



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA

MODELACIÓN DE GESTIÓN DE LOS RECURSOS
HIDRICOS EN LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO,
MEDIANTE EL WATER EVALUATION AND PLANNING
SYSTEM (WEAP)

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA DE SISTEMAS - GESTIÓN INTEGRAL DEL
AGUA

P R E S E N T A:

MARÍA ELIZABETH GONZÁLEZ AVILÉS

TUTOR:

DR. HÉCTOR SANVICENTE SÁNCHEZ



2012

JURADO ASIGNADO:

Presidente:M.C Hidalgo Toledo Arturo

Secretario:M.I González Verdugo José Alfredo

Vocal:Dr. Sanvicente Sánchez Héctor

1er. Suplente:M.T.E Romero Castro Antonio

2do. Suplente:M.I Salcedo Sánchez Edith

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA)
Paseo Cuauhnahuac No.8532 Col. Progreso, Jiutepec, Morelos:

PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN INGENIERIA - UNAM -

TUTOR DE TESIS:

DR. HÉCTOR SANVICENTE SÁNCHEZ

Dedicatoria

A mis Padres:

Gracias, primero a Dios por darme la vida, y a ustedes padres por déjame vivir, por compartir mis horas grises, mis momentos felices, sueños e inquietudes. Que con su apoyo me ayudaron a alcanzar mis metas, por hacer de mí lo que hoy soy: gente de provecho, de grandes ideales y noble corazón. Les doy gracias por mi formación profesional. Para ustedes, queridos Padres: Que Dios los bendiga siempre.

A mis hermanos:

Por estas siempre apoyándome y soportándome. Y aunque a veces no me entiendan están siempre ahí conmigo... Raúl, y Lety. Lety, te debo mucho de lo que ahora soy, eres como mi segunda mamá, siempre fuiste y serás mi mayor ejemplo, los amo mucho...

A mi esposo:

A mi esposo, amigo, confidente... Arturo, por estar conmigo en aquellos momentos en que el estudio y el trabajo ocuparon mi tiempo y esfuerzo, por estar ahí siempre para mí. . Gracias por todo tu apoyo incondicional...Te Amo

El verdadero amor no es otra cosa que

el deseo inevitable de ayudar al otro para que sea quien es.

Jorge Bucay

Agradecimientos

Quiero dar dar mi mayor agradecimiento al **Dr. Héctor Sanvicente Sánchez**, por su apoyo incondicional, su **paciencia** y su valiosa participación en el desarrollo de mi Tesis, gracias por sus aportaciones.

A todos aquellos que directamente o indirectamente pusieron su granito de arena en mi formación y que me instruyeron a lo largo de estos años.

M.C Hidalgo Toledo Arturo
M.I González Verdugo José Alfredo
M.T.E Romero Castro Antonio
M.I Salcedo Sánchez Edith
M.I Gómez Martínez Juan Fco.

Agradezco por brindarme su amistad y apoyo incondicional a mis amigos y compañeros.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, por el apoyo brindado para el desarrollo de este proyecto

Al **Instituto Mexicano de Tecnología del Agua** por él apoyó en la infraestructura proporcionada.

Al **CONACYT**, por el apoyo económico brindado durante el estudio de la maestría.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
Presentación.....	11
Capítulo 1 . INTRODUCCIÓN.....	12
1.1 Antecedentes.....	14
1.1.1. Enfoque de Gestión Integral de los Recursos Hídricos	16
1.1.2 Gestión de las Aguas Superficiales de la Cuenca Alta del Río Colorado	17
1.1.3 Conocimiento del WATER EVALUATION AND PLANNING SYSTEM (WEAP)	18
1.1.4 Descripción del WEAP	18
1.1.5 Ventajas de la Plataforma WEAP	19
1.2 Problemática.....	20
1.3 Justificación.....	21
1.4 Alcance.....	22
1.5 Objetivos.....	23
1.5.1 Objetivo General	23
1.5.2 Objetivos particulares	23
Capítulo 2 . DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	24
2.1 Características Físicas de la Cuenca del Río Colorado. 24	
2.1.1 Localización Geográfica	24
2.1.2 Hidrología	25
2.1.3 Características Ambientales	27
2.1.4 Infraestructura y Usos	28
2.1.4.1 Distribución del Manejo de las Presas.....	28
2.1.4.2 Usos del agua.....	29
2.2 Aspectos Socioeconómicos.....	30
2.2.1 Población	31
2.2.2 Ecosistemas	35
Capítulo 3 . METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO POR MEDIO DEL WATER EVALUATION AND PLANNING SYSTEM (WEAP)	36
3.1 Información Requerida para Construir el Modelo en WEAP	36
3.2 Modelación en WEAP de la Cuenca Alta del Río Colorado. 39	
3.2.1 Elaboración del Esquema en WEAP	39

3.2.2	Ríos o Corrientes Naturales	42
3.2.3	Derivaciones	44
3.2.4	Presas	45
3.2.5	Sitios de Demanda	48
3.2.5.1	Demanda por Presa.....	50
3.2.5.2	Demanda por Río.....	51
3.2.6	Usos de Agua en la Cuenca Alta del Río Colorado .	53
3.2.7	Flujos de Retorno	54
3.2.8	Requerimientos de Flujo	55
3.2.9	Estaciones Hidrométricas (Stream Gauges)	55
3.3	Entrada de Datos a WEAP.....	57
3.3.1	Sitios de Demanda	58
3.3.2	Ríos o Corrientes Naturales	59
3.3.3	Presas	61
3.3.4	Flujo Mínimo a través de la red de drenaje	62
3.4	Reglas de Operación de las presa de la Cuenca Alta del Río Colorado.....	62
3.4.1	Calculo para Satisfacer las Demandas	64
3.4.2	Retornos	65
3.4.3	Otras Fuentes de entrada de agua al sistema (Other Supply)	66
Capítulo 4 . VALIDACIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO.....		68
4.1	Introducción.....	68
4.2	El Flujo a lo Largo del Canal Principal y sus Afluentes	69
4.2.1	Tramo de Río Green Aguas	69
4.2.2	Tramo del Río White	71
4.2.3	Tramo del Río Duchesne Debajo de Starvation	73
4.2.4	Tramo del Río Gunnison	75
4.2.5	Tramo del Río San Juan	76
4.2.6	Tramo del Río Colorado	77
4.3	Almacenamiento y Flujo de Salida de los Diferentes Embalses de la Cuenca Alta del Colorado.....	78
4.3.1	Almacenamiento y Flujo de Salida de Fontanelle ..	78
4.3.2	Almacenamiento y Flujo de Salida de Flaming Gorge	79
4.3.3	Almacenamiento y Flujo de Salida de Taylor Park .	79
4.3.4	Almacenamiento y Flujo de Salida de Crystal	80
4.3.5	Almacenamiento y Flujo de Salida de Blue Mesa ...	81
4.3.6	Almacenamiento y Flujo de Salida de Morrow Point	81
4.3.7	Almacenamiento y Flujo de Salida de Starvation ..	82
4.3.8	Almacenamiento y Flujo de Salida del embalse Navajo	83
4.4	Entrega de Agua a los Usuarios.....	84
4.4.1	Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "Arizona Misc Uses"	84
4.4.2	Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "Dolores Project Import Uses"	85

4.4.3 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "Lower Gunnison WQIP"	85
4.4.4 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "Price River Export"	86
4.4.5 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "McElmoCreekWQIP"	87
4.4.6 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "UtahAgUse"	87
4.5 Resultados	88
Capítulo 5 . CONCLUSIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	91
APÉNDICE A-1	94
APÉNDICE A-2	95
APÉNDICE A-3	98
APÉNDICE A-4	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2 1. Localización Geográfica de la cuenca del río Colorado (Final EIS-Colorado River Interim Guidelines)...	25
Figura 2 .2 Afluentes del río Colorado.....	26
Figura 2. 3 Localización de las principales presas de la Cuenca Alta y Baja del Colorado, elaboración propia, WEAP.	29
Figura.3.1 Cuenca Alta y Baja del Colorado.....	40
Figura 3.2 Delimitación de la Cuenca Alta y Baja del Colorado en el programa ArcGis.....	41
Figura 3.3 Importación del mapa para crear la Zona de Estudio	41
Figura 3.4 Ríos que conforman la Cuenca Alta del Colorado.	42
Figura 3.5 Ríos de forma detallada de la Cuenca Alta del Colorado.....	43
Figura 3.6 Creación de ríos en la Cuenca Alta del Colorado en ArcGis.....	43
Figura 3.7 Ríos principales y tributarios de la cuenca del río Colorado editados en ArcGis.....	44
Figura 3.8 Puntos de derivación aguas arriba de Fontanelle y debajo de esta presa, situadas en el río Green.....	45
Figura 3.9. Principales cuerpos de agua en la Cuenca Alta y Baja del Colorado Seria bueno poner el nombre de las presas o cuerpos de agua.....	46
Figura 3.11 Curva volumen - Elevación Presa Fontanelle y Presa Crystal.....	48
Figura 3.12 Gráfica de las demandas del sistema Aspinall Unit	51
Figura 3.13 Demandas del río Colorado.....	52
Figura 3.14 Demandas del río Green.....	53
Figura 3.15 Usuarios con flujos de retorno en otro río....	55

Figura 3.17	Ubicación de estaciones hidrométricas.....	57
Figura 3.18	Estaciones hidrométricas creadas en WEAP.....	57
Figura 3.19	Nombramiento de los sitios de demanda en WEAP.	58
Figura 3.20	Introducción de datos en los sitios de demanda en WEAP.....	59
	Demandas en WEAP (3.21a) Consumo de usuarios en WEAP (3.21b)	59
Figura 3.21 a y b	Demandas y consumos en hojas de Excel para WEAP.....	59
Figura 3.22	Sintaxis de flujos locales y de cabecera en la programación de políticas.....	61
Figura 3.23	Curva elevación -volumen presa Morrow Point en WEAP.....	62
Figura 3.25	Establecimiento de los flujos de retorno en el modelo WEAP.....	66
Figura 3.26	Extracción de información de Otras Fuentes....	66
Figura 3.27	Otras Ganancias.....	67
Figura 4.1	Esquema de tramo de río Green en el modelo Weap y Riverware entre Fontenelle y Flaming Gorge.....	70
Figura 4.2	Entradas y salidas del tramo de río Green, comparación de resultados de WEAP con RiverWare.....	71
Figura 4.3	Esquema de tramo de río White del modelo WEAP y RiverWare.....	72
Figura 4.4	Entradas y salidas del tramo de río White, comparación de resultados de WEAP con RiverWare.....	73
Figura 4.7	Esquema de tramo de río Gunnison del modelo WEAP y RiverWare.....	75
Figura 4.8	Entradas y salidas del tramo de río Gunnison, comparación de resultados de WEAP con RiverWare.....	76
Figura 4.10	Entradas y salidas del tramo del río San Juan, comparación de resultados de WEAP con RiverWare.....	77

Figura 4.11 Esquema de tramo del río Colorado del modelo WEAP y RiverWare.....	78
Figura 4.12 Entradas y salidas del tramo del río Colorado, comparación de resultados de WEAP con RiverWare.....	78
Figura 4.13 Almacenamiento y Salida de Fontenelle (2008-2026).....	79
Figura 4.14 Almacenamiento y Salida de Flaming Gorge (2008-2026).....	79
Figura 4.15 Almacenamiento y Salida de Taylor Park (2008-2026).....	80
Figura 4.16 Almacenamiento y Salida de Crystal (2008-2026)-.....	81
Figura 4.17 Almacenamiento y Salida de Blue Mesa (2008-2026).	81
Figura 4.18 Almacenamiento y Salida de Morrow Point (2008-2026).....	82
Figura 4.19 Almacenamiento y Salida de Starvation (2008-2026).....	83
Figura 4.20 Almacenamiento y Salida de Navajo (2008-2026).	83
Figura 4.21 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado Arizona Misc Uses, localizados en el río Colorado aguas arriba del embalse Powell (2008-2026).....	84
Figura 4.22 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado Dolores Project Import Uses, localizados en el río San Juan aguas abajo del embalse Navajo(2008-2026).	85
Figura 4.23 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado Lower Gunnison WQIP, localizados en el río Gunnison River aguas abajo del embalse Crystal (2008-2026).	86
Figura 4.24 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado Price River Export, localizados en el río Green aguas abajo del embalse Flaming Gorge(2008-2026)... ..	87

Figura 4.25 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado McElmoCreekWQIP, localizados en el rio San Juan aguas abajo del embalse Navajo(2008-2026)..... 87

Figura 4.26 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado UtahAgUses, localizados en el rio White que se conecta aguas abajo del rio Green(2008-2026)..... 88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Derechos de Agua de la Cuenca Alta y Baja del Colorado.....	30
Tabla 3.1 Características de las presas de la Cuenca Alta del río Colorado.....	47
Tabla 3. 2 Demandas y Consumos de la Cuenca Alta del río Colorado por Estado.....	49
Tabla 3.4 Demanda por presa de la Cuenca Alta del río Colorado.....	51
Tabla 3.5 Demanda de Agua por río de la Cuenca Alta del Colorado.....	52
Tabla 3.6 Usos de Agua de la Cuenca Alta del río Colorado.....	54
Tabla 3.7 Flujos Locales de la Cuenca Alta del río Colorado.	60
Tabla 3. 8 Flujos Mínimos y Máximos de Extracción en las Presas de la Cuenca Alta del río Colorado.....	64
Tabla 3. 9 Pesos para Corregir el Pronóstico de Flujos de Entrada a las Presas Flaming Gorge, Blue Mesa y Navajo.....	65

RESUMEN

El Gobierno Mexicano, a través de la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y la Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), tiene especial interés en la gestión de los recursos hídricos de la Cuenca Alta del río Colorado con motivo de los acuerdos internacionales de distribución de las aguas que para las cuencas transfronterizas tiene con los Estados Unidos de América. En este trabajo se presenta la descripción del esquema operativo general de la Cuenca Alta y su implementación en un modelo de simulación de la gestión de los recursos hídricos en la plataforma WEAP (Sistema para la Planeación y Evaluación del Agua). La cuenca del río Colorado es un sistema de recursos hídricos complejo, que es operado para satisfacer múltiples objetivos, los cuales son frecuentemente conflictivos, ya que compiten por el uso del agua. Los modelos de simulación como el WEAP son capaces de representar la diversa naturaleza y complejidades de una cuenca, convirtiéndose en poderosas herramientas para facilitar la planeación efectiva de la operación de los sistemas de recursos hídricos. En el caso de la cuenca del río Colorado el sistema de presas es manejado por el "U.S. Bureau of Reclamation" (USBR) de los Estados Unidos de América, y es gobernado estrictamente de acuerdo con la ley del río, una serie de documentos que datan de 1922. El presente trabajo ayudo en la implementación de la plataforma WEAP, de un modelo de simulación de la Cuenca Alta del río Colorado, el cual por medio de la gestión de sus aguas, permitió conocer las demandas de la Cuenca Alta y su posible distribución aguas abajo de dicha cuenca. Se llevo a cabo una validación de los volúmenes en el modelo que consistió en establecer y comparar el flujo a lo largo del canal principal y sus afluentes, almacenamiento y los caudales de salida de los mismos, así como la entrega de agua a los diferentes usuarios, los resultados obtenidos fueron los mismo en la ejecución del modelo WEAP contra la ejecución del modelo CRSS (Colorado River Simulacion System) a través del RiverWare que emplea el USBR.

