming-driven loss of reflective snow energizes evaporation. *Science*, 367(6483), 1252–1255. <https://doi.org/10.1126/science.aay9187>
- Morrison, J., L. Postel, S., & Gleick, P. (1996). *The sustainable use of water in the Lower Colorado River Basin*.
- National Research Council. (2007). *Colorado River Basin water management: evaluating and adjusting to hydroclimatic variability (2007)*. National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11857>
- Reynaud, A., & Leenhardt, D. (2008). MoGIRE: A model for integrated water management. *In Proceedings of 4th International Congress on Environmental Modelling and Software*, 7–10.
- Rupérez-Moreno, C., Senent-Aparicio, J., Martínez-Vicente, D., García-Aróstegui, J. L., Calvo-Rubio, F. C., & Pérez-Sánchez, J. (2017). Sustainability of irrigated agriculture with overexploited aquifers: The case of Segura basin (SE, Spain). *Agricultural Water Management*, 182, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.008>
- Ostria Trigo, M., (2008). El tratado boliviano – chileno de 20 de octubre de 1904. Consideraciones jurídicas. *Revista Boliviana de Derecho*, (6), 57-70.
- Sandoval-Solis, S., McKinney, D.C., Loucks, D.P., 2011. Sustainability index for water resources planning and management. *J. water Resour. Plan. Manag.* 137, 381–390.
- Sandoval Solis, S. (2011). “Water Planning and Management for Large Scale River Basins. Case of study: Rio Grande/Rio Bravo transboundary basin.” Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, Austin, TX
- Sandoval-Solís, S., Mendoza- Espinosa, L., & Hernández-Cruz, A. (2024). Explicación sobre la reducción de la asignación de agua a México del Río Colorado en el marco del Tratado de 1944: Actas 330 y 323. In *Binational Waters*.
- Sy-Corvo. (20 de mayo de 2021). Análisis de sensibilidad. Recuperado de: <https://www.lifeder.com/analisis-sensibilidad/>.
- SEI. (2023). *WEAP*. Stockholm Environment Institute. <https://www.weap21.org/index.asp?NewLang=ES>
- Souza da Silva, G. N., & de Moraes, M. M. G. A. (2018). Economic water management decisions: trade-offs between conflicting objectives in the

---

sub-middle region of the São Francisco watershed. *Regional Environmental Change*, 18(7), 1957–1967. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1319-5>

SRE a. (2014, March 1). SRE. Secretaría de Relaciones Exteriores. <https://www.gob.mx/sre/en/acciones-y-programas/la-cila-y-los-tratados-y-convenciones-entre-mexico-y-estados-unidos-en-materia-de-limites-y-distribucion-de-aguas-de-rios-internacionales>

SRE b. (2015, July 31). *Tratado de aguas de 1944*. Secretaría de Relaciones Exteriores. <https://www.gob.mx/sre/documentos/tratado-de-aguas-de-1944>

SRE c. (2023). *Río Colorado*. Secretaría de Relaciones Exteriores. <https://portales.sre.gob.mx/mex-eua/images/stories/PDF/RioColoradonuevo.pdf>

Tanaka, S. K., Zhu, T., Lund, J. R., Howitt, R. E., Jenkins, M. W., Pulido, M. A., Tauber, M., Ritzema, R. S., & Ferreira, I. C. (2006). Climate warming and water management adaptation for California. *Climatic Change*, 76(3–4), 361–387. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9079-5>

Tilmant, A., Arjoon, D., & Marques, G. F. (2014). Economic Value of Storage in Multireservoir Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 140(3), 375–383. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000335](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000335)

Tilmant, A., & Kelman, R. (2007). A stochastic approach to analyze trade-offs and risks associated with large-scale water resources systems. *Water Resources Research*, 43(6). <https://doi.org/10.1029/2006WR005094>

USBR. (2023, May 9). *Bureau of Reclamation*. Lower Colorado River; Upper Colorado River.

Varela-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., Swartz, C. H., & Downing, T. E. (2011). Balancing groundwater conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties: An integrated hydro-economic modeling framework. *Global Environmental Change*, 21(2), 604–619. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.12.001>

Xie, M. (2006). Integrated water resources management (IWRM) - introduction of principles and practices. In Africa regional workshop on IWRM. Nairobi: World Bank Institute.

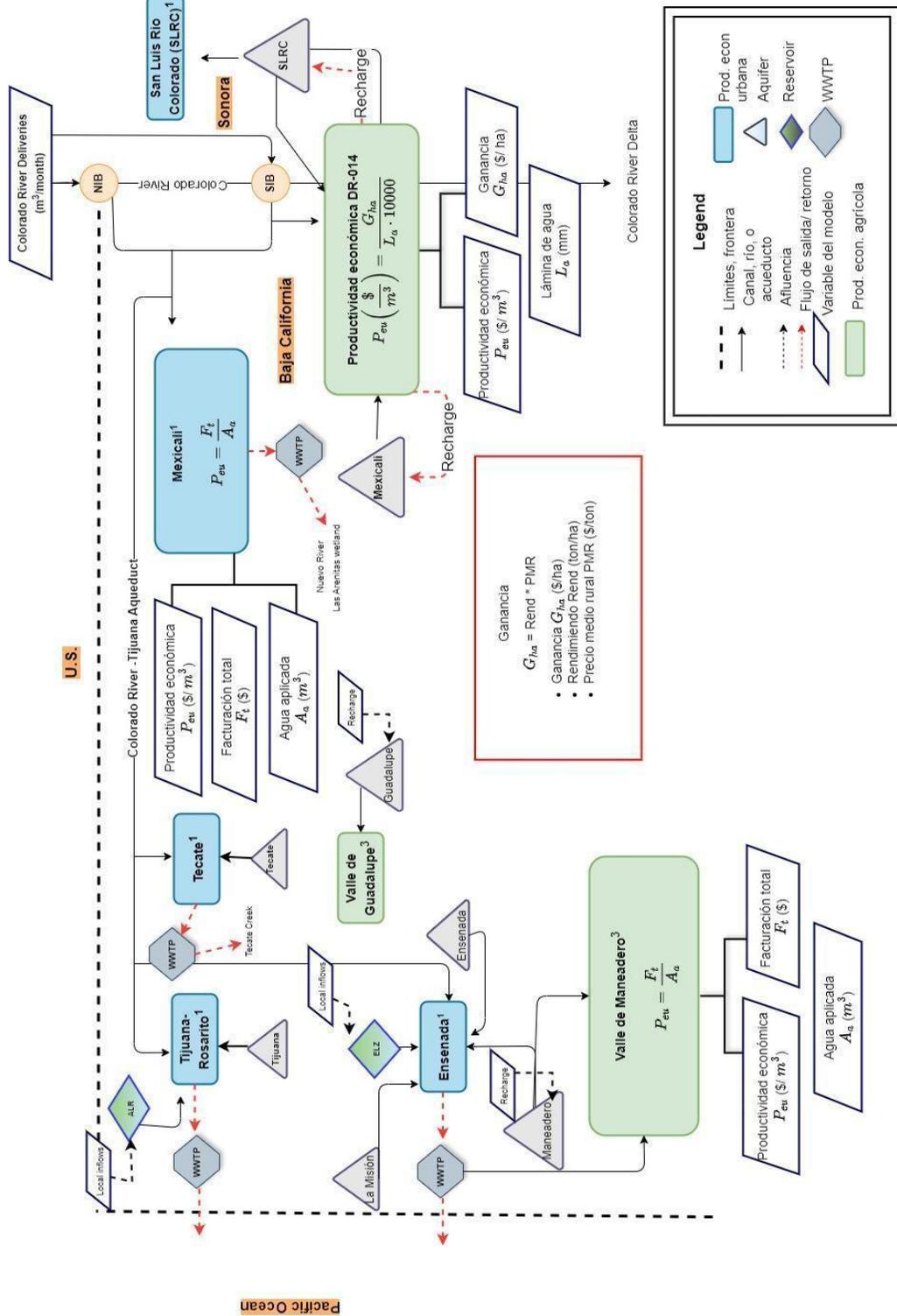
---

Yang, Y.-C. E., Brown, C. M., Yu, W. H., & Savitsky, A. (2013). An introduction to the IBMR, a hydro-economic model for climate change impact assessment in Pakistan's Indus River basin. *Water International*, 38(5), 632–650. <https://doi.org/10.1080/02508060.2013.830691>

Yang, Y.-C. E., Brown, C., Yu, W., Wescoat, J., & Ringler, C. (2014). Water governance and adaptation to climate change in the Indus River Basin. *Journal of Hydrology*, 519, 2527–2537. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.055>

# ANEXOS

**Figura 30.** Esquema del modelo de la asignación de Baja California



Nota: Adaptación de Hernández-Cruz et al (2023).