ABSTRACT

The Mexican Government, through the National Water Commission (Conagua) and the International Boundary and Water Commission (CILA), and on the occasion of the international agreements on water distribution that has transboundary basins in the United States of America, has a special interest in the water resource management of the Colorado River upper basin. This paper presents a general description of the operational scheme of the upper basin and its implementation in a simulation model for water resources management using WEAP platform (System for Planning and Evaluation of Water). Colorado River Basin is a complex water system that is operated to meet multiple objectives, which are often conflicting and competing for water use. Simulation models in WEAP are able to represent the diverse nature and complexities of a watershed, becoming a powerful tool to facilitate an effective operation planning of water resource systems. As for the Colorado River Basin, reservoir system is managed by the U.S. Bureau of Reclamation (USBR) of the United States, and is governed strictly in accordance with the law of the river, a series of documents dating from 1922. This work contributed to the implementation of the WEAP platform, a simulation model for the Upper Colorado River Basin. Through water management simulations, the demands of the Upper Basin and the possible distribution of basin's downstream were known. A validation of the volumes from the model was carried out to establish and compare the flow along the main channel and its tributaries, storage and output flows and the distribution of water to the different users, the results were the same than the WEAP model run and the model run CRSS (Colorado River Simulation System) through RiverWare used by the USBR.

Presentación

El estudio se realizó con el propósito de administrar el manejo de las aguas de la Cuenca Alta del río Colorado, sabiendo que es una de las más importantes.

En el Capítulo 1, se presentan los antecedentes de la Cuenca Alta del río Colorado, así como la gestión de sus aguas, su problemática, justificación y alcances.

En el Capítulo 2, se describen las características fisiográficas de la Cuenca Alta del río Colorado, así como su ubicación, hidrología, sus características ambientales su infraestructura y usos.

En el Capítulo 3, se desarrolló la metodología de la construcción del modelo de simulación de la gestión de las Aguas superficiales de la Cuenca Alta del río Colorado mediante la plataforma WEAP.

En el Capítulo 4, se validó el modelo de simulación en la plataforma Weap contra el modelo del Colorado River Simulation System (CRSS) en la plataforma RiverWare, los resultados obtenidos se compararon.

En el Capítulo 5, se presentan las conclusiones de los resultados obtenidos del modelo de simulación de las Aguas superficiales de la Cuenca Alta del río Colorado.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Colorado es un sistema de recursos hídricos complejo, que es operado para satisfacer múltiples objetivos, los cuales son frecuentemente conflictivos, ya que compiten por el uso del agua. La operación del sistema de presas de la cuenca del Colorado es manejada por el "U.S. Bureau of Reclamation" (USBR) de los Estados Unidos de América (Jerla, 2005), y es gobernada estrictamente de acuerdo con la ley del río, una serie de documentos que datan de 1922. La hidrología del río Colorado es altamente variable, adicionalmente, la ocurrencia de sequías, la más reciente entre los años 2000 a 2004, ha provocado que los encargados de la toma de decisiones respecto de la operación del sistema estén enfrentando el reto de balancear los múltiples objetivos de los usuarios en condiciones de escasez.

Además de la problemática antes descrita, no se tienen definidas, en la ley del río, las reglas de operación para condiciones de baja disponibilidad en los embalses. La sobreexplotación y litigios han estado presentes en la cuenca del río Colorado desde la firma del "Colorado River Compact" en 1922, negociado durante un periodo de escurrimientos relativamente altos. Desde entonces la Cuenca ha experimentado un desarrollo continuo. Una larga historia de litigios combinada con el incremento sostenido de las demandas y la alta variabilidad hidrológica de la región, condujeron al USBR y a los usuarios de las aguas del río Colorado a entrar en negociaciones con el fin de adoptar reglas de operación oficiales para la Cuenca Baja en condiciones de escasez, ya que esta cuenca depende del sistema de distribución de la Cuenca Alta del Colorado para la satisfacción de sus demandas de la Cuenca Baja y una mejor distribución de las aguas en la parte baja del Colorado. En estas negociaciones y en las futuras los modelos computacionales han jugado y jugarán un papel central

en el desarrollo de las mejores alternativas de operación del sistema (USBR, 2007).

Los modelos computacionales son capaces de representar la diversa naturaleza y complejidades de una cuenca, convirtiéndose en poderosas herramientas para facilitar la planeación efectiva de la operación de los sistemas de recursos hídricos. El USBR utiliza intensivamente la modelación; su modelo de planeación oficial, el "Colorado River Simulation System" (CRSS) es un componente necesario para los estudios de planeación y políticas de operación a largo plazo. La exploración de diferentes políticas de operación de embalses y la evaluación y revisión de éstas, mediante la modelación, es esencial para asegurar que las operaciones puedan responder a las cambiantes condiciones hidrológicas y de gestión del agua del río.

La complejidad de interacciones entre restricciones y objetivos en la operación, generan la necesidad de contar con un sistema de soporte que pueda asistir a los gestores del sistema de recursos hídricos en la organización y negociación de usos conflictivos en la cuenca y sistema de embalses, es por este motivo que se utilizará una herramienta (software) capaz de gestionar los recursos hídricos superficiales de dicha cuenca , llamado WEAP (Water Evaluation And Planning And System) y transferir sus resultados a las dependencias pertinentes para la toma de decisiones. El modelo incluye, políticas de operación, suministros de agua, demandas, flujos tributarios, almacenamientos, etc. La cuenca del río Colorado por criterios operativos, ha sido dividida en Cuenca Alta y Cuenca Baja.

El río Colorado sirve como fuente de abastecimiento para diversos usos: irrigación, generación de energía, uso urbano, industrial, recreación y otros usos para siete Estados de los EU y dos para México. A cada estado se le asigna una cierta cantidad de agua cuya administración y distribución es hecha por el Gobierno Federal de los EU, de forma consistente con la ley del río, que incluye: dos acuerdos interestatales que tienen el estatus de

leyes estatales y federales, criterios de operación, y un tratado internacional.

En la ley del río existen incertidumbres y ambigüedad respecto a cómo debe ser operado el sistema de recursos hídricos de la cuenca del Colorado durante condiciones de sequía. El resultado es un debate en curso entre organismos de agua estatales, el gobierno federal y otros grupos de presión, sobre cómo definir y proveer la entrega apropiada del agua a través del complicado sistema de reparto del río durante la presencia de una sequía, considerando los otros objetivos importantes como la protección y mejoramiento de los recursos naturales de la cuenca, el esparcimiento y las necesidades de generación de energía.

1.1 Antecedentes

La gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) es un proceso sistemático de desarrollo sostenible, asignación y seguimiento de los recursos hídricos. Tanto el concepto como los principios de la GIRH se expresaron claramente en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente que tuvo lugar en Dublín, Río de Janeiro, Brasil (CIAMA, 1992).

Un documento de consenso que emergió de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. La GIRH surgió como un enfoque holístico para la gestión del agua, en respuesta a las crecientes demandas rivalizantes sobre reservas finitas de agua dulce. El enfoque apunta a garantizar un desarrollo concertado de los recursos hídricos, con el fin de optimizar el bienestar económico y social sin comprometer la sostenibilidad de los sistemas ambientales (Asociación Mundial del Agua, GWP por sus siglas en inglés, 2000).

Gestión integral del Agua, para la Asociación Mundial del Agua (GWP por sus siglas en inglés), el manejo integrado de recursos hídricos es un proceso que promueve el manejo del desarrollo coordinado del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el

fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2000).

Para el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), es el conjunto de actividades o proyectos encaminados a aumentar la conservación del agua y a utilizarla más eficientemente y aumentar la complementariedad tanto en cantidad como en calidad, o reducir conflictos entre usos que compiten, en un determinado subsector o entre subsectores. Incluyendo tanto el manejo de la oferta como el de la demanda y fomenta la existencia de organizaciones competentes, marcos reguladores y recursos humanos (<http://www.iadb.org/>).

Ley de Aguas Nacionales (Diario Oficial de la Federación del 1 de Diciembre de 1992), última reforma publicada DOF -2008, en el artículo 3ero. define a la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos como: "Proceso que promueve la gestión y desarrollo coordinado del agua, la tierra, los recursos relacionados con éstos y el ambiente, con el fin de maximizar el bienestar social y económico equitativamente sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. Para la aplicación de esta Ley en relación con este concepto se consideran primordialmente agua y bosque". Esta definición es similar a la que hace la Asociación Mundial del Agua (GWP por sus siglas en inglés).

La GIRH es un proceso de asignación de funciones a los sistemas de agua, de establecer normas, cumplir con la ley (mantener el orden) y de gestión. Incluye la recolección de información, el análisis de los procesos físicos y socioeconómicos, y considerar los intereses y tomas de decisión relacionados con la disponibilidad, desarrollo y uso de los recursos hídricos (Hofwegen y Jaspers, 1999).

La gestión integrada del recurso hídrico tiene como principales desafíos (GWP y Comité de Consejo Técnico por sus siglas en inglés, 2000):

Asegurar el agua para las personas. Dar prioridad a la satisfacción de las necesidades humanas básicas de agua.

Asegurar el agua para la producción de alimentos. Crecientemente, se observa una restricción del agua en la producción de alimentos, a la par o mayor que la escasez de tierras. Actualmente la irrigación en la agricultura es responsable de más del 70% de las extracciones de agua.

Desarrollar otras actividades creadoras de trabajo. Todas las actividades humanas requieren agua y producen desechos, pero algunas de ellas requieren más agua o producen más desechos que otras.

Proteger los ecosistemas vitales. Los ecosistemas producen grandes beneficios, y estos dependen directamente del flujo del agua, la estacionalidad, las fluctuaciones en los niveles de agua y la calidad de agua como factor determinante. El manejo de recursos de agua y tierra deben garantizar que se mantenga la vida del ecosistema y que los efectos adversos sobre estos recursos naturales sean considerados y en lo posible mejorarlos cuando se tomen decisiones de manejo y desarrollo del recurso hídrico.

1.1.1. Enfoque de Gestión Integral de los Recursos Hídricos

El IV Foro Mundial del Agua (**FMA IV**) buscó que la GIRH incluya la valoración de estrategias para ayudar a los países y a las regiones a avanzar hacia una administración integrada del agua y hacia un uso más eficiente de los recursos hídricos, utilizando todos los instrumentos de política disponibles. Es por ello que las estrategias deben abarcar cambios institucionales, financieros, tecnológicos y la promoción de acciones a todos los niveles, siempre con respeto a las condiciones locales y buscando la participación de los beneficiarios en labores de monitoreo. La GIRH puede beneficiar también el proceso de rendición de cuentas de las instituciones públicas y privadas relacionadas con el agua, el uso y distribución del líquido (Informe final del agua, México, 2006, Foro mundial IV).

1.1.2 Gestión de las Aguas Superficiales de la Cuenca Alta del Río Colorado

Con el propósito de conducir procesos de gestión de agua a nivel de cuenca, las entidades responsables necesitan información para especificar objetivos precisos a fin de satisfacer, a corto, mediano y largo plazo, las necesidades humanas y de los ecosistemas.

El desarrollo y gestión del agua en una cuenca permite el buen funcionamiento de los recursos hídricos de la cuenca, mientras que proporciona el manejo y administración a largo plazo reglamentario de agua para satisfacer las demandas.

Los propósitos fundamentales de los embalses de la Cuenca Alta del río Colorado son: regular el flujo; gestionar el uso y manejo del agua para su distribución; prever la recuperación de tierras áridas y semiáridas (en la Cuenca Baja del río Colorado); mantener el caudal ecológico establecido de 12,335 m³ (10 acres-pies); proporcionar control de inundaciones; y generar energía hidroeléctrica a largo plazo. Los embalses son los responsables de almacenar el agua que es el resultado de las precipitaciones que caen principalmente en forma de nieve en las altas montañas de la Cuenca Alta. Esta agua se utiliza para usos municipales, industriales y agrícolas en los estados de la Cuenca Alta, así como para proporcionar los suministros necesarios para la Cuenca Baja y México. La combinación de la capacidad total de almacenamiento de la presa Powell y Mead, prevé la mayor parte de la capacidad total de almacenamiento y control de descargas de agua a la Cuenca Baja y México.

La planificación para lograr la gestión de las aguas del río Colorado se debe sustentar principalmente en estrategias que permitan alcanzar los objetivos predeterminados por y para un grupo relativamente grande de actores que dependen y comparten un mismo recurso y territorio. Las decisiones deben tomarse por medio

de sistemas establecidos legalmente para que tengan validez y aceptación. Los planes deben ser considerados como instrumentos de gestión.

La complejidad de interacciones entre restricciones y objetivos en la operación de una cuenca, generan la necesidad de contar con un sistema de soporte que pueda asistir a los gestores del sistema de recursos hídricos en la organización y negociación de usos conflictivos en la cuenca y sistema de embalses, es por este motivo que en este trabajo se utiliza una herramienta (software) capaz de gestionar los recursos hídricos superficiales de dicha cuenca, llamada, Water Evaluation And Planning System , (WEAP) (Yates, D, 2005a y b), para un mejor manejo y administración en base a los resultados obtenidos del software, el modelo incluye, políticas de operación de los embalses, suministros de agua, demandas, flujos tributarios, almacenamientos, etc.

1.1.3 Conocimiento del WATER EVALUATION AND PLANNING SYSTEM (WEAP)

El software WEAP usado para modelar el manejo del sistema del agua de la cuenca del río Colorado fue desarrollado por Instituto del Medio Ambiente de Stockholm (SEI, 2009).

Es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos cuyo objetivo es asistir más que sustituir al planificador experimentado, además proporciona un marco flexible y de fácil uso 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.

Los modelos de simulación convencionales orientados a la oferta de agua no son siempre adecuados para explorar la gama completa de las opciones de manejo de los recursos.

1.1.4 Descripción del WEAP

Es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos cuyo objetivo es asistir más que sustituir al planificador experimentado. Proporciona un marco flexible y de fácil uso 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.

WEAP permite el acceso del planificador a una vista más comprensiva de la amplia gama de factores que deben ser considerados en el manejo de los recursos hídricos para el uso presente y futuro. El resultado es una herramienta eficaz para examinar opciones alternativas del desarrollo y manejo del agua.

WEAP opera en varias capacidades:

- **Base de datos del balance de agua:** WEAP proporciona un sistema para mantener información de oferta y demanda de agua.
- **Herramienta de análisis de políticas:** WEAP simula la demanda, oferta, escurrimiento, caudal, almacenaje, generación, tratamiento y descarga de contaminantes y calidad del agua en los ríos.
- **Herramienta de generación de escenarios:** WEAP evalúa una gama completa de las opciones del desarrollo y manejo del agua, y toma en cuenta los múltiples y opuestos usos de los recursos hídricos.

1.1.5 Ventajas de la Plataforma WEAP

Facilidad de Uso

-Construye escenarios ajustando parámetros de entrada a través de la interface del modelo y compara los resultados sin necesidad de procesar fuera del modelo en forma individual los resultados.

-El modelo tiene una interface gráfica que permite fácilmente manipular los parámetros de las bases de datos.

-El software tiene un costo razonable y permite su ejecución por múltiples usuarios.

Funcionalidad y Estructura

- Los objetos de la interface gráfica son alusivos al manejo de los recursos hídricos y pueden ser comprendidos por profesionistas del ramo.

- El usuario puede seleccionar el intervalo de tiempo a utilizar (horario a mensual) dependiendo del proceso simulado.

- El modelo es físico distribuido.

Integración

- Los resultados generados están fijos y se despliegan en formato de texto ASCII.

- El modelo puede leer datos de entrada en formatos estandarizados.

- El modelo puede leer información espacial en los formatos de los archivos de ArcView.

1.2 Problemática

Con base en la reforma a la Ley de Aguas Nacionales, publicada el 29 de Abril de 2004 en el Diario Oficial de la Federación, se establece como atribución de la Comisión Nacional del Agua, la integración del Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua que permitan el intercambio de información y tecnología relacionada con el manejo de los sistemas de información hidrológica entre otros. Estos sistemas deben incluir información de toda la región fronteriza, específicamente en este trabajo se abordará la región correspondiente a la Cuenca Alta del río Colorado de manera que la Conagua y los gobiernos de los estados que participan en esta zona cuenten con un sistema eficiente y confiable que les permita conocer el estado de la información hidrológica y así poder cumplir con sus obligaciones respectivas en cuanto al manejo sustentable del agua se refiere.

El 3 de febrero de 1944, se garantizó a México la entrega anual de 1,850.25 hm³ de agua que provenga del río Colorado (CILA, 1944) .La construcción, hasta ahora, de un total de 39 estructuras hidráulicas a lo largo de la cuenca del río Colorado, ha tenido fuertes impactos en la cantidad y calidad del agua que se envía a México, de estas estructuras hidráulicas 12 son las que manejan la distribución de toda la cuenca y de estas 9 son las correspondientes a la Cuenca Alta.

Se ha establecido que aún y cuando en el tratado no se especifica con claridad cuál debe ser el origen de las aguas derivadas a México, se ha llegado a concluir que el agua entregada a México y derivada en el Lindero Sur, por sus condiciones de alta salinidad y contaminación, de ninguna manera puede ser considerada como agua apta para uso y consumo humano, para consumo de los animales o para utilizarse en la agricultura. Por tal motivo, esta agua no es posible considerarla como parte del Tratado Internacional.

En este estudio se analiza el sistema de manejo del recurso hídrico de la Cuenca Alta del río Colorado, aguas arriba de la presa Powell, el cual nos permite conocer la disponibilidad del recurso para el sistema de distribución y planeación de la Cuenca Alta para la satisfacción de las demandas aguas abajo de la presa Powell (Cuenca Baja).

1.3 Justificación

La frontera norte del país se caracteriza por ser una región árida y semiárida sujeta a sequías recurrentes que menguan la disponibilidad del recurso en esta zona altamente poblada e industrializada de nuestro país ocasionando conflictos sociales, económicos y ambientales. De esta forma la administración y manejo del agua en la región es esencial para lograr la sustentabilidad, lo que implica la identificación del potencial hidráulico de la zona. El río Colorado suministra prácticamente toda el agua necesaria para uso agrícola, urbano y natural a la frontera de nuestro país, es por este motivo que se pretende crear un modelo

de Gestión del Agua que permita especificar escenarios de cantidad, demandas, etc. (escenarios de manejo de agua) y simular el comportamiento del sistema del manejo de la Cuenca Alta del río Colorado a lo largo del tiempo para diferentes escenarios hidrológicos. Bajo la hipótesis de que la distribución y manejo de la Cuenca Alta impactará directamente a los usuarios de la Cuenca Baja entre los que se encuentra México.

El análisis sobre un escenario permite determinar a priori el impacto de políticas de manejo de agua, condiciones ambientales, etc.

El modelado propuesto llevará a cabo una evaluación del agua en cantidad, esto permitirá realizar un balance entre los recursos hídricos disponibles y los usos del agua y definirá políticas de manejo de agua presente y futura en la región. El modelado de gestión hidrológico se llevará a cabo por medio de un software llamado Water Evaluation and Planning System (WEAP), el cual permite simular sistemas de integración de abastecimiento de agua y políticas, desarrollo de escenarios alternativos, aborda la utilización racional del agua desde dos puntos de vista preventivos: por un lado, la moderación del consumo, y por otro, la reducción de la contaminación, aunque en este trabajo no se aborda este segundo punto.

1.4 Alcance

El modelo de gestión hidrológica, desarrollado en WEAP, será aplicado únicamente para la Cuenca Alta del río Colorado, los resultados obtenidos serán validados con las respectivas estaciones hidrométricas de la Cuenca Alta y con datos obtenidos del modelo Colorado River Simulation System, en la plataforma RiverWare,, modelo actualmente utilizado por el Buro de Reclamación de los Estados Unidos de América para la toma de decisiones, se consideró como año base 2008 y se realizaron proyecciones a futuro hasta el año 2060, considerando datos históricos.

El éxito de la aplicación del modelo dependerá en gran medida de la calidad y cantidad de información obtenida, pero sobre todo de las políticas operacionales de cada una de las presas que componen el manejo de la Cuenca Alta del río Colorado.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Desarrollar un modelo de gestión de las aguas superficiales para la Cuenca Alta del río Colorado en la plataforma WEAP.

1.5.2 Objetivos particulares

- ✓ Simular el comportamiento del sistema actual y analizar el sistema de operación de recursos hídricos
- ✓ Desarrollar un modelo de simulación de la Cuenca Alta del río Colorado en la plataforma WEAP (Water Evaluation And Planning System), que será compatible con Colorado River Simulation System (CRSS), ya establecido en RiverWare.

Capítulo 2 . DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO

2.1 Características Físicas de la Cuenca del Río Colorado

2.1.1 Localización Geográfica

El río Colorado se origina en las montañas de Wyoming y Colorado, fluye a través de 2,300 km hacia el Golfo de California cruzando siete estados en los Estados Unidos y dos en México (la cuenca del río colorado, www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectorfrontera/Documentos/LA%20CUENCA%20DEL%20COLORADO.pdf,2010). La cuenca es dividida, físicamente y políticamente, en Cuenca Alta y Cuenca Baja en Lee Ferry, Arizona, la decisión de dividir de esta forma la cuenca fue uno de los resultados y puntos de acuerdo establecidos en el "Colorado River Compact" de 1922. Lee Ferry está ubicado en un punto sobre el cauce principal del río Colorado aproximadamente a 48.27 km al sur de la frontera entre Arizona y Utah y solamente a 1,609 Km aguas abajo de la desembocadura del río Paria. Los estados federales de la Cuenca Alta incluyen Wyoming, Utah, Colorado y Nuevo México, es en esta parte de la Cuenca Alta donde se realizará el estudio; mientras que California, Arizona, Nevada, y parte de México como: Sonora y Baja California Norte son los estados pertenecientes a la Cuenca Baja. (Ver Fig. 2.1 Localización de la cuenca del río Colorado).

.

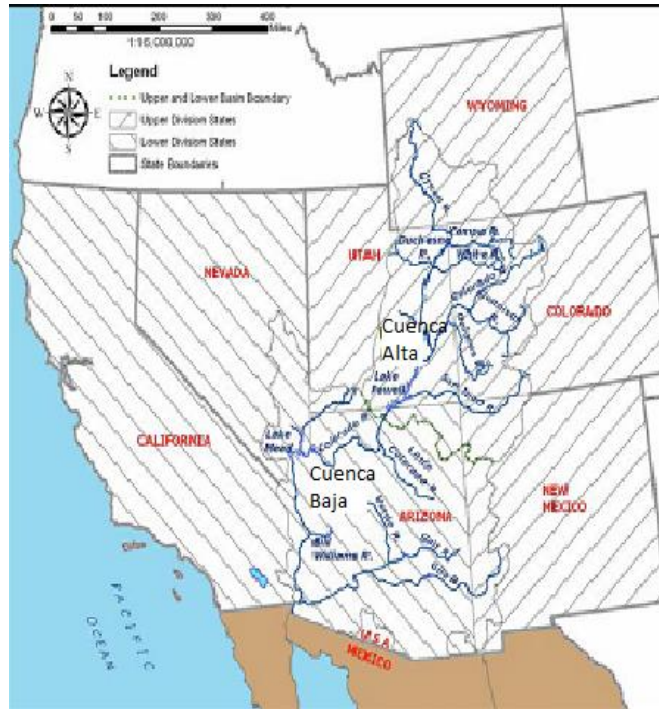


Figura 2 1. Localización Geográfica de la cuenca del río Colorado (Final EIS-Colorado River Interim Guidelines)

2.1.2 Hidrología

El río Colorado, tiene una longitud de 2,300 km y es el río de mayor longitud al oeste de las montañas Rocallosas del río del mismo nombre. El río nace justo al oeste de la Cordillera Norteamericana, al norte de Colorado, y en los primeros 1,600 km de su curso pasa por una serie de gargantas y cañones originados por la erosión de su corriente. El río fluye en dirección suroeste a través del estado de Colorado y el sureste de Utah, donde se une con su afluente el río Green. Después de cruzar la parte norte de Arizona, el Colorado fluye hacia el oeste unos 436 km por el majestuoso Gran Cañón, luego continúa en dirección sur y establece el límite entre los estados de Nevada y California cerca de Yuma, en Arizona, el río cruza la frontera internacional con México y continúa por unos 145 km hasta su desembocadura en el Golfo de California, un entrante del Océano Pacífico.

Además del río Green, los afluentes más importantes del Colorado incluyen los ríos Gunnison, San Juan, Strawberry y Taylor Park correspondientes a la Cuenca Alta. Junto con sus afluentes, el Colorado drena una área de 626,800 km² que corresponde a siete estados de Estados Unidos (Wyoming, Nevada, Utah, Arizona, Nuevo México y California), y 5,180 km² de México (Sonora y Baja California Norte). (Artículo río Colorado, norteamérica, viajes-vistas.galeon.com/RioColorado/RioColorado.htm,2010) (Ver figura 2.2).