**Tabla 33.** Estadísticas agrícolas del DR-014

AÑO	CULTIVO	ÁREA (ha)	R (ton/ha)	PROD (ton)	PMR (\$/ton)	F <sub>T</sub> (\$)
2008	Algodón	22,786	4.2	94,562	3,606	\$340,990,211.40
2008	Alfalfa	34,853	15.1	526,629	2,000	\$1,053,257,660.00
2008	Trigo	99,516	6.4	640,883	3,766	\$2,413,565,528.64
2008	Otros	42,912	13.3	572,659	2,992	\$1,713,595,750.09
<b>2008</b>	<b>Total</b>	<b>200,067</b>	<b>9.2</b>	<b>1,834,733</b>	<b>3,009</b>	<b>\$5,521,409,150.13</b>
2009	Algodón	20,039	4.0	80,757	3,606	\$291,210,355.02
2009	Alfalfa	34,331	14.5	497,800	2,000	\$995,599,000.00
2009	Trigo	104,535	6.5	682,614	3,967	\$2,707,927,952.85
2009	Otros	38,459	20.3	780,610	1,541	\$1,203,273,723.84
<b>2009</b>	<b>Total</b>	<b>197,364</b>	<b>10.3</b>	<b>2,041,780</b>	<b>2,546</b>	<b>\$5,198,011,031.71</b>
2010	Algodón	22,163	4.2	93,306	6,275	\$585,523,652.06
2010	Alfalfa	35,395	12.8	453,056	1,726	\$781,829,678.08
2010	Trigo	102,616	6.5	662,899	2,706	\$1,793,805,668.16
2010	Otro	58,050	13	774,787	2,418	\$1,873,717,449.26
<b>2010</b>	<b>Total</b>	<b>196,061</b>	<b>10.1</b>	<b>1,984,048</b>	<b>2,538</b>	<b>\$5,034,876,447.56</b>
2011	Algodón	36,723	4.3	157,174	8,800	\$1,383,135,072.00
2011	Alfalfa	31,314	14.1	440,588	2,257	\$994,424,694.38
2011	Trigo	90,030	6.5	583,394	3,579	\$2,087,764,369.56
2011	Otros	29,993	18	530,368	4,185	\$2,219,801,140.76
<b>2011</b>	<b>Total</b>	<b>188,060</b>	<b>9.1</b>	<b>1,711,525</b>	<b>3,906</b>	<b>\$6,685,125,276.70</b>
2012	Algodón	36,610	4.2	153,396	8,643	\$1,325,751,677.01
2012	Alfalfa	29,000	58.1	1,685,770	557	\$939,614,482.60
2012	Trigo	85,601	6.5	552,982	3,565	\$1,971,598,133.06
2012	Otros	30,490	22	678,960	3,850	\$2,613,690,977.86
<b>2012</b>	<b>Total</b>	<b>181,701</b>	<b>16.9</b>	<b>3,071,108</b>	<b>2,231</b>	<b>\$6,850,655,270.53</b>
2013	Algodón	24,662	4.8	117,145	7,862	\$920,990,059.00
2013	Alfalfa	29,299	58.2	1,705,495	555	\$946,941,872.25
2013	Trigo	98,505	6.3	619,596	3,607	\$2,234,884,395.15
2013	Otros	32,656	20	646,844	4,315	\$2,791,025,752.16
<b>2013</b>	<b>Total</b>	<b>185,122</b>	<b>16.7</b>	<b>3,089,080</b>	<b>2,232</b>	<b>\$6,893,842,078.56</b>
2014	Algodón	32,040	4.9	156,035	8,177	\$1,275,919,964.82
2014	Alfalfa	28,862	56.0	1,617,426	555	\$898,043,704.49
2014	Trigo	94,876	6.4	604,360	3,603	\$2,177,557,861.17
2014	Otros	29,131	20	570,904	4,672	\$2,667,245,507.63
<b>2014</b>	<b>Total</b>	<b>184,909</b>	<b>15.9</b>	<b>2,948,725</b>	<b>2,380</b>	<b>\$7,018,767,038.11</b>
2015	Algodón	21,166	4.3	89,972	6,659	\$599,102,777.35
2015	Alfalfa	31,670	54.1	1,711,764	569	\$974,370,019.47
2015	Trigo	106,248	5.9	629,519	4,227	\$2,661,186,245.20
2015	Otros	29,215	21	601,608	5,645	\$3,396,103,009.20
<b>2015</b>	<b>Total</b>	<b>188,299</b>	<b>16.1</b>	<b>3,032,863</b>	<b>2,516</b>	<b>\$7,630,762,051.23</b>

AÑO	CULTIVO	ÁREA (ha)	R (ton/ha)	PROD (ton)	PMR (\$/ton)	F <sub>T</sub> (\$)
2016	Algodón	12,776	4.3	55,065	7,351	\$404,757,004.09
2016	Alfalfa	34,091	51.3	1,747,164	911	\$1,591,666,176.25
2016	Trigo	113,865	5.7	652,446	3,712	\$2,422,076,956.34
2016	Otros	32,471	19	623,191	6,955	\$4,334,369,461.51
<b>2016</b>	<b>Total</b>	<b>193,203</b>	<b>15.9</b>	<b>3,077,866</b>	<b>2,844</b>	<b>\$8,752,869,598.18</b>
2017	Algodón	31,058	5.6	174,857	10,458	\$1,828,728,380.76
2017	Alfalfa	33,411	51.8	1,729,019	916	\$1,583,781,633.00
2017	Trigo	78,783	5.8	454,578	3,740	\$1,700,075,925.61
2017	Otros	35,341	23	811,537	7,197	\$5,840,265,870.37
<b>2017</b>	<b>Total</b>	<b>178,593</b>	<b>17.7</b>	<b>3,169,991</b>	<b>3,455</b>	<b>\$10,952,851,809.74</b>
2018	Algodón	38,300	4.8	184,606	10,480	\$1,934,717,031.50
2018	Alfalfa	34,148	51.2	1,748,378	913	\$1,596,268,748.80
2018	Trigo	56,559	6.1	343,313	4,182	\$1,435,646,248.25
2018	Otros	42,128	23	986,189	6,121	\$6,036,385,261.03
<b>2018</b>	<b>Total</b>	<b>171,135</b>	<b>19.1</b>	<b>3,262,486</b>	<b>3,373</b>	<b>\$11,003,017,289.57</b>
2019	Algodón	37,940	4.4	165,798	8,791	\$1,457,563,277.34
2019	Alfalfa	35,520	46.0	1,633,920	3,197	\$5,224,442,860.80
2019	Trigo	50,998	6.3	321,797	3,879	\$1,248,168,614.45
2019	Otros	44,184	26	1,162,593	4,453	\$5,177,033,054.13
<b>2019</b>	<b>Total</b>	<b>168,642</b>	<b>19.5</b>	<b>3,284,108</b>	<b>3,991</b>	<b>\$13,107,207,806.72</b>
2020	Algodón	22,730	3.8	87,283	8,935	\$779,895,427.64
2020	Alfalfa	38,601	48.0	1,852,848	2,677	\$4,960,981,991.52
2020	Trigo	43,815	6.1	269,024	5,452	\$1,466,625,246.76
2020	Otros	45,741	23	1,073,277	5,348	\$5,739,427,995.36
<b>2020</b>	<b>Total</b>	<b>150,887</b>	<b>21.8</b>	<b>3,282,432</b>	<b>3,944</b>	<b>\$12,946,930,661.28</b>
2021	Algodón	15,252	4.0	61,161	9,545	\$583,777,163.40
2021	Alfalfa	38,596	45.0	1,736,820	3,290	\$5,714,276,745.60
2021	Trigo	56,715	6.3	354,469	5,876	\$2,082,681,140.63
2021	Otros	47,236	23	1,094,801	6,580	\$7,203,287,613.46
<b>2021</b>	<b>Total</b>	<b>157,799</b>	<b>20.6</b>	<b>3,247,250</b>	<b>4,799</b>	<b>\$15,584,022,663.08</b>
2022	Algodón	20,863	4.6	95,344	12,285	\$1,171,341,885.67
2022	Alfalfa	40,159	45.8	1,838,077	3,350	\$6,157,246,917.34
2022	Trigo	47,205	6.3	298,808	8,279	\$2,473,792,677.43
2022	Otros	48,431	26	1,276,350	4,864	\$6,208,349,420.40
<b>2022</b>	<b>Total</b>	<b>156,658</b>	<b>22.4</b>	<b>3,508,579</b>	<b>4,563</b>	<b>\$16,010,730,900.84</b>

**Tabla 34.** Productividad histórica del DR-014

AÑO	CULTIVO	R (ton/ha)	PMR (\$/ton)	F <sub>T</sub> (\$)	GANANCIA (\$/ha)	L <sub>a</sub> (m)	P <sub>h</sub> (\$/m <sup>3</sup> )	P <sub>h</sub> actual (\$/m <sup>3</sup> )
2008	Algodón	4.2	3,606	\$340,990,211.40	14,965	1.1415	1.31	3.11
2008	Alfalfa	15.1	2,000	\$1,053,257,660.00	30,220	1.8922	1.60	3.78
2008	Trigo	6.4	3,766	\$2,413,565,528.64	24,253	0.5707	4.25	10.07
2008	Otros	13.3	2,992	\$1,713,595,750.09	39,933	1.1863	3.37	7.98
<b>2008</b>	<b>Total</b>	<b>9.2</b>	<b>3,009</b>	<b>\$5,521,409,150.13</b>	<b>27,598</b>			
2009	Algodón	4.0	3,606	\$291,210,355.02	14,532	1.1415	1.27	2.86
2009	Alfalfa	14.5	2,000	\$995,599,000.00	29,000	1.8922	1.53	3.44
2009	Trigo	6.5	3,967	\$2,707,927,952.85	25,905	0.5707	4.54	10.19
2009	Otros	20.3	1,541	\$1,203,273,723.84	31,287	1.1863	2.64	5.92
<b>2009</b>	<b>Total</b>	<b>10.3</b>	<b>2,546</b>	<b>\$5,198,011,031.71</b>	<b>26,337</b>			
2010	Algodón	4.2	6,275	\$585,523,652.06	26,419	1.1415	2.31	4.92
2010	Alfalfa	12.8	1,726	\$781,829,678.08	22,089	1.8922	1.17	2.48
2010	Trigo	6.5	2,706	\$1,793,805,668.16	17,481	0.5707	3.06	6.52
2010	Otros	13	2,418	\$1,873,717,449.26	32,278	1.1863	2.72	5.79
<b>2010</b>	<b>Total</b>	<b>10.1</b>	<b>2,538</b>	<b>\$5,034,876,447.56</b>	<b>25,680</b>			
2011	Algodón	4.3	8,800	\$1,383,135,072.00	37,664	1.1415	3.30	6.65
2011	Alfalfa	14.1	2,257	\$994,424,694.38	31,757	1.8922	1.68	3.38
2011	Trigo	6.5	3,579	\$2,087,764,369.56	23,190	0.5707	4.06	8.19
2011	Otros	18	4,185	\$2,219,801,140.76	74,011	1.1863	6.24	12.58
<b>2011</b>	<b>Total</b>	<b>9.1</b>	<b>3,906</b>	<b>\$6,685,125,276.70</b>	<b>35,548</b>			
2012	Algodón	4.2	8,643	\$1,325,751,677.01	36,213	1.1415	3.17	6.06
2012	Alfalfa	58.1	557	\$939,614,482.60	32,400	1.8922	1.71	3.27
2012	Trigo	6.5	3,565	\$1,971,598,133.06	23,032	0.5707	4.04	7.71
2012	Otros	22	3,850	\$2,613,690,977.86	85,723	1.1863	7.23	13.80
<b>2012</b>	<b>Total</b>	<b>16.9</b>	<b>2,231</b>	<b>\$6,850,655,270.53</b>	<b>37,703</b>			
2013	Algodón	4.8	7,862	\$920,990,059.00	37,345	1.1415	3.27	5.92
2013	Alfalfa	58.2	555	\$946,941,872.25	32,320	1.8922	1.71	3.09
2013	Trigo	6.3	3,607	\$2,234,884,395.15	22,688	0.5707	3.98	7.19
2013	Otros	20	4,315	\$2,791,025,752.16	85,467	1.1863	7.20	13.04
<b>2013</b>	<b>Total</b>	<b>16.7</b>	<b>2,232</b>	<b>\$6,893,842,078.56</b>	<b>37,239</b>			
2014	Algodón	4.9	8,177	\$1,275,919,964.82	39,823	1.1415	3.49	5.98
2014	Alfalfa	56.0	555	\$898,043,704.49	31,115	1.8922	1.64	2.82
2014	Trigo	6.4	3,603	\$2,177,557,861.17	22,952	0.5707	4.02	6.90
2014	Otros	20	4,672	\$2,667,245,507.63	91,560	1.1863	7.72	13.23
<b>2014</b>	<b>Total</b>	<b>15.9</b>	<b>2,380</b>	<b>\$7,018,767,038.11</b>	<b>37,958</b>			
2015	Algodón	4.3	6,659	\$599,102,777.35	28,305	1.1415	2.48	4.03
2015	Alfalfa	54.1	569	\$974,370,019.47	30,766	1.8922	1.63	2.64
2015	Trigo	5.9	4,227	\$2,661,186,245.20	25,047	0.5707	4.39	7.13
2015	Otros	21	5,645	\$3,396,103,009.20	116,247	1.1863	9.80	15.92
<b>2015</b>	<b>Total</b>	<b>16.1</b>	<b>2,516</b>	<b>\$7,630,762,051.23</b>	<b>40,525</b>			