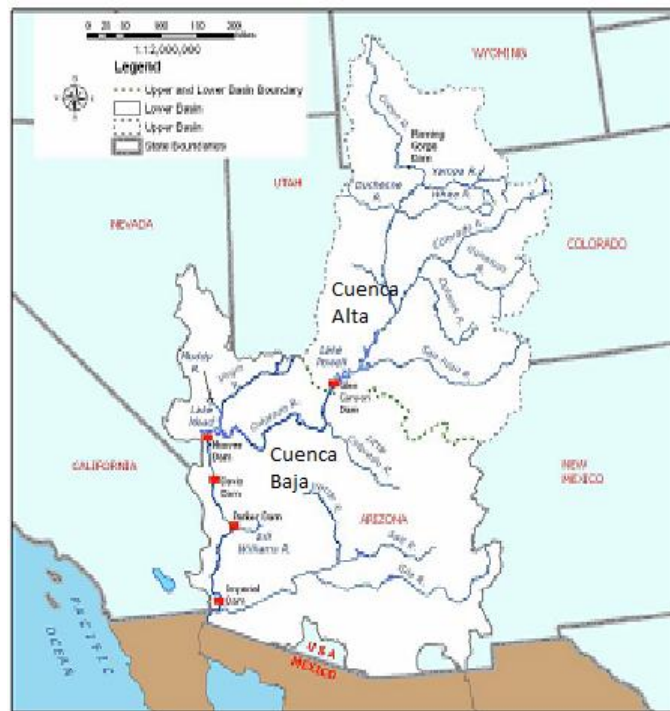


Figura 2 .2 Afluentes del río Colorado

De acuerdo a registros climatológicos, las temperaturas extremas de la cuenca fluctúan desde -45°C en lo más alto de las montañas rocallosas, hasta +53°C en el Valle de Mexicali. La parte sur de la cuenca corresponde a zonas desérticas y recibe un promedio de sólo 64 mm de precipitación pluvial por año mientras que en la Cuenca Alta, la precipitación alcanza de 1,000 a 1,500 mm/año. (Roman, C.J. ,1990).

Las montañas rocallosas dominan la topografía de la Cuenca Alta, y es aquí donde el Colorado obtiene la mayor parte de su fuente y descarga de agua. La Cuenca Baja, en contraste, se caracteriza por

valles aluviales planos, separados por fluctuaciones de baja montaña, escasa lluvia y vegetación xerofítica. El afluente mayor del Colorado es el río Green.

De acuerdo a registros del USBR, el flujo anual del río Colorado ha fluctuado de menos de 7 mil hm³, a más de 25 mil hm³, (Jerla,2005) considerándose un promedio de escurrimiento de 18,500 hm³. Desde que se inició el control absoluto del río Colorado, la construcción y llenado de embalses troncales del río han tenido un impacto importante en sus patrones de flujo. La gran cantidad de embalses gigantescos, medianos y pequeños sobre los afluentes, han contribuido notablemente a la modificación del régimen de descarga. Los embalses de la cuenca tienen actualmente una capacidad combinada de almacenamiento igual a cuatro veces el promedio total del flujo virgen de todo el sistema del Colorado.

2.1.3 Características Ambientales

Los servicios ambientales del río Colorado juegan un papel crítico para la economía y las comunidades de la región, proveyendo agua para 200,000 ha de cultivos agrícolas, así como agua para las ciudades (Sánchez- Ramírez, 1990; Valdés-Casillas et al., 1998).

La cuenca del río Colorado es reconocida por su belleza natural y distintiva que alimenta cruzadas ambientales e incrementa más las tensiones sobre un río ya en exceso litigado. Es casa de una inmensa cantidad de especies, flora y fauna que crea una biodiversidad abundante y próspera en un hábitat frágil. Desplazados por pérdida de hábitat y alteraciones debido a la construcción y la operación de presas en los cauces principales, así como por la competencia con especies no-nativas.

El colorado también proporciona agua para alimentar las frutas y hortalizas en las exportaciones agrícolas y para el heno que se utiliza como alimento de ganado en los ranchos. El cinturón de vegetación ribereña es la única zona del sur-oeste que ha mejorado, ha habido una diversidad de especies mucho mayor en la

presa Powell, especialmente en las especies de aves. La colocación de la presa Powell alentó el establecimiento del águila calva y la mayor población de cría de halcones peregrinos.

2.1.4 Infraestructura y Usos

La construcción de infraestructuras hidráulicas para el control, derivación y almacenamiento de flujos del río Colorado se inició bajo la premisa de tener un mejor aprovechamiento del agua para fomentar el desarrollo agrícola y urbano del árido suroeste de los Estados Unidos. Veinticinco presas de almacenamiento y cientos de derivaciones han sido construidas a lo largo del cauce y sus tributarios.

Actualmente, la capacidad conjunta de almacenamiento de todas las presas y reservorios menores es de más de cuatro veces el volumen anual del río Colorado (>76,000 Mm³; Morrison et al., 1996).

A través del tiempo, se ha determinado que las presas han impactado adversamente el desarrollo económico y social de la región, así como limitado el aprovechamiento de los recursos disponibles. El impacto más notable se recibe en la reducción de la productividad agrícola de tierras y cultivos.

Las presas de la Cuenca Alta incluyen las presas la Fontanelle y la Flaming Gorge (río Green), Starvation (río Strawberry), Taylor Park (río Taylor Park), Blue Mesa, Morrow Point, Crystal (río Gunnison), Navajo (río San Juan), y la Glenn Canyon, que recoge agua del lago Powell, es la única presa troncal de la Cuenca Alta y controla casi todos los flujos que salen de esta área.

2.1.4.1 Distribución del Manejo de las Presas

Las presas de la Cuenca Alta, incluyendo la Powell establecen aproximadamente 38,494.56 hm³ de almacenamiento de los cuales 29,981.34 hm³ corresponde a Powell, y éstos son operados para proveer a los usuarios de la Cuenca Alta con un suministro seguro del agua y entregar agua a Powell de forma que la mínima

extracción objetivo de Powell para la Cuenca Baja sea aquella necesaria para alcanzar los criterios establecidos para la operación de la Cuenca Baja a largo plazo. La presa Glenn Canyon contiene siete unidades de generación con una capacidad operativa máxima de aproximadamente 1,200 MW. En 1996, se estableció un límite máximo sobre las extracciones de Glenn Canyon en 707.75 m³/s, excepto durante periodos de alta disponibilidad. Bajo esta extracción máxima la capacidad operativa se limita a 1,048 MW (USBR, 2000b). La planta de generación de energía de Glenn Canyon requiere que el nivel en el embalse esté encima de 1,063.752 m. Las presas de la Cuenca Baja son operadas principalmente para facilitar la entrega de las demandas de agua en la Cuenca Baja y regular escurrimientos.

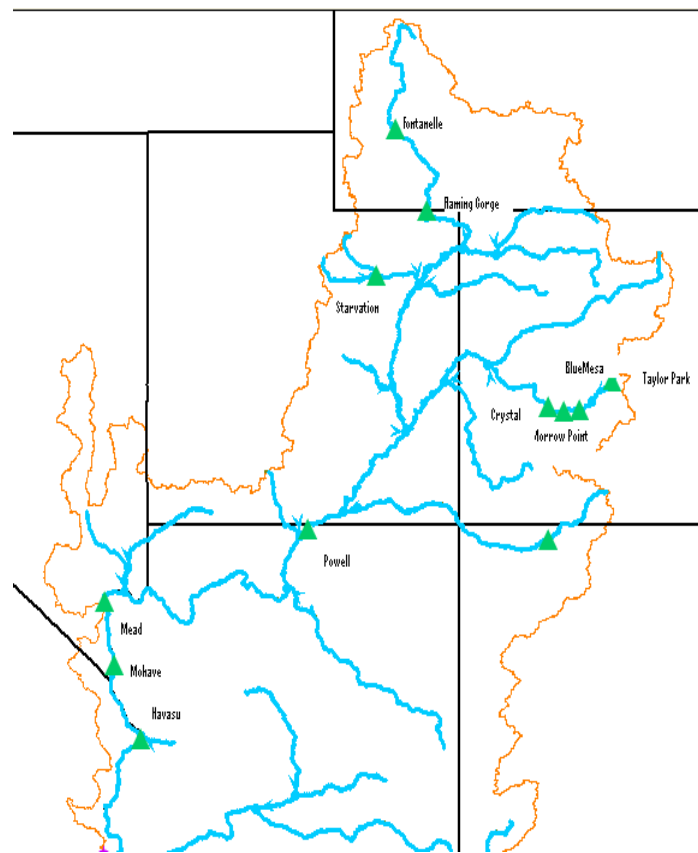


Figura 2. 3 Localización de las principales presas de la Cuenca Alta y Baja del Colorado, elaboración propia, WEAP.

2.1.4.2 Usos del agua

El "Colorado river compact", repartió 9,253.5 hm³ (7.5 MAF) a cada una de las cuencas Baja y Alta y el tratado de distribución de aguas de México y Estados Unidos asignó 1,850.25 hm³ para la parte comprendida en México, para "Uso consuntivo benéfico", ver Tabla 2.1. (la información de la tabla puede consultarse en (Jerla, 2005). Debido a la ubicación geográfica de las cuencas, la Cuenca Alta es responsable de no agotar los flujos a Lees Ferry de forma que la Cuenca Baja puede utilizar su repartimiento completo. El Uso consuntivo benéfico es el agua consumida por las actividades humanas e incluye el agua consumida para abastecimiento municipal, industrial, agrícola y generación de energía, la exportación, y esparcimiento. Los estados en la Cuenca Alta calculan la distribución de sus aguas por medio del método de balance de agua "entradas-salidas", sin incluir las pérdidas naturales, por ejemplo, las extracciones para Lee Ferry no incluyen las pérdidas naturales ocasionadas por la circulación natural del agua hasta Lee Ferry (Getches, 1985).

La tabla 2.1. Muestra la cantidad de agua del río Colorado que es entregada a cada estado de la cuenca y a México para el uso consuntivo benéfico. No hay una cantidad de agua disponible garantizada para el uso consuntivo en la Cuenca Alta; la cantidad disponible real depende de las condiciones de almacenamiento e hidrológicas.

Tabla 2.1 Derechos de Agua de la Cuenca Alta y Baja del Colorado

Estado (Cuenca Alta)	Volumen [hm ³]	Estado (Cuenca Baja)	Volumen [hm ³]
Wyoming	1,295.156	California	5,427.320
Utah	2,127.756	Arizona	3,453.749
Colorado	4,787.451	Nevada	370.044
Nuevo México	1,040.751	México	1,850.223
Total	9,251.114	Total	11,101.336

Fuente: Elaboración propia

2.2 Aspectos Socioeconómicos

2.2.1 Población

La Cuenca del Colorado comprende 7 estados pertenecientes a Estados Unidos de América y 2 por parte del territorio Mexicano a continuación se describen las características humanas para los estados de la Cuenca Alta:

Colorado es un estado al oeste de los Estados Unidos de América. Es conocido por tener los picos más altos de las Montañas Rocosas, que dominan la parte occidental del estado, ya que la oriental consiste en grandes planicies. La capital del estado, así como la ciudad más grande del mismo es Denver, cuya área metropolitana concentra más de la mitad de la población del estado (2.3 millones de habitantes de un total de 4.3).

Demografía

Según el censo del año 2000, Colorado tiene una población de 4,301.261 habitantes y se estimó para el 2009 de 5,074,528 creció un 1.8 %.

Economía

La economía del estado se desarrolló desde mediados del siglo XIX cuando se desarrolló la agricultura de regadío y, más tarde, a finales de ese siglo, la ganadería comenzó a tener mayor importancia. El primer desarrollo de la industria estaba basado en la extracción y procesamiento de minerales y de productos agrícolas. Actualmente estos productos son: ganado vacuno, trigo, lácteos, maíz y heno.

Wyoming es uno de los estados que conforma los Estados Unidos. Limita al norte con Montana, al este con Dakota del Sur y Nebraska, al sur con Colorado y Utah, y al oeste con Utah, Idaho y Montana. Las ciudades más importantes son Cheyenne (la capital), Casper, Laramie, Rock Springs y Gillette .Estimación de la población según el USBR (2005-2006).

Demografía

El censo estadounidense indica que es el estado menos poblado, estimando que hay cerca de 515,004 habitantes (en 2006), con un incremento de población del 4.3% desde el 2000. Se estimó una población para el 2004 de 506,529 personas y para el 2009 de 544,270 personas.

Actualmente el estado de Wyoming cuenta con una población de 515,004 personas (Wikipedia, 2010). La población de origen latino es la de más rápido crecimiento, debido a la alta tasa de crecimiento de las familias hispanas, y a la inmigración ilegal.

Economía

Principales actividades económicas: Extracción minera, petróleo, gas natural, turismo, recreación y agricultura.

Utah es uno de los 50 estados de los Estados Unidos de América, localizado en la región suroeste del país. Utah es uno de los más importantes centros de transporte y telecomunicaciones del Oeste americano. La capital y mayor ciudad de Utah es Salt Lake City, cuya región metropolitana concentra aproximadamente al 65% de la población del estado. (Sitio oficial del estado de Utah, www.utah.gov/index, 2010)

Demografía

El centro de la población (punto geográfico más cercano a todos los habitantes, por término medio) de Utah está localizado en el condado de Utah en la ciudad de Lehi. El 1 de julio de 2007 la Oficina del Censo de los Estados Unidos estimó la población del estado en 2,645,300 habitantes, un incremento de 65.795 habitantes con respecto a la misma fecha del 2006. Para el 2009 se estimó una población de 2,784,572 habitantes. La mayor parte de la población

vive en villas y ciudades a lo largo del *Wasatch Front*, una región metropolitana que discurre de norte a sur con la cordillera Wasatch que se eleva en el lado Este. El resto del estado es sobre todo rural o páramo. Utah tiene el porcentaje más alto de población que comparte una única afiliación religiosa que cualquier otro estado del país.

Economía

El estado posee 15 mil granjas, que ocupan cerca de un quinto de su territorio. Gran parte de este terreno se utiliza sólo para la práctica de la ganadería. La mayor parte de las granjas de Utah están irrigadas artificialmente. Sin riego artificial, la práctica de la agricultura en la mayor parte del estado sería imposible. Juntas, la agricultura y la ganadería responden por el 1% del PIB del estado, y emplean aproximadamente a 19 mil personas. Utah posee grandes rebaños bovinos y ovinos. Los principales productos agropecuarios producidos en Utah son la carne y la leche bovina y ovina, así como manzanas, melocotones y cerezas. El principal vegetal cultivado en Utah es la patata. Los efectos de la pesca y de la silvicultura son mínimos en la economía del estado.

El sector secundario supone el 20% del PIB de Utah. La industria de manufactura responde por el 12% del PIB del estado y emplea aproximadamente a 140 mil personas. El valor total de los productos fabricados en el estado es de 13 mil millones de dólares. Los principales productos industrializados fabricados en el estado son ordenadores y equipamientos electrónicos, metales procesados, alimentos industrialmente procesados y equipamientos de transporte. La industria de la construcción responde por el 6% del PIB del estado, empleando aproximadamente a 97 mil personas.

El sector servicios supone el 79% del PIB de Utah. Cerca del 21% del PIB del estado proviene de servicios comunitarios y personales. Este sector emplea a más de 423 mil personas. Los servicios financieros e inmobiliarios responden por cerca del 19% del PIB, empleando aproximadamente a 132 mil personas. Salt Lake

City es el principal centro financiero del estado, y uno de los principales centros financieros del Centro-Oeste americano. El comercio al por mayor y al por menor responde por el 16% del PIB del estado, y emplea aproximadamente a 293 mil personas.

Nuevo México es uno de los estados que conforma los Estados Unidos de América. Limita al norte con el estado de Colorado, al noreste con el estado de Oklahoma, al este y sureste con el estado de Texas, al suroeste con México (estados de Chihuahua y Sonora), al oeste con el estado de Arizona y al noroeste con el estado de Utah. Nuevo México no pasó a ser miembro de pleno derecho de la Unión hasta 1912, año de su declaración como estado y de la aprobación de su constitución, peculiar debido al respeto que ofrece hacia las lenguas de sus habitantes y al sistema educativo. (Valadés, José C, et al (1994) Orígenes de la República Mexicana: la aurora constitucional, México, Ed. Universidad Nacional Autónoma de México, ISBN 978-968-36-3320-0 URL consultado el 6 de noviembre de 2009)

Demografía

Actualmente el estado de Nuevo México cuenta con una población de 2,499,481 personas (Wikipedia, 2010). El 44. % de la población es de origen hispano. La mayor parte de los habitantes hispanos son descendientes de los españoles que, procedentes de México, llegaron en los siglos XVI y XVII.

Economía

En general, la economía de Nuevo México es tan diversa como sus raíces culturales. Incluye turismo derivado de cientos de galerías de artes, áreas de sky y arquitectura colonial. También cuenta con una creciente series de industrias. Existe un amplio intercambio comercial con México y una incesante y creciente proliferación del mundo tecnológico debido a la presencia de laboratorios nacionales en Albuquerque y Los Álamos (Laboratorio Nacional de Los Álamos).

Además cabe señalar que Nuevo México es también uno de los estados del país que más energía produce. Aparte de la agricultura de regadío del valle del río Grande, la economía también descansa en la ganadería extensiva, la industria extractiva (uranio, primer puesto entre el resto de estados), oro, plata, cobre, potasa, petróleo y hulla. Las industrias alimentarias y las construcciones aeroespaciales también son de gran importancia.

2.2.2 Ecosistemas

La principal amenaza para los ecosistemas del río Colorado es la falta de una asignación de flujos de agua con fines ambientales. La sobre asignación de agua y la aridez de la zona intensifican esta amenaza en la cuenca baja y en la zona deltáica. (La Cuenca Binacional del río Colorado, Osvel Hinojosa Huerta Y Yamilett Carrillo Guerrero, www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/639/rcolorado.pdf)

El compendio de documentos y acuerdos que permiten el manejo del agua del Río Colorado no considera el volumen de agua necesario para los usuarios naturales. Más aún, el U.S. Buro de Reclamación, está proponiendo establecer un criterio para determinar las condiciones en las cuales los estados de la Cuenca Baja podrían hacer uso de los posibles caudales excedentes del río. Esta agua eventualmente fluye a través del cauce natural del río. Se han cuantificado los efectos transfronterizos causados por la reducción de la frecuencia de este escurrimiento al establecer éste.

Capítulo 3 . METODOLOGÍA PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO POR MEDIO DEL WATER EVALUATION AND PLANNING SYSTEM (WEAP)

Para cumplir con el objetivo planteado en esta investigación es necesario realizar una serie de actividades de forma secuencial y ordenada. Entre ellas es posible resaltar las siguientes:

1. Revisión del sistema de modelación Water Evaluation And Planning System (WEAP), para definir la información necesaria para la construcción del modelo de simulación de la gestión de las aguas superficiales de la cuenca del río Colorado;
2. Recopilación de información básica;
3. Revisión del "Colorado River Simulation System"(CRSS); modelo de comparación
4. Revisión del RiverWare (plataforma de comparación);
5. Definición del esquema en WEAP que permita representar el sistema de recursos hídricos de la Cuenca Alta del río Colorado para simular su gestión(generar escenario de referencia para el modelo);
6. Validación del Modelo de simulación para un periodo. determinado.

3.1 Información Requerida para Construir el Modelo en WEAP

Para modelar la gestión de las aguas superficiales de una cuenca a través del WEAP y en este caso de la cuenca del río Colorado es necesario disponer de la siguiente información:

- 1. Ríos o corrientes naturales** (mapa en formato shape que servirá para la digitalización de la red de ríos en el entorno de trabajo del WEAP y con ello definir su ubicación espacial):

- a) Volúmenes mensuales de escurrimientos acumulados en la cabecera de los ríos o puntos de interés como embalses o aportaciones intermedias (intercuencas).

2. Derivaciones

- a) Punto de salida;
- b) Punto de retorno;
- c) Capacidad máxima de derivación (capacidad de transporte de la infraestructura) o volúmenes máximos derivados mensualmente.

3. Embalses (mapa en formato shape con la ubicación de las diferentes infraestructuras de almacenamiento para definir su ubicación espacial):

- a) Flujos mensuales de entradas a los embalses (si no están conectados a ningún río);
- b) Capacidad de almacenamiento (NAME);
- c) Volumen de Almacenamiento inicial;
- d) Curva elevación-área-capacidad;
- e) Lámina de evaporación neta media mensual;
- f) Volumen máximo de agua (nivel de conservación);
- g) Nivel máximo de operación (NAMO);
- h) Nivel mínimo de operación (NAMINO);
- i) Fracción de agua disponible mensualmente para extraer.

4. Otras fuentes (plantas desalinizadoras, trasvasos)

- a) Fuentes (número y ubicación espacial);
- b) Volumen mensual de entrada.

5. Sitios de demanda existentes (agrícolas, urbanos, industriales, mineros, etc.)

- a) Sitios de demanda (número, ubicación espacial y prioridad de suministro);
- b) Usos del Agua;
- c) Volumen anual concesionado o asignado;
- d) Distribución mensual de la demanda anual;

- e)* Volumen consumido;
- f)* Superficie regada;
- g)* Población servida;
- h)* Pérdidas y reusos;
- i)* Pérdidas en los sitios de demanda (perdidas de distribución interna);
- j)* Reuso de agua en los sitios de demanda.

6. Líneas de conducción de agua entre fuentes y sitios de demanda

- a)* Preferencia de suministro de una fuente a un sitio de demanda asignada a la línea de conducción;
- b)* Volumen máximo mensual que puede suministrar la línea de conducción;
- c)* Porcentaje máximo mensual de la demanda que debe suministrar la línea de conducción;
- d)* Pérdidas en la conducción.

7. Generación de energía (hidroeléctricas) (en el presente estudio no se llevó a cabo la modelación de generación de energía eléctrica)

- a)* Presas hidro-eléctricas (número y ubicación espacial);
- b)* Mini hidro-eléctricas a lo largo del río (número y ubicación espacial);
- c)* Flujo mínimo de turbinado;
- d)* Flujo máximo de turbinado;
- e)* Carga de trabajo de las turbinas;
- f)* Carga en el tramo de río de la mini-eléctrica;
- g)* Porcentaje mensual de trabajo de las turbinas;
- h)* Eficiencia de generación de las turbinas.

8. Flujos de retorno

- a)* Rutas de retorno para un mismo sitio de demanda;
- b)* Porcentaje de flujo retornando por cada ruta;

- c) Pérdidas por evaporación y percolación en una ruta de retorno.

9. Requerimientos de flujo

- a) Flujo mínimo ambiental promedio mensual;
- b) Flujo mínimo social o recreativo promedio mensual;
- c) Prioridad del flujo.

10. Estaciones hidrométricas

- a) Estaciones hidrométricas (número y ubicación espacial);
- b) Series de tiempo de escurrimientos en las estaciones.

11. Plantas de tratamiento de agua residuales(en el presente estudio no se llevó a cabo la modelación de calidad del agua)

3.2 Modelación en WEAP de la Cuenca Alta del Río Colorado

Para llevar a cabo la modelación de la cuenca del Río Colorado es necesario recopilar la información requerida en WEAP, para que posteriormente se realice el modelo en forma esquemática, y así introducir la información.

3.2.1 Elaboración del Esquema en WEAP

Como paso inicial es necesario crear en WEAP los primeros elementos como la delimitación de la cuenca, los ríos principales y sus tributarios, las presas, las demandas, etc.

Esta información se obtuvo de las Geodatabases del National Hydrography Dataset (NHD¹) a partir de la página de la USGS² para las Hydrology Unit Code (código de unidad hidrológica) de cuatro

¹ NHD.- Conjunto de datos Nacional de Hidrografía son datos digitales espaciales que representan las aguas superficiales de los Estados Unidos con características comunes, tales como lagos, lagunas, arroyos, ríos, canales, y los océanos. Estos datos están diseñados para ser utilizados en la cartografía general y en el análisis de los sistemas de agua de superficie con sistemas de información geográfica (SIG).

² USGS.- es una agencia científica del gobierno de los Estados Unidos de América. Los científicos del USGS estudian el terreno de Estados Unidos, sus recursos naturales, y los peligros naturales que lo amenazan. La agencia tiene 4 disciplinas científicas mayores concernientes a biología, geografía, geología e hidrología. Permiten llevar a cabo a gran escala, multi-investigaciones disciplinarias y proporcionar información imparcial y científica a los administradores de recursos y planificadores.

dígitos (HUC³- 4), que integran la cuenca del río Colorado, en este caso corresponde la región - 14 para la Cuenca Alta del Colorado y la región -15 para la Cuenca Baja del Colorado. Ver figura 3.1

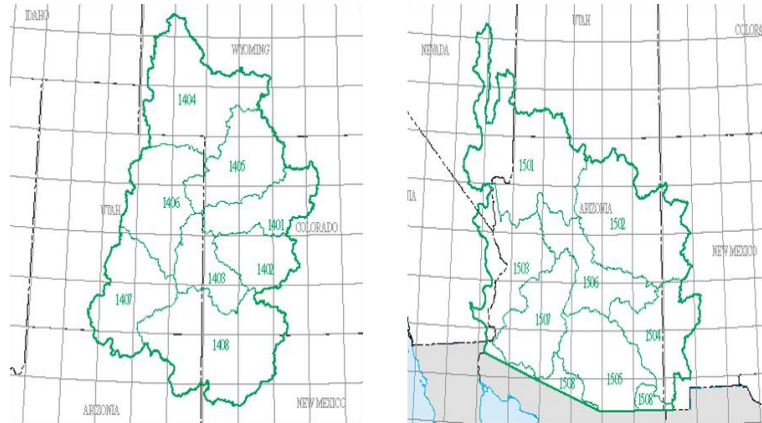


Figura.3.1 Cuenca Alta y Baja del Colorado

Se extrajo por medio del ArcGis⁴ el esquema en WEAP de la cuenca del Colorado, para modelarla posteriormente (ver Fig.3.2). La delimitación de la cuenca únicamente se adhiere a un mapa dentro de la simulación de WEAP.

³ H.U.C. es un acrónimo de Unidad Hidrológica de códigos. Son una forma de identificar todas las cuencas de drenaje en los Estados Unidos, en un arreglo anidado desde el más grande (Regiones) a los más pequeños (de catálogo de unidades).

⁴ ArcGis.- Es un software SIG para visualizar, crear, manipular y gestionar información geográfica, estos corresponden a lugares, direcciones, posiciones en terreno, áreas urbanas y rurales; regiones y cualquier tipo de ubicaciones en terrenos determinados. Esta información es trabajada de manera sistémica, lo que representa una diferencia sustancial a lo relacionado al trabajo con información planos y mapas, permitiéndonos explorar, ver y analizar los datos según parámetros, relaciones y tendencias que presenta nuestra información, teniendo como resultado nuevas capas de información, mapas y nuevas bases de datos.

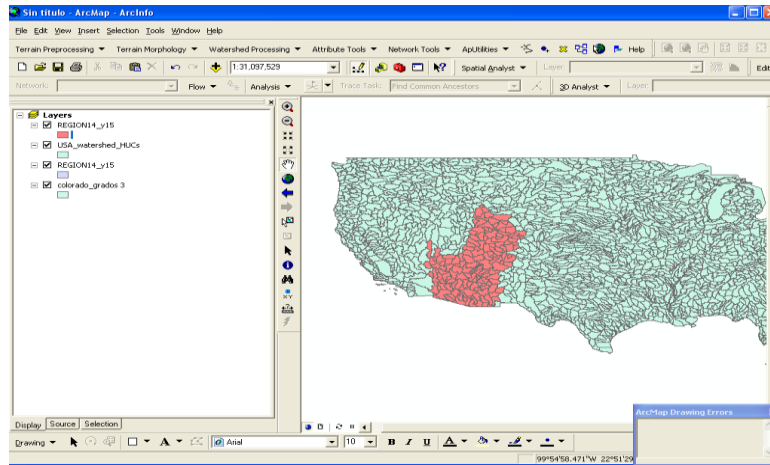


Figura 3.2 Delimitación de la Cuenca Alta y Baja del Colorado en el programa ArcGis

La vista esquemática es el punto de partida para todas las actividades realizadas en WEAP. Una característica central en WEAP es que su interfaz gráfica del tipo "arrastrar y soltar" permite una gran facilidad para describir y visualizar las características físicas de los sistemas de suministro y demanda de agua. Capas de SIG pueden agregarse para proporcionar más claridad. Como se observa en la figura 3.3 se importa un mapa de la cuenca dentro de la pantalla de WEAP, para empezar a trabajar en la zona en la cual se modelará la cuenca del Colorado.