AÑO	CULTIVO	R (ton/ha)	PMR (\$/ton)	F <sub>T</sub> (\$)	GANANCIA (\$/ha)	L <sub>a</sub> (m)	P <sub>h</sub> (\$/m <sup>3</sup> )	P <sub>h</sub> actual (\$/m <sup>3</sup> )
2016	Algodón	4.3	7,351	\$404,757,004.09	31,681	1.1415	2.78	4.27
2016	Alfalfa	51.3	911	\$1,591,666,176.25	46,689	1.8922	2.47	3.80
2016	Trigo	5.7	3,712	\$2,422,076,956.34	21,271	0.5707	3.73	5.74
2016	Otros	19	6,955	\$4,334,369,461.51	133,484	1.1863	11.25	17.32
<b>2016</b>	<b>Total</b>	<b>15.9</b>	<b>2,844</b>	<b>\$8,752,869,598.18</b>	<b>45,304</b>			
2017	Algodón	5.6	10,458	\$1,828,728,380.76	58,881	1.1415	5.16	7.52
2017	Alfalfa	51.8	916	\$1,583,781,633.00	47,403	1.8922	2.51	3.65
2017	Trigo	5.8	3,740	\$1,700,075,925.61	21,579	0.5707	3.78	5.52
2017	Otros	23	7,197	\$5,840,265,870.37	165,255	1.1863	13.93	20.32
<b>2017</b>	<b>Total</b>	<b>17.7</b>	<b>3,455</b>	<b>\$10,952,851,809.74</b>	<b>61,329</b>			
2018	Algodón	4.8	10,480	\$1,934,717,031.50	50,515	1.1415	4.43	6.12
2018	Alfalfa	51.2	913	\$1,596,268,748.80	46,746	1.8922	2.47	3.41
2018	Trigo	6.1	4,182	\$1,435,646,248.25	25,383	0.5707	4.45	6.15
2018	Otros	23	6,121	\$6,036,385,261.03	143,287	1.1863	12.08	16.69
<b>2018</b>	<b>Total</b>	<b>19.1</b>	<b>3,373</b>	<b>\$11,003,017,289.57</b>	<b>64,294</b>			
2019	Algodón	4.4	8,791	\$1,457,563,277.34	38,418	1.1415	3.37	4.41
2019	Alfalfa	46.0	3,197	\$5,224,442,860.80	147,085	1.8922	7.77	10.18
2019	Trigo	6.3	3,879	\$1,248,168,614.45	24,475	0.5707	4.29	5.62
2019	Otros	26	4,453	\$5,177,033,054.13	117,170	1.1863	9.88	12.93
<b>2019</b>	<b>Total</b>	<b>19.5</b>	<b>3,991</b>	<b>\$13,107,207,806.72</b>	<b>77,722</b>			
2020	Algodón	3.8	8,935	\$779,895,427.64	34,311	1.1415	3.01	3.73
2020	Alfalfa	48.0	2,677	\$4,960,981,991.52	128,520	1.8922	6.79	8.43
2020	Trigo	6.1	5,452	\$1,466,625,246.76	33,473	0.5707	5.87	7.28
2020	Otros	23	5,348	\$5,739,427,995.36	125,477	1.1863	10.58	13.12
<b>2020</b>	<b>Total</b>	<b>21.8</b>	<b>3,944</b>	<b>\$12,946,930,661.28</b>	<b>85,805</b>			
2021	Algodón	4.0	9,545	\$583,777,163.40	38,275	1.1415	3.35	3.94
2021	Alfalfa	45.0	3,290	\$5,714,276,745.60	148,054	1.8922	7.82	9.20
2021	Trigo	6.3	5,876	\$2,082,681,140.63	36,722	0.5707	6.43	7.56
2021	Otros	23	6,580	\$7,203,287,613.46	152,496	1.1863	12.85	15.11
<b>2021</b>	<b>Total</b>	<b>20.6</b>	<b>4,799</b>	<b>\$15,584,022,663.08</b>	<b>98,759</b>			
2022	Algodón	4.6	12,285	\$1,171,341,885.67	56,144	1.1415	4.92	5.48
2022	Alfalfa	45.8	3,350	\$6,157,246,917.34	153,322	1.8922	8.10	9.03
2022	Trigo	6.3	8,279	\$2,473,792,677.43	52,405	0.5707	9.18	10.23
2022	Otros	26	4,864	\$6,208,349,420.40	128,190	1.1863	10.81	12.04
<b>2022</b>	<b>Total</b>	<b>22.4</b>	<b>4,563</b>	<b>\$16,010,730,900.84</b>	<b>102,202</b>			

**Tabla 35.** Productividad modelada del DR-014

AÑO	CULTIVO	F <sub>T</sub> (\$)	A <sub>a</sub> total WEAP) m <sup>3</sup>	A <sub>a</sub> RC (WEAP) m <sup>3</sup>	A <sub>a</sub> acuífero (WEAP) m <sup>3</sup>	P <sub>m</sub> (\$/m <sup>3</sup> )	P <sub>m</sub> actual (\$/m <sup>3</sup> )
2008	Algodón	\$340,990,211.40	336,906,388	233,567,430	103,338,958	1.01	2.40
2008	Alfalfa	\$1,053,257,660.00	853,255,204	590,232,951	263,022,253	1.23	2.93
2008	Trigo	\$2,413,565,528.64	731,071,444	500,687,514	230,383,929	3.30	7.82
2008	Otros	\$1,713,595,750.09	638,983,113	415,563,088	223,420,024	2.68	6.35
<b>2008</b>	<b>Total</b>	<b>\$5,521,409,150.13</b>	<b>2,560,216,149</b>	<b>1,740,050,984</b>	<b>820,165,165</b>	<b>2.16</b>	<b>5.11</b>
2009	Algodón	\$291,210,355.02	293,299,237	199,776,819	93,522,418	0.99	2.23
2009	Alfalfa	\$995,599,000.00	831,983,465	574,113,643	257,869,822	1.20	2.69
2009	Trigo	\$2,707,927,952.85	764,579,091	523,605,563	240,973,528	3.54	7.95
2009	Otros	\$1,203,273,723.84	586,864,312	385,191,957	201,672,355	2.05	4.60
<b>2009</b>	<b>Total</b>	<b>\$5,198,011,031.71</b>	<b>2,476,726,105</b>	<b>1,682,687,982</b>	<b>794,038,123</b>	<b>2.10</b>	<b>4.71</b>
2010	Algodón	\$585,523,652.06	322,815,618	223,083,889	99,731,728	1.81	3.86
2010	Alfalfa	\$781,829,678.08	859,578,514	582,823,584	276,754,929	0.91	1.93
2010	Trigo	\$1,793,805,668.16	748,708,856	514,152,550	234,556,306	2.40	5.10
2010	Otros	\$1,873,717,449.26	552,054,925	361,683,566	190,371,359	3.39	7.22
<b>2010</b>	<b>Total</b>	<b>\$5,034,876,447.56</b>	<b>2,483,157,913</b>	<b>1,681,743,591</b>	<b>801,414,322</b>	<b>2.03</b>	<b>4.31</b>
2011	Algodón	\$1,383,135,072.00	554,801,682	380,567,344	174,234,338	2.49	5.03
2011	Alfalfa	\$994,424,694.38	757,541,018	520,800,024	236,740,994	1.31	2.65
2011	Trigo	\$2,087,764,369.56	659,895,803	447,895,303	212,000,500	3.16	6.38
2011	Otros	\$2,219,801,140.76	492,507,337	329,057,015	163,450,322	4.51	9.08
<b>2011</b>	<b>Total</b>	<b>\$6,685,125,276.70</b>	<b>2,464,745,840</b>	<b>1,678,319,686</b>	<b>786,426,154</b>	<b>2.71</b>	<b>5.47</b>
2012	Algodón	\$1,325,751,677.01	549,756,627	376,850,716	172,905,910	2.41	4.61
2012	Alfalfa	\$939,614,482.60	745,345,027	511,515,802	233,829,225	1.26	2.41
2012	Trigo	\$1,971,598,133.06	634,949,604	431,462,051	203,487,553	3.11	5.93
2012	Otros	\$2,613,690,977.86	520,491,766	347,910,352	172,581,414	5.02	9.59
<b>2012</b>	<b>Total</b>	<b>\$6,850,655,270.53</b>	<b>2,450,543,024</b>	<b>1,667,738,922</b>	<b>782,804,102</b>	<b>2.80</b>	<b>5.34</b>
2013	Algodón	\$920,990,059.00	357,945,922	249,357,776	108,588,147	2.57	4.66
2013	Alfalfa	\$946,941,872.25	751,664,253	517,964,719	233,699,535	1.26	2.28
2013	Trigo	\$2,234,884,395.15	737,909,203	499,870,086	238,039,117	3.03	5.48
2013	Otros	\$2,791,025,752.16	556,539,631	371,344,250	185,195,381	5.01	9.08
<b>2013</b>	<b>Total</b>	<b>\$6,893,842,078.56</b>	<b>2,404,059,010</b>	<b>1,638,536,830</b>	<b>765,522,179</b>	<b>2.87</b>	<b>5.19</b>
2014	Algodón	\$1,275,919,964.82	508,200,136	413,345,390	94,854,746	2.51	4.30
2014	Alfalfa	\$898,043,704.49	756,048,169	616,283,415	139,764,754	1.19	2.04
2014	Trigo	\$2,177,557,861.17	732,282,755	600,551,594	131,731,161	2.97	5.10
2014	Otros	\$2,667,245,507.63	551,048,473	463,424,053	87,624,420	4.84	8.30
<b>2014</b>	<b>Total</b>	<b>\$7,018,767,038.11</b>	<b>2,547,579,533</b>	<b>2,093,604,452</b>	<b>453,975,081</b>	<b>2.76</b>	<b>4.72</b>
2015	Algodón	\$599,102,777.35	338,292,204	278,339,199	59,953,005	1.77	2.88
2015	Alfalfa	\$974,370,019.47	801,956,526	652,885,468	149,071,059	1.21	1.97
2015	Trigo	\$2,661,186,245.20	782,886,969	645,506,703	137,380,266	3.40	5.52
2015	Otros	\$3,396,103,009.20	485,256,716	407,374,270	77,882,446	7.00	11.37
<b>2015</b>	<b>Total</b>	<b>\$7,630,762,051.23</b>	<b>2,408,392,415</b>	<b>1,984,105,640</b>	<b>424,286,776</b>	<b>3.17</b>	<b>5.15</b>