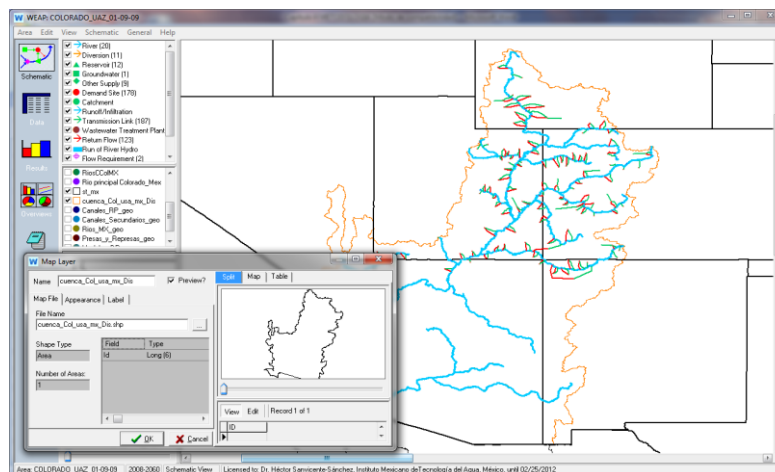


Figura 3.3 Importación del mapa para crear la Zona de Estudio

Una vez que se cuenta con la delimitación de la cuenca se procede a editar los elementos restantes como son, ríos principales y

tributarios, y cuerpos de agua. Estos elementos se trabajan en el Software ArcGis para obtener sus coordenadas, y posterior a esto se importan como mapas en WEAP y proceder a trazarlos.

3.2.2 Ríos o Corrientes Naturales

Como se comentó anteriormente, la información principal para llevar a cabo el modelo es conocer y ubicar los ríos o corrientes naturales que se encuentran en la cuenca del río Colorado. Para ello se obtuvo la información del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés).

Los afluentes más importantes del Colorado incluyen los ríos Green, Gunnison, San Juan, Strawberry y Taylor Park correspondientes a la Cuenca Alta.

Como se puede observar en la siguiente figura (figura 3.4) se muestra la totalidad de ríos (color azul) que conforman la Cuenca Alta del Colorado en el programa ArcGis, y en la figura 3.5 se observa de forma más detallada las ramificaciones de ríos.

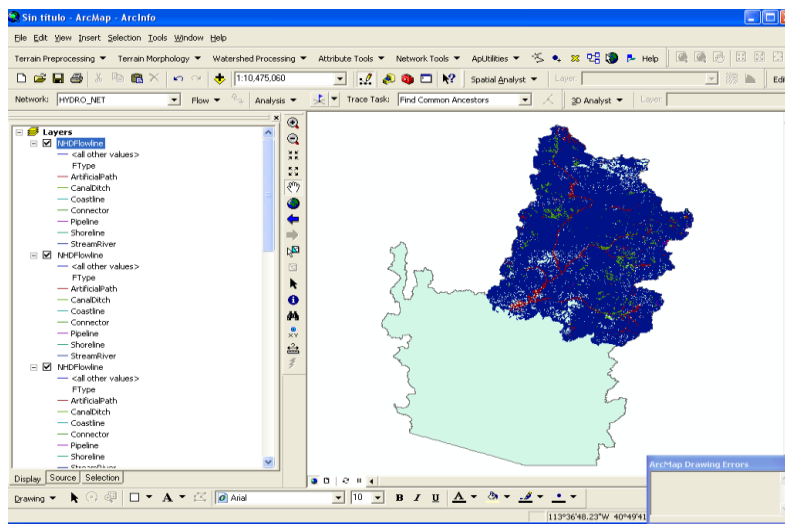


Figura 3.4 Ríos que conforman la Cuenca Alta del Colorado

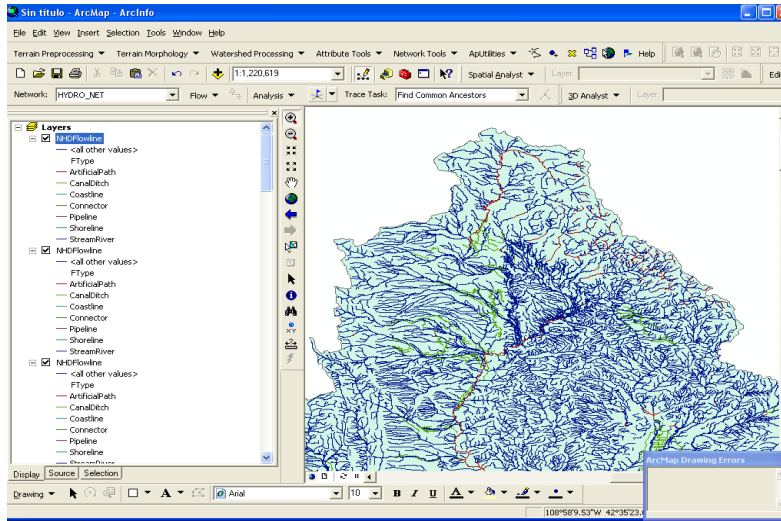


Figura 3.5 Ríos de forma detallada de la Cuenca Alta del Colorado

En la figura 3.6 se observa de color rojo como se empiezan a editar los ríos principales de la Cuenca Alta del río Colorado, el río Green es el que se observa en la figura y pertenece al estado de Wyoming.

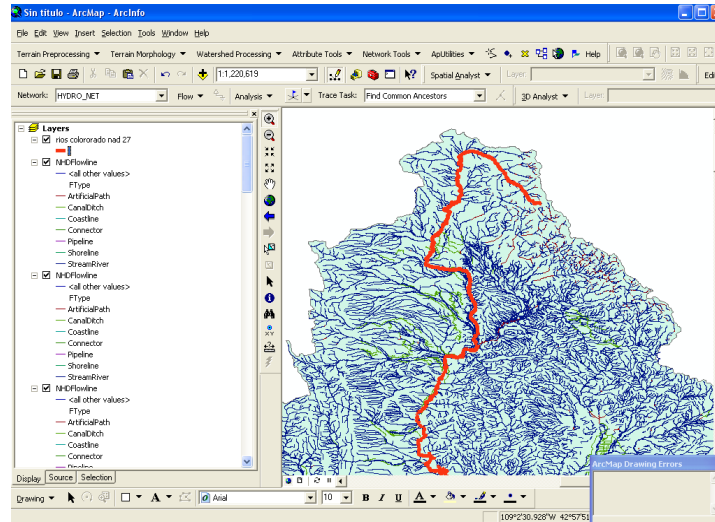


Figura 3.6 Creación de ríos en la Cuenca Alta del Colorado en ArcGis

En la figura 3.7 se muestra de color rojo los principales ríos de la cuenca del Colorado así como sus principales tributarios.

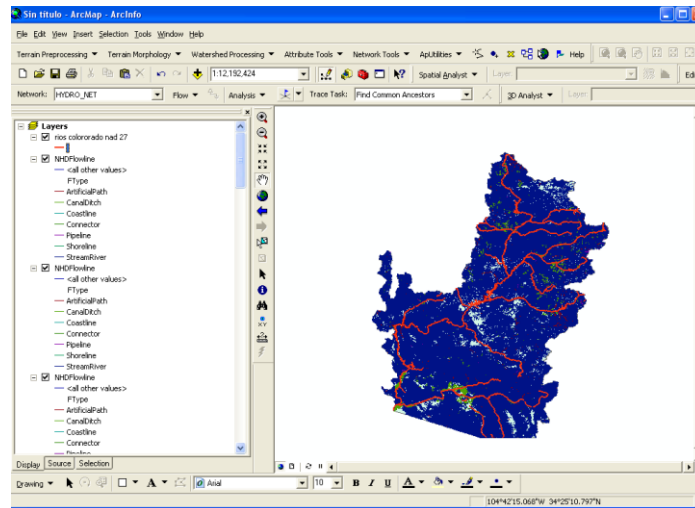


Figura 3.7 Ríos principales y tributarios de la cuenca del río Colorado editados en ArcGis

3.2.3 Derivaciones

Se dispone en el modelo del CRSS en la plataforma RiverWare de una vista esquemática de la distribución de los puntos de derivación en la cuenca, pero como se comenta, es solamente una vista esquemática, no es información georreferenciada. Por ejemplo en la figura 3.8 se observa un tramo del río Green en donde se puede establecer que aguas arriba del embalse de Fontenelle (triángulo con el cuadrado) se tienen 2 derivaciones, y en el tramo comprendido entre los embalses Fontenelle y Flaming Gorge existen 7 derivaciones, este tipo de información para cada tramo de río es utilizada para establecer los usuarios y los puntos de derivación en los diferentes tramos que componen el esquema de WEAP.

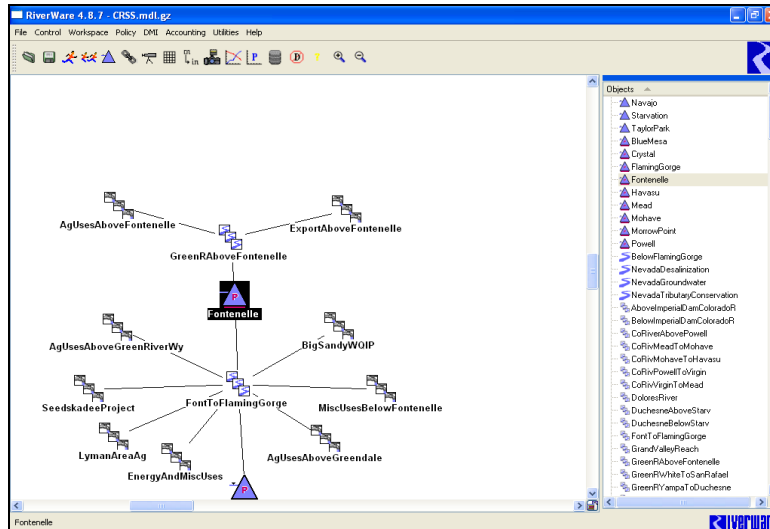


Figura 3.8 Puntos de derivación aguas arriba de Fontanelle y debajo de esta presa, situadas en el río Green

3.2.4 Presas

Las presas de la Cuenca Alta incluyen las presas: Fontanelle y Flaming Gorge sobre el río Green, Starvation en el río Strawberry ,Taylor Park en el río Taylor Park, Blue Mesa, Morrow Point y Crystal sobre el río Gunnison las tres presas funcionan como un sistema de presas llamado Aspinall Unit y en conjunto abastecen aguas abajo de Crystal , Navajo en el río San Juan, y la Gleen Canyon, que recoge agua del lago Powell, es la única presa troncal de la Cuenca Alta y controla casi todos los flujos que salen de esta área.

Las presas de la Cuenca Alta son operadas principalmente para facilitar la entrega de las demandas de agua en la Cuenca Baja.

En la figura 3.9 se pueden ver en ArcGis los principales cuerpos de agua (color azul) que conforman la Cuenca Alta y Baja del Colorado, en donde serán localizadas las diferentes presas de la Cuenca.

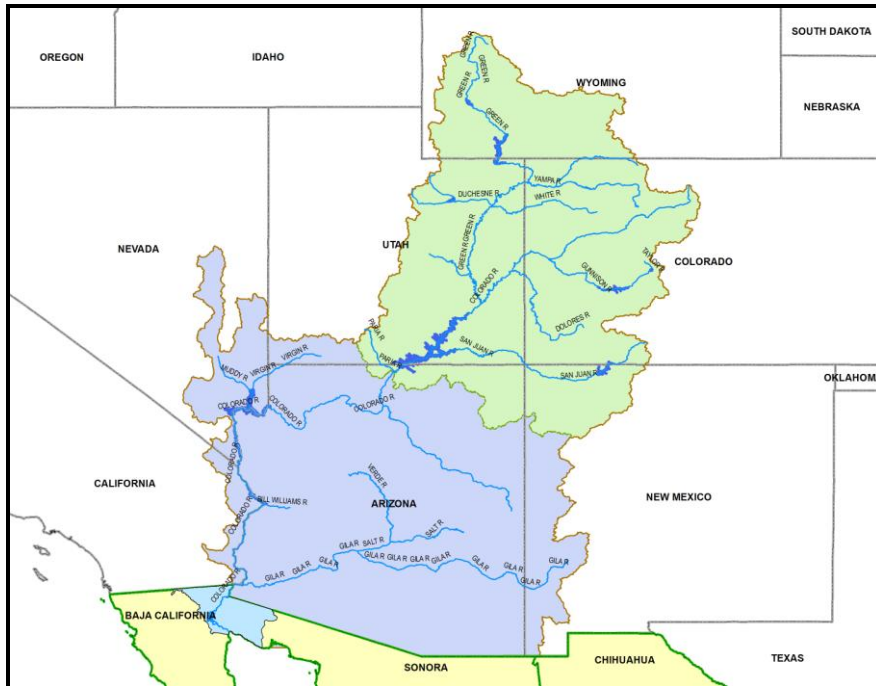


Figura 3.9. Principales cuerpos de agua en la Cuenca Alta y Baja del Colorado

Una vez delimitada tanto la Cuenca Alta como la Cuenca Baja del Colorado y editados en ArcGis los elementos principales (ríos principales y tributarios, cuerpos de agua) con los que trabajaremos en la cuenca, estos elementos se adhieren como mapa en la pantalla de WEAP, en la zona de estudio, se empiezan a crear y trazar los elementos por medio de las herramientas que posee WEAP del lado izquierdo (recuadro rojo) de la pantalla, así se empieza a crear el esquema con el que se modelara la cuenca del Colorado en WEAP. (Ver figura 3.10).