**Tabla 36.** Productividad económica del Valle de Maneadero

Valle de Maneadero			
Año	Volumen (m <sup>3</sup> )	Producción (\$)	Productividad \$/m <sup>3</sup>
2022	20,215,633	\$ 569,912,688	\$ 30.75
2023	20,215,633	\$ 746,026,269	\$ 38.54
2024	20,215,633	\$ 746,026,269	\$ 34.65
2025	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2026	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2027	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2028	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2029	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2030	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2031	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2032	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2033	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2034	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2035	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2036	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2037	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2038	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2039	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2040	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2041	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2042	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2043	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2044	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2045	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2046	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2047	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2048	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2049	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
2050	20,215,633	\$ 700,397,137	\$ 34.65
<b>Prom</b>	<b>20,215,633</b>	<b>\$ 699,044,510</b>	<b>\$ 34.65</b>

**Tabla 37.** Productividad económica del agua de la Flor en el Valle de Maneadero

Valle de Maneadero			
Cultivo: Flor			
Año	Volumen (m3)	Producción (\$)	Productividad \$/m <sup>3</sup>
2022	3,436,658	\$ 35,855,165	\$ 11.38
2023	3,436,658	\$ 46,935,076	\$ 14.26
2024	3,436,658	\$ 46,935,076	\$ 12.82
2025	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2026	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2027	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2028	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2029	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2030	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2031	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2032	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2033	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2034	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2035	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2036	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2037	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2038	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2039	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2040	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2041	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2042	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2043	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2044	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2045	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2046	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2047	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2048	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2049	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
2050	3,436,658	\$ 44,064,390	\$ 12.82
<b>Prom</b>	<b>3,436,658</b>	<b>\$ 43,979,292</b>	<b>\$ 12.82</b>

**Tabla 38.** Productividad económica del agua de los espárragos en el Valle de Maneadero

Valle de Maneadero			
Cultivo: Espárragos			
Año	Volumen (m3)	Producción (\$)	Productividad \$/m <sup>3</sup>
2022	2,628,032	\$ 152,685,913	\$ 63.37
2023	2,628,032	\$ 199,868,690	\$ 79.43
2024	2,628,032	\$ 199,868,690	\$ 71.40
2025	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2026	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2027	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2028	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2029	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2030	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2031	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2032	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2033	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2034	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2035	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2036	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2037	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2038	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2039	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2040	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2041	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2042	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2043	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2044	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2045	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2046	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2047	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2048	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2049	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
2050	2,628,032	\$ 187,644,141	\$ 71.40
<b>Prom</b>	<b>2,628,032</b>	<b>\$ 187,281,757</b>	<b>\$ 71.40</b>

**Tabla 39.** Productividad económica del agua del jitomate en el Valle de Maneadero

Valle de Maneadero			
Cultivo: Jitomate			
Año	Volumen (m3)	Producción (\$)	Productividad \$/m <sup>3</sup>
2022	1,212,938	\$ 45,088,833	\$ 40.55
2023	1,212,938	\$ 59,022,118	\$ 50.82
2024	1,212,938	\$ 59,022,118	\$ 45.68
2025	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2026	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2027	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2028	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2029	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2030	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2031	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2032	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2033	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2034	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2035	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2036	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2037	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2038	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2039	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2040	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2041	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2042	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2043	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2044	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2045	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2046	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2047	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2048	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2049	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
2050	1,212,938	\$ 55,412,154	\$ 45.68
<b>Prom</b>	<b>1,212,938</b>	<b>\$ 55,305,140</b>	<b>\$ 45.68</b>

**Tabla 40.** Productividad económica del agua del pepino en el Valle de Maneadero

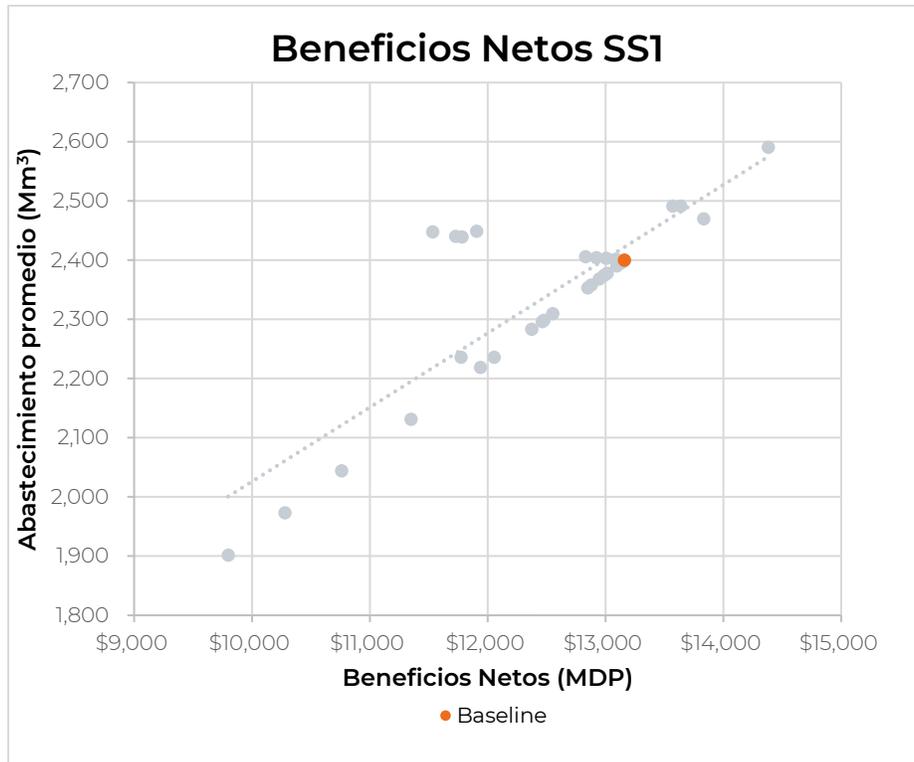
Valle de Maneadero			
Cultivo: Pepino			
Año	Volumen (m3)	Producción (\$)	Productividad \$/m <sup>3</sup>
2022	2,425,876	\$ 148,005,774	\$ 66.55
2023	2,425,876	\$ 193,742,301	\$ 83.41
2024	2,425,876	\$ 193,742,301	\$ 74.98
2025	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2026	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2027	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2028	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2029	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2030	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2031	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2032	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2033	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2034	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2035	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2036	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2037	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2038	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2039	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2040	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2041	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2042	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2043	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2044	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2045	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2046	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2047	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2048	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2049	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
2050	2,425,876	\$ 181,892,459	\$ 74.98
<b>Prom</b>	<b>2,425,876</b>	<b>\$ 181,541,183</b>	<b>\$ 74.98</b>

**Tabla 41.** Productividad económica del agua de otros cultivos en el Valle de Maneadero

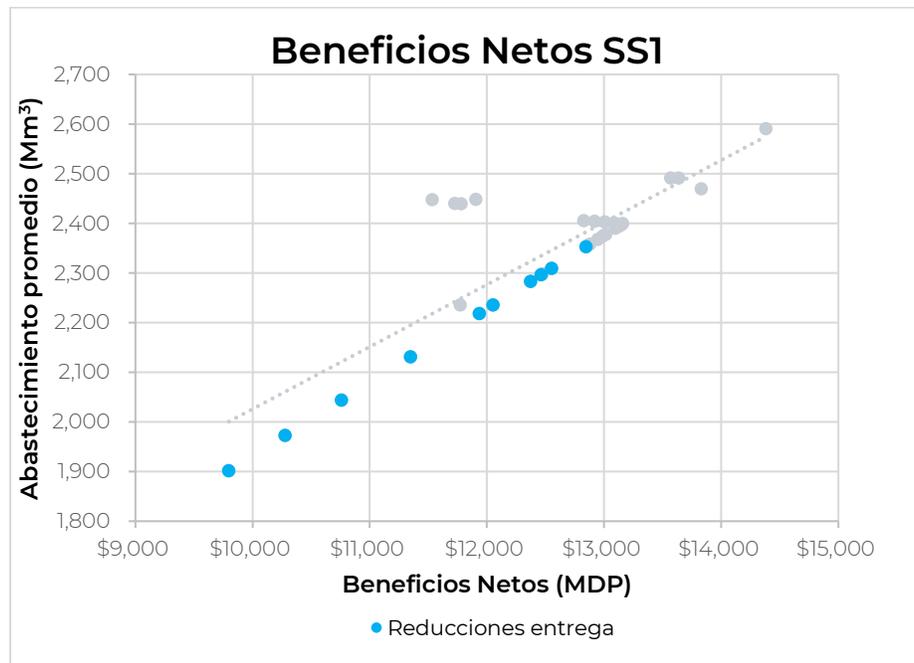
Valle de Maneadero			
Cultivo: Otros			
Año	Volumen (m <sup>3</sup> )	Producción (\$)	Productividad \$/m <sup>3</sup>
2022	10,512,129	\$ 188,277,002	\$ 19.54
2023	10,512,129	\$ 246,458,085	\$ 24.49
2024	10,512,129	\$ 246,458,085	\$ 22.01
2025	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2026	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2027	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2028	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2029	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2030	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2031	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2032	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2033	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2034	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2035	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2036	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2037	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2038	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2039	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2040	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2041	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2042	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2043	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2044	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2045	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2046	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2047	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2048	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2049	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
2050	10,512,129	\$ 231,383,993	\$ 22.01
<b>Prom</b>	<b>10,512,129</b>	<b>\$ 230,937,138</b>	<b>\$ 22.01</b>