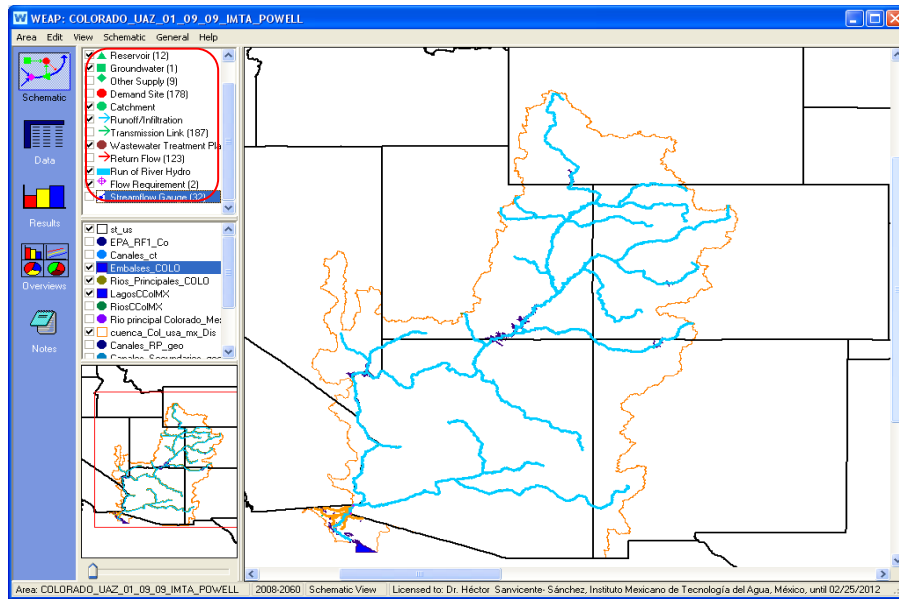


Figura.3.10 Vista esquemática de cuenca Colorado en WEAP

A continuación se muestra en la tabla 3.1 las características de las 8 principales presas del río Colorado que conforman la Cuenca Alta.

Tabla 3.1 Características de las presas de la Cuenca Alta del río Colorado

Presa	Capacidad Activa (hm ³)	Capacidad Inactiva (hm ³)	Capacidad Muerta (hm ³)
Fontanelle	425.365	114.720	0.694
FlamingGeorge	4624.826	288.034	48.972
Starvation	314.962	0.000	0.000
TaylorPark	131.040	0.000	0.000
BlueMesa	1023.254	137.171	101.151
MorrowPoint	144.350	92.393	0.204
Crystal	22.024	14.803	9.498
Navajo	2024.996	814.020	9.375

Fuente: Elaboración propia

La información de las curvas volumen- elevación de las 8 presas se extrajo del USBR, a manera de ejemplo, en la figura 3.11, se muestran las curvas de elevación-volumen de las presas Fontanelle y Crystal (esta última pertenece al sistema Aspinall Unit

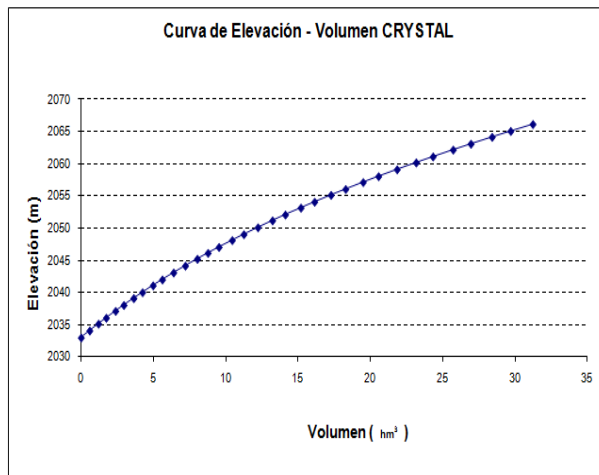
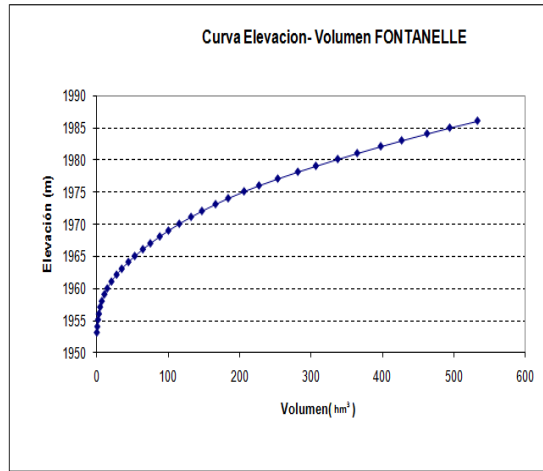


Figura 3.11 Curva volumen - Elevación Presa Fontanelle y Presa Crystal

3.2.5 Sitios de Demanda

Los sitios de demanda que se colocaron en el modelo corresponden a las agrupaciones de usuarios establecidos en el Colorado River Simulation System (CRSS) para la Cuenca Alta. El CRSS cuenta con 134 grupos de usuarios en toda la cuenca y 81 de estos corresponden a la Cuenca Alta que es el área de estudio que se modeló.

En la Tabla 3.2 se puede observar la proyección de la demanda y el consumo anual, en pasos de tiempo de 5 años, que se tendrá en cada uno de los estados que comprende la Cuenca Alta del Colorado (Wyoming, Utah, Colorado, y New México), que hace el USBR (FEIS,2007) para los próximos 50 años.

Cabe mencionar que en Arizona existen sólo 2 usuarios que están tomando agua de la Cuenca Alta y estos también son considerados en este estudio.

Tabla 3. 2 Demandas y Consumos de la Cuenca Alta del río Colorado por Estado.

DEMANDAS Y CONSUMOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO POR ESTADO*														
	WYOMING		COLORADO		UTAH		NEW MEXICO		ARIZONA		Total Edos. Cuenca Alta		Edos.Cuenca Alta+Arizona	
Años	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo
2009	1133.970	634.133	6074.990	3111.621	1929.306	1176.016	1370.239	666.412	91.288	55.522	10508.505	5588.182	10599.793	5643.704
2010	1138.528	637.710	6167.408	3180.241	2045.129	1244.598	1386.922	678.089	97.464	61.689	10737.987	5740.639	10835.451	5802.327
2015	1149.638	648.195	6185.894	3195.961	2085.232	1268.034	1430.846	706.159	97.464	61.689	10851.609	5818.349	10949.073	5880.038
2020	1163.212	659.913	6245.111	3233.632	2136.413	1301.338	1480.580	732.011	97.464	61.689	11025.316	5926.894	11122.780	5988.583
2025	1179.859	674.098	6269.170	3252.580	2199.306	1345.743	1495.381	740.819	97.464	61.689	11143.716	6013.240	11241.180	6074.929
2030	1216.254	704.318	6322.822	3292.668	2268.385	1392.616	1510.183	751.919	97.464	61.689	11317.644	6141.521	11415.108	6203.210
2035	1246.464	730.838	6333.910	3303.769	2316.489	1424.686	1510.183	752.537	97.464	61.689	11407.046	6211.831	11504.510	6273.520
2040	1279.163	758.591	6357.348	3327.206	2354.748	1451.823	1510.183	753.151	97.464	61.689	11501.442	6290.771	11598.906	6352.460
2045	1334.570	802.997	6401.146	3355.576	2378.812	1472.175	1510.183	753.151	97.464	61.689	11624.711	6383.899	11722.175	6445.588
2050	1389.988	847.402	6511.524	3417.250	2395.483	1488.827	1510.183	753.151	97.464	61.689	11807.179	6506.630	11904.643	6568.319
2055	1450.254	890.574	6509.682	3419.100	2410.267	1503.012	1510.183	753.151	97.464	61.689	11880.386	6565.837	11977.850	6627.526
2060	1510.482	937.446	6513.994	3427.118	2425.045	1517.198	1510.183	753.151	97.464	61.689	11959.704	6634.912	12057.168	6696.601
Incremento(%)	33.203	47.831	7.226	10.139	25.695	29.012	10.213	13.016	6.765	11.108	13.810	18.731	13.749	18.656

*Las unidades estan dadas en hm³

Fuente: Elaboración Propia

Del análisis de la tabla 3.2 se puede observar que para los estados de Wyoming y Utah su demanda actual está por debajo de la asignación de agua que poseen (Ver Tabla 3.3), pero los estados de Colorado y Nuevo México poseen demandas por arriba de su asignación, además en la proyección al 2060 todos los estados llegarán a estar por arriba de su asignación. Sin embargo, para la gestión del agua en el Colorado lo que cuenta es el consumo de agua que tiene un usuario, pues es el agua que realmente utiliza y por ende la que se pierde del sistema, el resto del agua se mantiene en el sistema a través de los flujos de retorno. Si en lugar de estudiar las demandas se analizan los consumos se puede apreciar que el consumo actual de los diferentes estados se encuentra por debajo de sus asignaciones (ver tabla 3.3 para las asignaciones de cada estado) y aunque el consumo de la Cuenca Alta completa crecerá de 5,588.182 hm³ a 6,634.912 hm³ para el año 2060 este valor únicamente cubre el 71.72% de la asignación de la

cuenca. Ver apéndice A-1, demandas y consumos de la Cuenca Alta del río Colorado por estado.

La siguiente tabla (3.3) muestra los derechos de agua asignados a cada uno de los estados de la Unión Americana y a México, agrupados en Cuenca Alta y Cuenca Baja. Cabe mencionar, que los usuarios de la Cuenca Alta hasta la fecha no hacen uso total de todos sus derechos de agua sino únicamente consumen un 60.4% de su volumen asignado.

Tabla 3. 3 Distribución de los Derechos de Agua en la Cuenca del río Colorado

Estado (Cuenca Alta)	Volumen [hm³]	Estado (Cuenca Baja)	Volumen [hm³]
Wyoming	1,295.156	California	5,427.320
Utah	2,127.756	Arizona	3,453.749
Colorado	4,787.451	Nevada	370.044
Nuevo México	1,040.751	México	1,850.223
Total	9,251.114	Total	11,101.336

Fuente: FEIS (Colorado River Interim Surplus Criteria, Final Environmental Impact Statement, 2000).

La demanda en el sistema la podemos dividir en dos grupos, la demanda por presa y la demanda por río.

3.2.5.1 Demanda por Presa

La demanda por presa se refiere a los usuarios que se les abastece a partir del agua de una presa, y para los cuales los embalses son operados a manera de garantizar su demanda. Normalmente estos usuarios se localizan en la cercanía de la presa y el agua se les conduce por el mismo río hasta los puntos de derivación hacia los mismos.

En la tabla 3.4 se muestra el número de usuarios que se abastecen de las presas y la cantidad demandada, así como su crecimiento de demanda a lo largo del 2009-2060, como se observa a la presa

Fontanelle, es a la que se le demanda mayor cantidad de agua en forma porcentual y volumen, al sistema Aspinall Unit se le demanda menor cantidad porcentual de agua a lo largo del periodo, la figura 3.12 muestra gráficamente la demanda de agua del sistema Aspinall para el periodo 2009-2060 donde se ve que ésta se incrementará sustancialmente del año 2040 al 2050, la presa Taylor Park tiene un incremento menor de demanda en volumen a lo largo de todo el periodo simulado respecto a todas la demás presas de la Cuenca Alta. Ver apéndice A-2, Demandas de usuarios por presa.

Tabla 3.4 Demanda por presa de la Cuenca Alta del río Colorado

DEMANDAS POR PRESA (CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO)hm ³														
AÑOS	2009	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	Incremento en Volumen	Incremento (%)
PRESA_FONTANELLE (7 USUARIOS)	490.925	492.157	495.858	499.559	507.577	527.930	544.579	561.230	600.703	640.184	688.915	737.615	246.691	50.250
PRESA_FLAMING GORGE (3 USUARIOS)	426.160	495.850	511.290	526.690	551.980	567.395	583.439	592.092	593.326	587.156	590.856	589.614	163.454	38.355
PRESA_STARVATION (5 USUARIOS)	740.585	742.563	749.957	754.896	763.521	772.150	784.486	794.356	795.589	794.358	794.358	794.358	53.774	7.261
PRESA_TAYLOR PARK (2 USUARIOS)	209.075	209.692	209.692	209.692	212.776	215.859	215.859	215.859	218.943	222.027	222.027	228.194	19.119	9.145
SISTEMA ASPINALL UNIT(6 USUARIOS)	1575.270	1576.380	1580.081	1583.782	1583.782	1583.782	1583.782	1583.782	1609.685	1635.588	1635.588	1635.588	60.318	3.829
PRESA_NAVAJO (5 USUARIOS)	1288.112	1301.783	1328.444	1363.372	1359.682	1354.741	1355.978	1357.216	1351.063	1344.875	1343.653	1342.427	54.316	4.217
TOTAL	4730.126	4818.424	4875.323	4937.991	4979.317	5021.857	5068.123	5104.535	5169.310	5224.187	5275.397	5327.798		

Fuente: Elaboración Propia

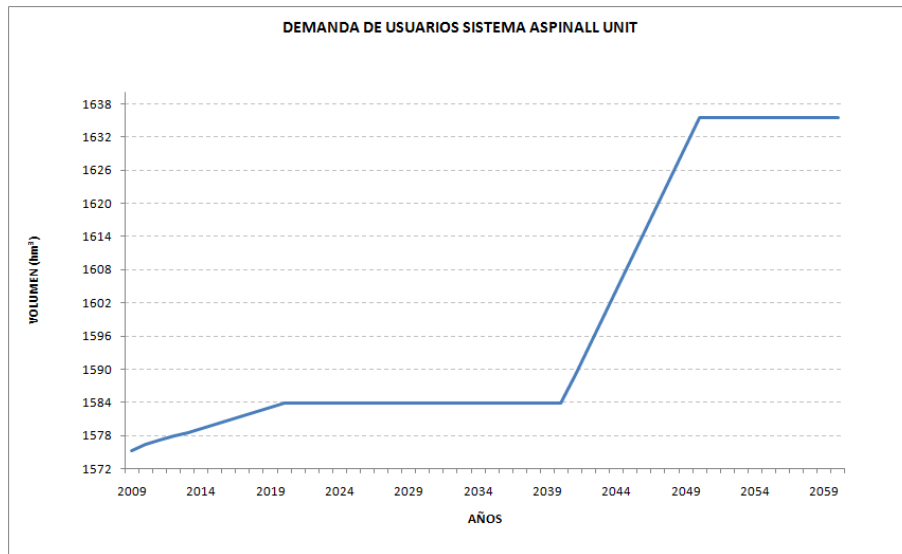


Figura 3.12 Gráfica de las demandas del sistema Aspinall Unit

3.2.5.2 Demanda por Río

La demanda por río se refiere a los usuarios cuyos derechos corresponden a los escurrimientos por río y que toman agua una vez que las demandas por presa han sido satisfechas. Normalmente se localizan aguas abajo de las demandas por presa.