**Tabla 42.** Beneficios Netos-Abastecimiento de escenarios individuales del SS1

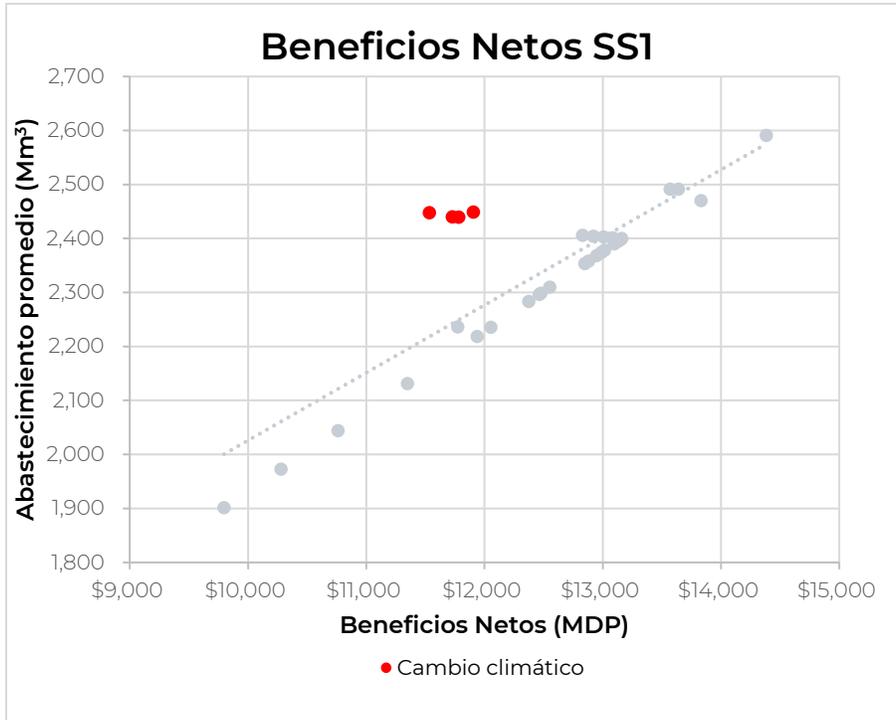
ESCENARIO	VALOR DEL ESCENARIO BASE	VALOR DEL ESCENARIO	BENEFICIOS NETOS (MDP)	ABASTECIMIENTO (Mm <sup>3</sup> )
Escenario base	NA	NA	\$ 13,160	2,400
Reducción en las entregas del Río Colorado	Asignación de agua: 1,850 Mm <sup>3</sup>	-51 Mm <sup>3</sup>	\$ 12,848	2,354
		-99 Mm <sup>3</sup>	\$ 12,552	2,310
		-128 Mm <sup>3</sup>	\$ 12,463	2,297
		-180 Mm <sup>3</sup>	\$ 12,374	2,283
		-190 Mm <sup>3</sup>	\$ 12,054	2,236
		-199 Mm <sup>3</sup>	\$ 11,937	2,219
		-211 Mm <sup>3</sup>	\$ 11,348	2,132
		-263 Mm <sup>3</sup>	\$ 10,760	2,044
		-339 Mm <sup>3</sup>	\$ 10,278	1,973
Aumento de la evapotranspiración de los cultivos ET <sub>c</sub> (m/año) debido al cambio climático	Trigo <sub>ETc</sub> : 0.57 Alfalfa <sub>ETc</sub> : 1.93 Algodón <sub>ETc</sub> : 1.14 Otros <sub>ETc</sub> : 1.19	B1:0.5898-0.5918 A2:0.5872-0.5928	\$ 11,781	2,440
		B1: 2.0786-2.1034 A2: 2.0864-2.1067	\$ 11,533	2,448
		B1:1.1675-1.1832 A2:1.1705-1.1840	\$ 11,728	2,440
		B1:1.2501-1.2644 A2:1.2530-1.2661	\$ 11,905	2,449
Revestimiento del Canal Todo Americano (CTA)	Contribución del 14 % en la recarga del acuífero	Contribución del 0 % en la recarga del acuífero	\$ 13,832	2,470
Aumento de la eficiencia de aplicación (E <sub>a</sub> )	E <sub>a</sub> : 65%	E <sub>a</sub> : Aumento de 2.5-10%	\$ 14,382	2,591
			\$ 13,638	2,492
			\$ 13,569	2,492
			\$ 11,772	2,236
Reducción del área irrigada	Área total irrigada: 192,214 ha	Disminución de 2.5-10%	\$ 13,015	2,378
			\$ 12,947	2,368
			\$ 12,879	2,358
			\$ 12,477	2,299
Reducción de la superficie irrigada de alfalfa	Área irrigada de la alfalfa: 34,598 ha	Disminución de 2.5-10%	\$ 13,155	2,399
			\$ 13,142	2,397
			\$ 13,129	2,395
			\$ 13,096	2,390
Incremento de la eficiencia de la red de distribución de agua (E <sub>n</sub> ) Mexicali	E <sub>n</sub> : 83%	Incremento de 2.5-10% en Mexicali	\$ 13,086	2,402
			\$ 13,006	2,403
			\$ 12,921	2,405
			\$ 12,829	2,406
Agua ambiental (Delta)	Asignación de agua ambiental: 0 Mm <sup>3</sup>	Asignación de agua ambiental: 27.5 Mm <sup>3</sup>	\$ 12,987	2,374



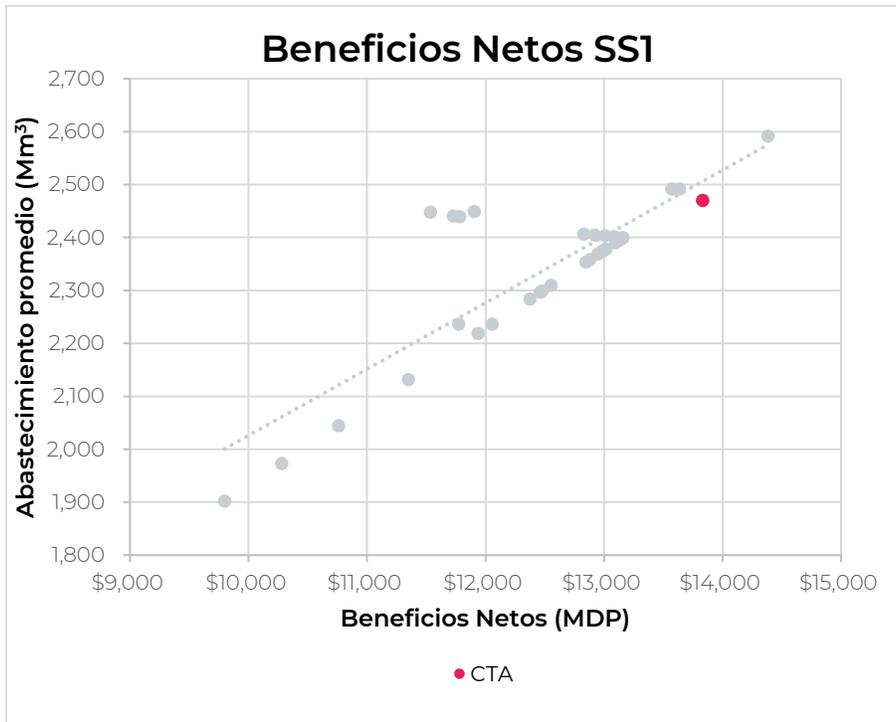
**Figura 31.** Beneficios NetosSS1. Escenario base.



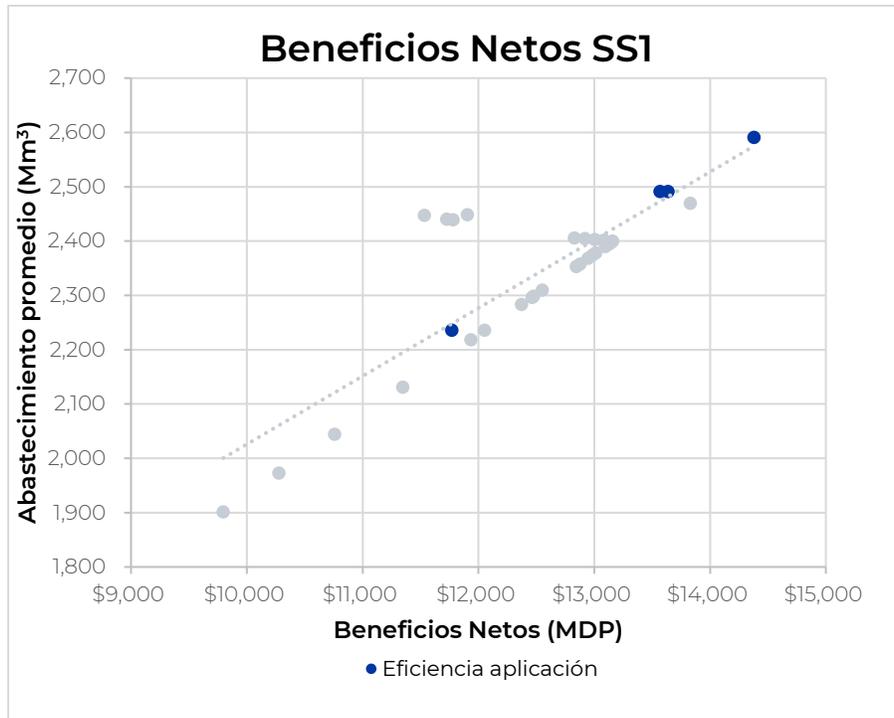
**Figura 32.** Beneficios Netos SS1. Reducciones en las entregas del agua.



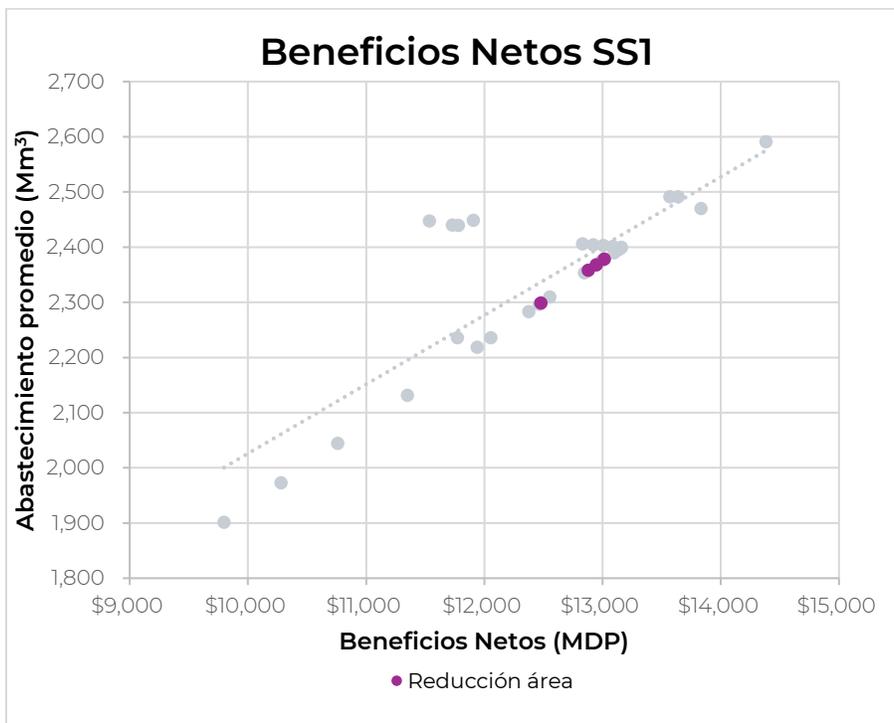
**Figura 33.** Beneficios Netos SS1. Cambio Climático.



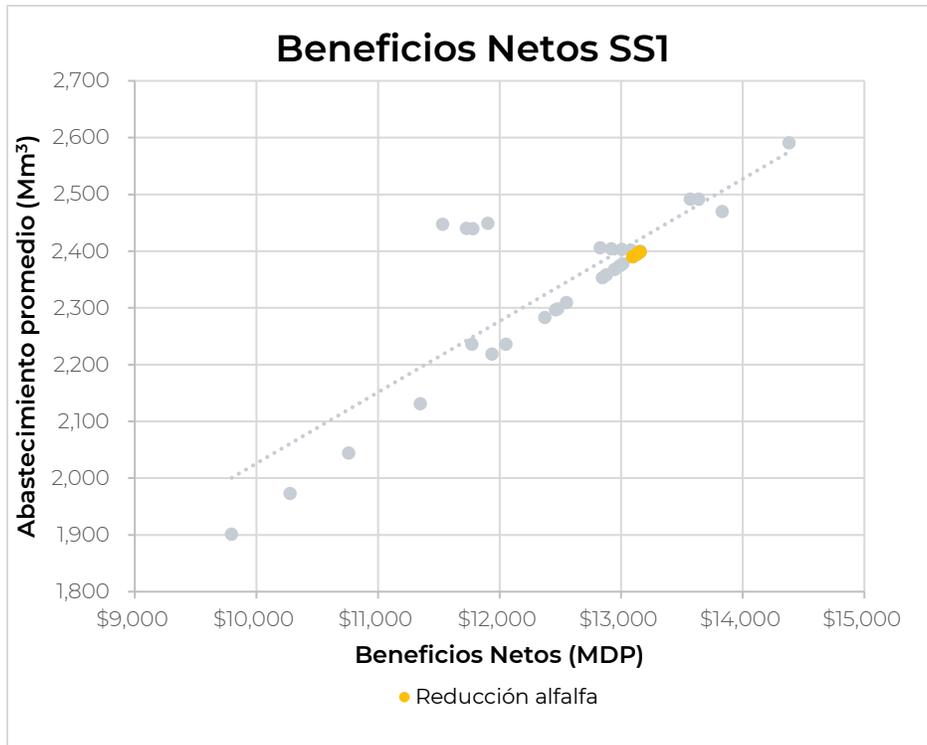
**Figura 34.** Beneficios Netos SS1. Canal Todo Americano.



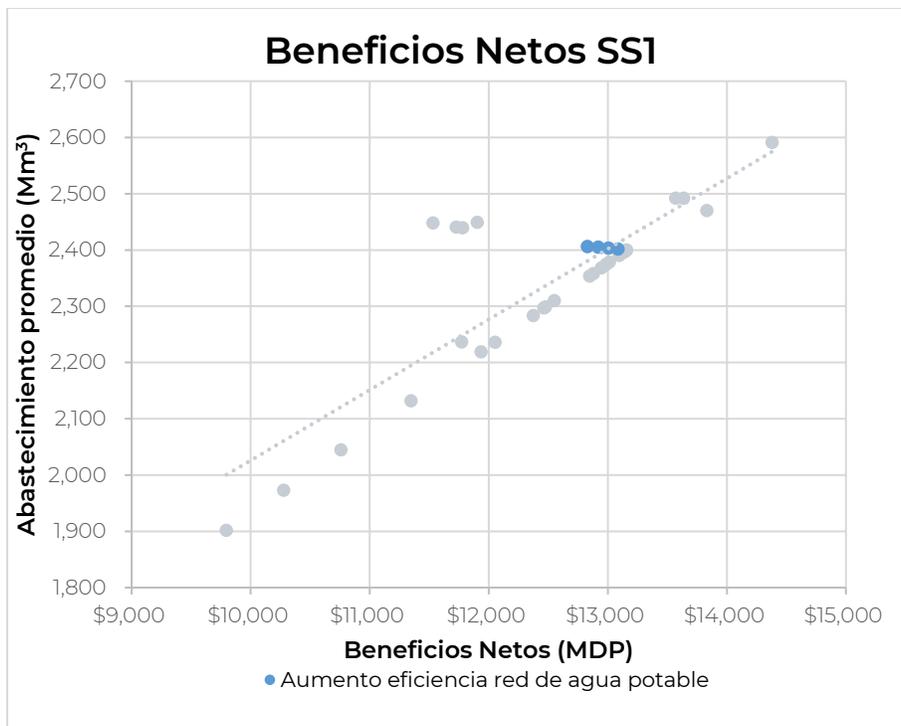
**Figura 35.** Beneficios Netos SS1. Eficiencia de aplicación.



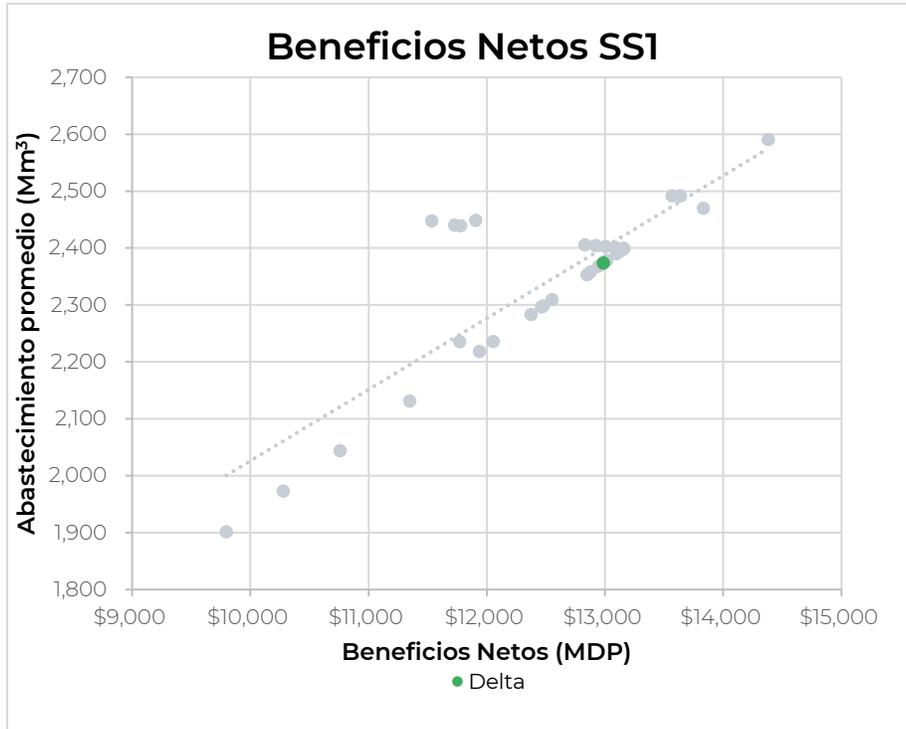
**Figura 36.** Beneficios Netos SS1. Reducción de ha de totales.



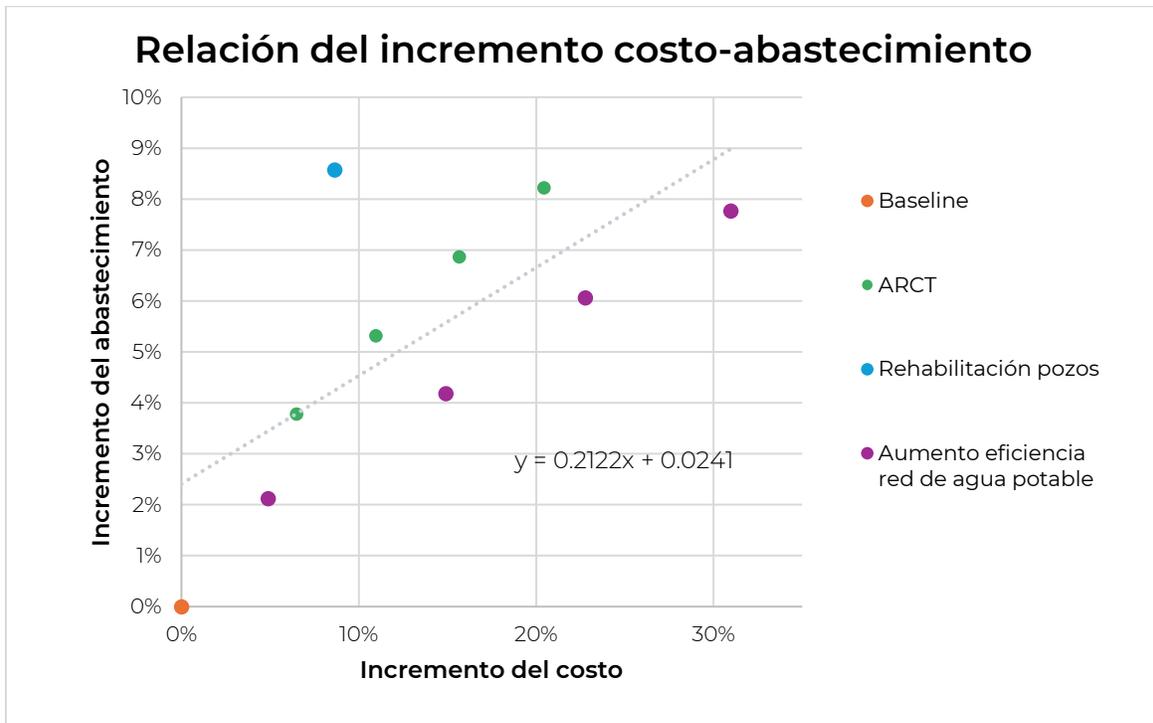
**Tabla 43.** Beneficios Netos SS1. Reducción de alfalfa.



**Figura 37.** Beneficios Netos SS1. Aumento en la eficiencia de red de agua potable



**Figura 38.** Beneficios Netos SS1. Delta

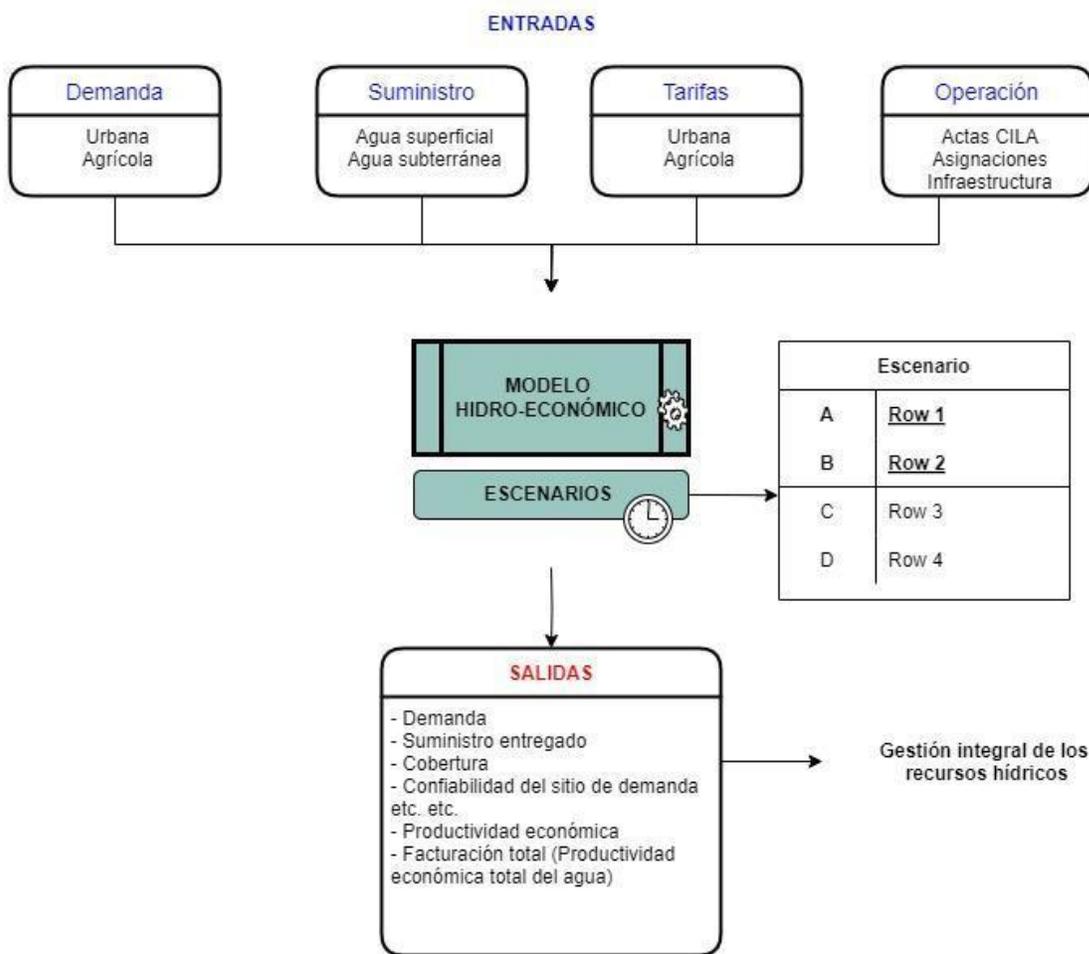


**Figura 39.** Relación del incremento del costo-abastecimiento SS2.

## Uso del WEAP con Excel.

Se utilizó el programa WEAP, versión 2019. Las entradas incluyeron las asignaciones de agua superficial (ingresadas previamente a través del análisis hidrológico), tarifas urbanas, variables económicas y datos operativos (actas CILA, asignaciones, infraestructura).

Para poder ingresar los valores al programa fue necesario identificar las variables económicas a utilizar: rendimiento, PMR, producción, valor de la productividad, ganancia y productividad económica del agua.



**Figura 40.** Metodología en WEAP para cargar las variables y sus valores.

Para poder usar Excel y WEAP de manera conjunta el primer paso en Excel es agregar las variables económicas, tanto las numéricas como las de cadena, en cada uno de los subsistemas, (ver imagen 21 y 22).

VARIABLES ECONÓMICAS AGRÍCOLA: DR-014			
Porcentajes de módulos			
<b>Porcentaje de módulo 1</b>	<b>Porcentaje de módulo 2</b>	<b>Porcentaje de módulo 3</b>	<b>Porcentaje de módulo 4</b>
Acuífero 99.6434	Acuífero 31.4168	Acuífero 19.642	Acuífero 98.9388
Río Colorado 0.35662	Río Colorado 68.5832	Río Colorado 80.358	Río Colorado 1.0612
Superficie Total 6.43997	Superficie Total 4.13338	Superficie Total 7.22381	Superficie Total 6.25724
<b>Porcentaje de módulo 5</b>	<b>Porcentaje de módulo 6</b>	<b>Porcentaje de módulo 7</b>	<b>Porcentaje de módulo 8</b>
Acuífero 98.4842	Acuífero 69.7748	Acuífero 92.2248	Acuífero 9.92923
Río Colorado 1.51582	Río Colorado 30.2252	Río Colorado 7.77523	Río Colorado 90.0708
Superficie Total 3.39248	Superficie Total 3.16981	Superficie Total 5.65064	Superficie Total 4.58571
<b>Porcentaje de módulo 9A</b>	<b>Porcentaje de módulo 9B</b>	<b>Porcentaje de módulo 10</b>	<b>Porcentaje de módulo 11</b>
Acuífero 45.2979	Acuífero 47.2899	Acuífero 6.62227	Acuífero 0
Río Colorado 54.7021	Río Colorado 52.7101	Río Colorado 93.3777	Río Colorado 100
Superficie Total 5.12841	Superficie Total 5.18582	Superficie Total 6.59674	Superficie Total 4.49834
<b>Porcentaje de módulo 12</b>	<b>Porcentaje de módulo 14</b>	<b>Porcentaje de módulo 15</b>	<b>Porcentaje de módulo 16</b>
Acuífero 50	Acuífero 0	Acuífero 0	Acuífero 4.50884
Río Colorado 50	Río Colorado 100	Río Colorado 100	Río Colorado 95.4912
Superficie Total 5.03904	Superficie Total 4.85831	Superficie Total 5.90077	Superficie Total 4.4624
<b>Porcentaje de módulo 17</b>	<b>Porcentaje de módulo 18</b>	<b>Porcentaje de módulo 19</b>	<b>Porcentaje de módulo 20</b>
Acuífero 15.465	Acuífero 0	Acuífero 0	Acuífero 0
Río Colorado 84.535	Río Colorado 100	Río Colorado 100	Río Colorado 100
Superficie Total 4.77793	Superficie Total 3.1778	Superficie Total 2.27463	Superficie Total 1.92216
<b>Porcentaje de módulo 21</b>	<b>Porcentaje de módulo 22</b>		
Acuífero 0	Acuífero 0		
Río Colorado 100	Río Colorado 100		
Superficie Total 2.57269	Superficie Total 2.75193		

Figura 41. Variables económicas agrícolas numéricas en Excel

VARIABLES ECONÓMICAS AGRÍCOLA DR-014				
Producción total		Producción pozo		Valor de productividad
M1M2M3	ReadFromFile(produccion_total.csv, 1)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 1)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M4	ReadFromFile(produccion_total.csv, 2)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 2)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M5	ReadFromFile(produccion_total.csv, 3)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 3)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M6	ReadFromFile(produccion_total.csv, 4)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 4)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M7	ReadFromFile(produccion_total.csv, 5)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 5)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M8	ReadFromFile(produccion_total.csv, 6)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 6)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M9A	ReadFromFile(produccion_total.csv, 7)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 7)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M9B	ReadFromFile(produccion_total.csv, 8)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 8)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M10	ReadFromFile(produccion_total.csv, 9)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 9)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M11	ReadFromFile(produccion_total.csv, 10)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 10)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M12	ReadFromFile(produccion_total.csv, 11)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 11)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M14	ReadFromFile(produccion_total.csv, 13)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 13)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M15	ReadFromFile(produccion_total.csv, 14)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 14)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M16	ReadFromFile(produccion_total.csv, 15)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 15)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M17	ReadFromFile(produccion_total.csv, 16)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 16)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M18	ReadFromFile(produccion_total.csv, 17)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 17)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M19	ReadFromFile(produccion_total.csv, 18)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 18)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M20	ReadFromFile(produccion_total.csv, 19)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 19)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M21	ReadFromFile(produccion_total.csv, 20)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 20)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
M22	ReadFromFile(produccion_total.csv, 21)	ReadFromFile(produccion_pozo.csv, 21)		ReadFromFile(ingresos.csv, 1)
	<b>Porcentaje de producción</b>	<b>Porcentaje de ingresos</b>		
Algodón	ReadFromFile(porcentajes_produccion.csv, 1, , Repeat	ReadFromFile(porcentajes_ingresos.csv, 1, , Repeat)		
Alfalfa	ReadFromFile(porcentajes_produccion.csv, 2, , Repeat	ReadFromFile(porcentajes_ingresos.csv, 2, , Repeat)		
Trigo	ReadFromFile(porcentajes_produccion.csv, 3, , Repeat	ReadFromFile(porcentajes_ingresos.csv, 3, , Repeat)		
Otros	ReadFromFile(porcentajes_produccion.csv, 4, , Repeat	ReadFromFile(porcentajes_ingresos.csv, 4, , Repeat)		

Figura 42. Variables económicas agrícolas de cadena en Excel

Los valores que se obtienen del análisis (las tarifas) se deben agregar en el dashboard de Excel.

Productividad Económica (\$/m3)			
	Baseline	Escenario	Porcentaje Volumen
Algodón	\$3.39		16.3%
Alfalfa	\$7.17		32.3%
Trigo	\$3.06		28.8%
Otros	\$13.29		22.6%

Tarifas		
	Baseline	Escenario
MXL	\$10.33	
SLRC	\$10.33	

**Figura 43.** Dashboard de Excel, variables económicas.

Una vez que se agregaron las variables, declaran las variables en Visual Basic para poder correrlas en WEAP.

```
'-----VARIABLES ECONÓMICAS (numéricas)-----
'PORCENTAJES DE MÓDULOS

'Porcentaje de módulo 1
PA_M1 = Range("AG8")
PRC_M1 = Range("AG9")
PST_M1 = Range("AG10")

'Porcentaje de módulo 2
PA_M2 = Range("AJ8")
PRC_M2 = Range("AJ9")
PST_M2 = Range("AJ10")

'Porcentaje de módulo 3
PA_M3 = Range("AM8")
PRC_M3 = Range("AM9")
PST_M3 = Range("AM10")

'Porcentaje de módulo 4
PA_M4 = Range("AP8")
PRC_M4 = Range("AP9")
PST_M4 = Range("AP10")

'Porcentaje de módulo 5
PA_M5 = Range("AG17")
PRC_M5 = Range("AG18")
PST_M5 = Range("AG19")

'Porcentaje de módulo 6
PA_M6 = Range("AJ17")
PRC_M6 = Range("AJ18")
PST_M6 = Range("AJ19")

'Porcentaje de módulo 7
PA_M7 = Range("AM17")
PRC_M7 = Range("AM18")
PST_M7 = Range("AM19")
```

**Figura 44.** Variables económicas agrícolas en Visual Basic.

---

## GLOSARIO

<b>Siglas</b>	<b>Nombre</b>	<b>Definición</b>	<b>Unidades</b>
A <sub>a</sub>	Agua aplicada	Volumen de agua (abastecimiento promedio)	m <sup>3</sup>
C <sub>a</sub>	Costo del agua	Costo del agua en las diferentes ciudades	\$
F <sub>t</sub>	Valor de la producción	Valor/ cantidad/facturación total de la producción en pesos	\$
C <sub>ha</sub>	Ganancia	El producto del rendimiento por el precio medio rural	\$/ha
IS	Índice de sustentabilidad	El IS es un compuesto de criterios de desempeño	%
L <sub>a</sub>	Lámina de agua	Lámina de agua del cultivo	m
PMR	PMR	Precio medio rural. Es el precio promedio que recibe el producto por cada uno de los productos agrícolas, pecuarios y forestales, al primer nivel de comercialización, dentro del municipio.	\$/ton
Prod	Producción	Cantidad total del cultivo	ton
R	Rendimiento	Cantidad de cultivo cosechado por área del cultivo	ton/ha
V <sub>p</sub>	Valor presente	Es el valor presente o actual	

---

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b>	Concesión de agua del Río Colorado.....	14
<b>Tabla 2.</b>	Uso de modelos hidro-económicos en la gestión del agua con enfoque en cambio climático.....	25
<b>Tabla 3.</b>	Distribución del agua en el lado mexicano del Río Colorado.....	29
<b>Tabla 4.</b>	Relación de proyectos con actas de la CILA, adaptado de (CILA, 2023) 35	
<b>Tabla 5.</b>	Ahorros y reducciones de las asignaciones de agua en México, Acta 323.37	
<b>Tabla 6.</b>	Ahorros y recortes y reducciones históricas y probables de las asignaciones de agua en México, Acta 323.....	37
<b>Tabla 7.</b>	Ahorros, recortes y reducciones de las asignaciones a México, Acta 330 39	
<b>Tabla 8.</b>	Ahorros, recortes y reducciones de las asignaciones a México, Acta 323 y 330 39	
<b>Tabla 9.</b>	Total de reducciones en las asignaciones a México, Acta 323 y 330...40	
<b>Tabla 10.</b>	Descripción de escenarios del manejo del agua.....	48
<b>Tabla 11.</b>	Abastecimiento promedio debido a las reducciones.....	54
<b>Tabla 12.</b>	Productividad económica del agua histórica DR-014.....	55
<b>Tabla 13.</b>	Productividad económica del agua modelada DR-014.....	55
<b>Tabla 14.</b>	Costos del agua en Baja California.....	56
<b>Tabla 15.</b>	Costo del agua por subsistema.....	57
<b>Tabla 16.</b>	Productividad modelada de los Valles SS3.....	57
<b>Tabla 17.</b>	Beneficios Netos en la cuenca del Río Colorado en México.....	58
<b>Tabla 18.</b>	Cambio en la productividad de los cultivos debido al cambio climático 59	
<b>Tabla 19.</b>	Inversión en el por el aumento de aplicación en los cultivos DR-014 59	
<b>Tabla 20.</b>	Cambio del costo por el incremento en la eficiencia de la red en Mexicali y SLRC.....	60
<b>Tabla 21.</b>	Inversión por la rehabilitación de pozos en Tijuana.....	60
<b>Tabla 22.</b>	Cambio del costo del agua por ampliación del ARCT.....	60
<b>Tabla 23.</b>	Cambio del costo por el incremento en la eficiencia de la red en Tecate y Tijuana.....	61
<b>Tabla 24.</b>	Inversión de escenarios en el sistema SS3.....	61

---

<b>Tabla 25.</b>	Cambio del costo por el incremento en la eficiencia de la red en Ensenada	61
<b>Tabla 26.</b>	Escenarios individuales del SS1.....	62
<b>Tabla 27.</b>	Escenarios individuales del SS2.....	65
<b>Tabla 28.</b>	Escenarios individuales del SS3.....	67
<b>Tabla 29.</b>	Meta Escenarios.....	68
<b>Tabla 30.</b>	Indicador de color de los Meta Escenarios.....	69
<b>Tabla 31.</b>	Beneficios Netos-IS del sistema del Río Colorado en México.....	69
<b>Tabla 32.</b>	Beneficios Netos-IS en la cuenca del Río Colorado en México (escenarios).	72
<b>Tabla 33.</b>	Estadísticas agrícolas del DR-014.....	87
<b>Tabla 34.</b>	Productividad histórica del DR-014.....	89
<b>Tabla 35.</b>	Productividad modelada del DR-014.....	91
<b>Tabla 36.</b>	Productividad económica del Valle de Maneadero.....	92
<b>Tabla 37.</b>	Productividad económica del agua de la Flor en el Valle de Maneadero	93
<b>Tabla 38.</b>	Productividad económica del agua de los espárragos en el Valle de Maneadero	94
<b>Tabla 39.</b>	Productividad económica del agua del jitomate en el Valle de Maneadero	95
<b>Tabla 40.</b>	Productividad económica del agua del pepino en el Valle de Maneadero	96
<b>Tabla 41.</b>	Productividad económica del agua de otros cultivos en el Valle de Maneadero	97
<b>Tabla 42.</b>	Beneficios Netos-Abastecimiento de escenarios individuales del SS1	98
<b>Tabla 43.</b>	Beneficios Netos SS1. Reducción de alfalfa.....	102

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Cuenca del Río Colorado (IMTA, 2020).	13
<b>Figura 2.</b>	Monitor de sequía de América del Norte, (CONAGUA, 2023).	15
<b>Figura 3.</b>	Presas de EUA y México (Hinojosa-Huerta & Carrillo-Guerrero, 2010).	16
<b>Figura 4.</b>	Aguas transfronterizas de México, adaptado de (Gómora Alarcón, 2014).	26
<b>Figura 5.</b>	Cuencas transfronterizas en México	27
<b>Figura 6.</b>	Distribución de las aguas del Río Colorado (CILA, 2023).	28
<b>Figura 7.</b>	Cuenca y subcuencas del Río Colorado en EUA y México (Hinojosa-Huerta & Carrillo-Guerrero, 2010)	30
<b>Figura 8.</b>	Figura 9 Regiones Hidrológico-Administrativas de México (SEMARNAT, 2015).	31
<b>Figura 9.</b>	Figura 10 Regiones Hidrológicas de México (SEMARNAT, 2015).	32
<b>Figura 10.</b>	Tratados y convenciones entre México y EUA, adaptado de (SRE a, 2014).	33
<b>Figura 11.</b>	Predicción del nivel de agua en la presa Hoover hasta el 2026 (USBR, 2024).	38
<b>Figura 12.</b>	a) Sistema en México del Río Colorado. b) Distribución simplificada de las entregas del Río Colorado en México (Hernández-Cruz et al., 2023).	41
<b>Figura 13.</b>	Distribución del agua disponible del Río Colorado en México en los usuarios mexicanos.	41
<b>Figura 14.</b>	Metodología general	42
<b>Figura 15.</b>	Metodología del análisis hidrológico (Hernández-Cruz et al., 2023).	43
<b>Figura 16.</b>	Distribución del abastecimiento del sistema del Río Colorado en México.	44
<b>Figura 17.</b>	Área de estudio.	45
<b>Figura 18.</b>	Escenario histórico (Hernández-Cruz et al., 2023).	46
<b>Figura 19.</b>	Calibración los beneficios netos del DR-014.	56
<b>Figura 20.</b>	Beneficios Netos con las reducciones en las entregas del Río Colorado en México.	63
<b>Figura 21.</b>	Beneficios Netos del Río Colorado.	64
<b>Figura 22.</b>	Costos- Abastecimiento promedio en el SS2.	66

---

<b>Figura 23.</b>	Beneficios Netos del SS3.....	67
<b>Figura 24.</b>	Beneficios Netos SS1 (escenarios combinados).....	70
<b>Figura 25.</b>	Costos e Inversión del SS2 (escenarios combinados) .....	71
<b>Figura 26.</b>	Beneficios Netos SS2 (escenarios combinados).....	72
<b>Figura 27.</b>	Beneficios Netos del Río Colorado en México. ....	73
<b>Figura 28.</b>	Beneficios de Río Colorado en México.....	74
<b>Figura 29.</b>	Costos e Inversión en el Río Colorado en México.....	74
<b>Figura 30.</b>	Esquema del modelo de la asignación de Baja California .....	86
<b>Figura 31.</b>	Beneficios NetosSS1. Escenario base.....	99
<b>Figura 32.</b>	Beneficios Netos SS1. Reducciones en las entregas del agua.....	99
<b>Figura 33.</b>	Beneficios Netos SS1. Cambio Climático.....	100
<b>Figura 34.</b>	Beneficios Netos SS1. Canal Todo Americano.....	100
<b>Figura 35.</b>	Beneficios Netos SS1. Eficiencia de aplicación. ....	101
<b>Figura 36.</b>	Beneficios Netos SS1. Reducción de ha de totales. ....	101
<b>Figura 37.</b>	Beneficios Netos SS1. Aumento en la eficiencia de red de agua potable	102
<b>Figura 38.</b>	Beneficios Netos SS1. Delta.....	103
<b>Figura 39.</b>	Relación del incremento del costo-abastecimiento SS2.....	103
<b>Figura 40.</b>	Metodología en WEAP para cargar las variables y sus valores.....	104
<b>Figura 41.</b>	Variables económicas agrícolas numéricas en Excel .....	105
<b>Figura 42.</b>	Variables económicas agrícolas de cadena en Excel.....	105
<b>Figura 43.</b>	Dashboard de Excel, variables económicas.....	106
<b>Figura 44.</b>	Variables económicas agrícolas en Visual Basic.....	106