En la tabla 3.5 se muestra las demandas de los ríos principales y tributarios que se consideraron para la Cuenca Alta del río Colorado. El río Colorado es al que mayor agua se le extrae de la Cuenca Alta seguido del río San Juan en el periodo simulado 2009-2060, el río que presenta mayor incremento porcentual de agua es el río White con un 47.3%, y el de mayor volumen de agua que se le demanda es el río Colorado con 427.648 hm³.

Tabla 3.5 Demanda de Agua por río de la Cuenca Alta del Colorado

DEMANDAS POR RÍO (hm ³)														
AÑO	2009	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	Incremento en Volumen	%Incremento
RÍO GREEN	621.339	637.621	652.546	667.348	684.370	689.304	692.017	696.958	700.563	704.168	708.910	713.652	92.314	14.857
RÍO STRAWBERRY	268.159	277.533	277.533	277.533	277.533	277.533	277.533	277.533	277.533	277.533	277.533	277.533	9.374	3.496
RÍO WHITE	163.314	176.390	186.258	196.126	205.994	225.730	230.041	234.370	236.837	239.921	240.538	240.538	77.223	47.285
RÍO YAMPA	381.162	381.162	381.162	381.162	382.391	383.631	383.631	383.631	385.476	387.327	388.564	389.796	8.634	2.265
RÍO SAN RAFAEL	186.757	187.127	204.022	207.722	207.234	207.234	203.533	203.533	201.060	201.060	197.119	198.352	11.595	6.208
RÍO DOLORES	390.977	397.171	397.171	404.572	404.572	404.572	404.572	404.572	404.572	434.167	466.238	466.238	75.260	19.249
RÍO SAN JUAN	1023.272	1026.287	1038.598	1058.345	1070.679	1095.349	1094.098	1095.329	1092.860	1097.811	1095.953	1099.026	75.754	7.403
RÍO COLORADO	2733.791	2817.305	2840.742	2887.618	2931.397	3001.100	3027.613	3063.995	3104.095	3141.724	3151.574	3161.439	427.648	15.643
TOTALES	5768.771	5900.596	5978.032	6080.426	6164.171	6284.452	6313.038	6359.921	6402.998	6483.712	6526.429	6546.574		

Fuente: Elaboración propia

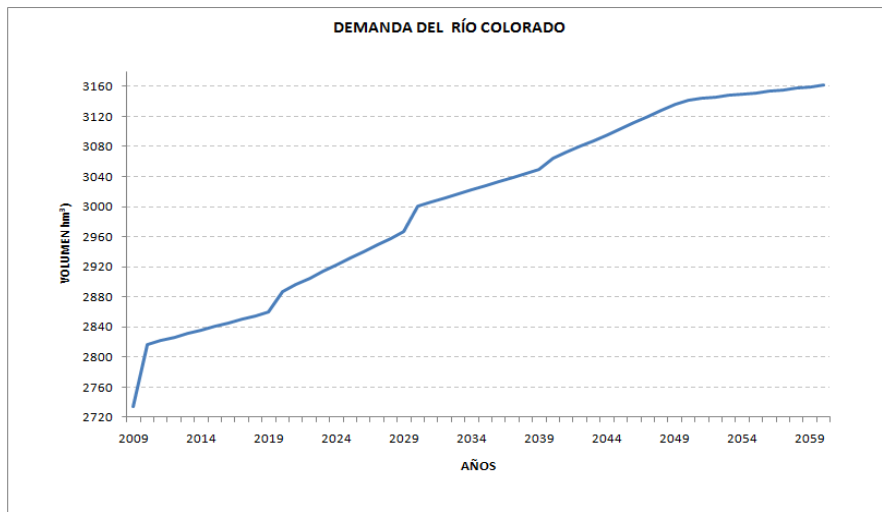


Figura 3.13 Demandas del río Colorado

La gráfica mostrada en la figura 3.13, se observa claramente como la demanda de agua por parte de los usuarios se encuentra en constante crecimiento del 2009 al 2060, que es el periodo que se simuló.

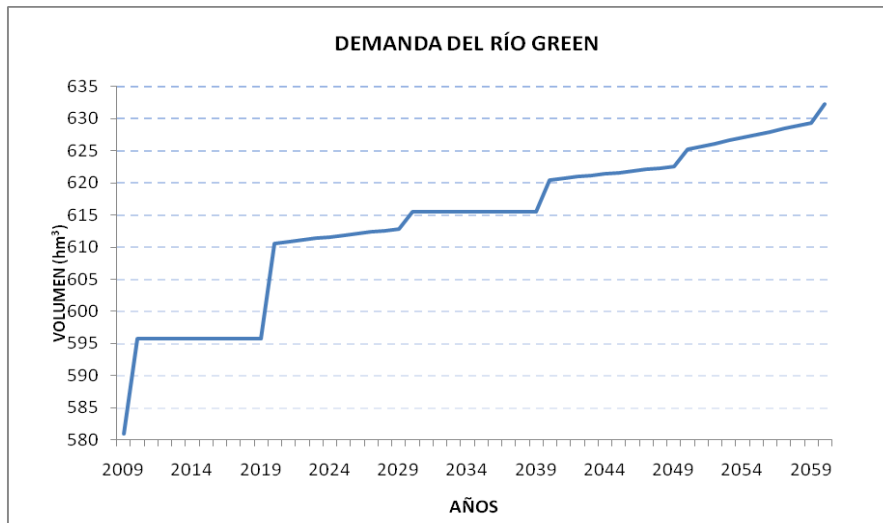


Figura 3.14 Demandas del río Green

La demanda del río Green está en constante crecimiento este río es uno de los tributarios principales de la Cuenca Alta del Colorado, el cual nace en Wyoming (Ver figura 3.14). Las demás gráficas de las demanda de los ríos se encuentran localizadas en el apéndice A-3.

3.2.6 Usos de Agua en la Cuenca Alta del Río Colorado

En lo que respecta a los tipos de uso del agua por parte de los usuarios de la Cuenca Alta del río Colorado, los usuarios se clasificaron respecto al estado al que pertenecen y al tipo de uso. Respecto al tipo de uso, el mayor consumidor de agua es la agricultura para todos los estados de la Cuenca Alta, los usos diversos se refiere al uso urbano, industrial, etc. (Ver tabla 4.6). No se clasificó en forma más detallada los usos debido a que la información obtenida se encontraba ya agregada y fue difícil su desagregación.

Tabla 3.6 Usos de Agua de la Cuenca Alta del río Colorado

WYOMING (CONSUMOS) hm ³														
AÑOS	2009	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	% Incremento en Volumen	% Incremento
AGRICULTURA	450.221	450.221	450.221	450.221	450.221	450.221	450.221	451.454	452.071	452.688	453.921	455.155	4.934	1.096
ENERGIA	17.515	18.502	23.436	28.370	37.004	57.974	75.859	93.745	123.965	154.185	175.154	196.124	178.608	1019.718
EXPORTACION	24.423	24.670	28.370	32.071	36.388	40.705	45.639	50.573	54.890	59.207	64.141	69.075	44.652	182.828
USOS DIVERSOS	141.974	144.317	146.168	149.251	150.485	155.419	159.119	162.820	172.071	181.322	197.357	217.093	75.119	52.911
TOTAL	634.133	637.710	648.195	659.913	674.098	704.318	730.838	758.591	802.997	847.402	890.574	937.446		
COLORADO(CONSUMOS) hm ³														
AGRICULTURA	1629.716	1637.155	1638.073	1644.907	1643.503	1649.670	1653.988	1658.305	1681.124	1719.979	1720.596	1721.212	91.497	5.614
ENERGIA	62.908	62.908	62.908	62.908	64.141	65.375	65.375	65.375	67.225	69.075	70.308	71.542	8.634	13.725
EXPORTACION	813.111	865.904	872.072	891.807	897.975	916.477	922.644	941.147	941.147	941.147	941.147	941.147	128.035	15.746
USOS DIVERSOS	605.886	614.274	622.908	634.010	646.961	661.146	661.763	662.380	666.080	687.049	687.049	693.217	87.331	14.414
TOTAL	3111.621	3180.241	3195.961	3233.632	3252.580	3292.668	3303.769	3327.206	3355.576	3417.250	3419.100	3427.118		
UTAH(CONSUMOS) hm ³														
AGRICULTURA	597.869	625.375	638.944	651.278	683.349	710.486	729.605	743.790	756.741	763.525	773.393	779.561	181.692	30.390
ENERGIA	52.670	56.740	56.740	62.908	63.524	66.608	66.608	67.842	67.842	69.075	69.075	70.308	17.639	33.489
EXPORTACION	276.177	286.168	286.168	286.168	286.168	286.168	286.168	286.168	286.168	286.168	286.168	286.168	9.991	3.618
USOS DIVERSOS	249.302	276.315	286.183	300.984	312.702	329.354	342.306	354.024	361.425	370.059	374.377	381.161	131.859	52.891
TOTAL	1176.016	1244.598	1268.034	1301.338	1345.743	1392.616	1424.686	1451.823	1472.175	1488.827	1503.012	1517.198		
NEW MEXICO(CONSUMOS) hm ³														
AGRICULTURA	103.203	103.288	104.837	110.338	111.742	111.742	111.742	111.742	111.742	111.742	111.742	111.742	8.539	8.274
ENERGIA	80.176	81.410	87.577	92.511	92.511	92.511	92.511	92.511	92.511	92.511	92.511	92.511	12.335	15.385
EXPORTACION	133.216	133.216	133.216	133.216	133.216	133.216	133.216	133.216	133.216	133.216	133.216	133.216	0.000	0.000
USOS DIVERSOS	349.817	360.176	380.529	395.947	403.350	414.450	415.068	415.682	415.682	415.682	415.682	415.682	65.865	18.829
TOTAL	666.412	678.089	706.159	732.011	740.819	751.919	752.537	753.151	753.151	753.151	753.151	753.151		
ARIZONA(CONSUMOS) hm ³														
USOS DIVERSOS	55.522	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	6.167	11.108
TOTAL	55.522	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689	61.689		

Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Flujos de Retorno

En el modelo se consideraron flujos de retorno para todos los grupos de usuarios, la mayor parte de estos descargan sus aguas abajo de su derivación a excepción de 2 usuarios, el grupo de usuarios llamado Navajo Indian Irrigation Project (NIIP), ubicado en Nuevo México, y el grupo de usuarios llamado Intrabasin Export Dolores Project, ubicado en Colorado, que trasvasa agua del río Dolores al río San Juan. Ver Figura (3.15). Los usuarios llamados de exportación no tienen flujos de retorno.

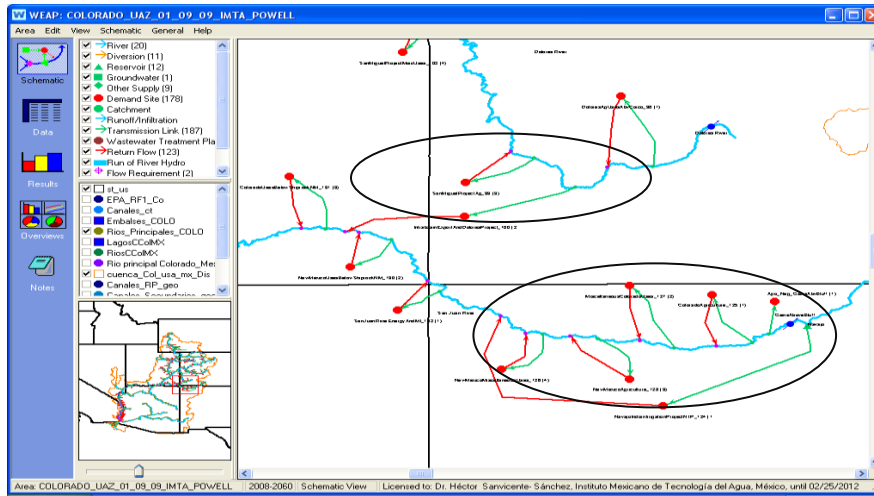


Figura 3.15 Usuarios con flujos de retorno en otro río

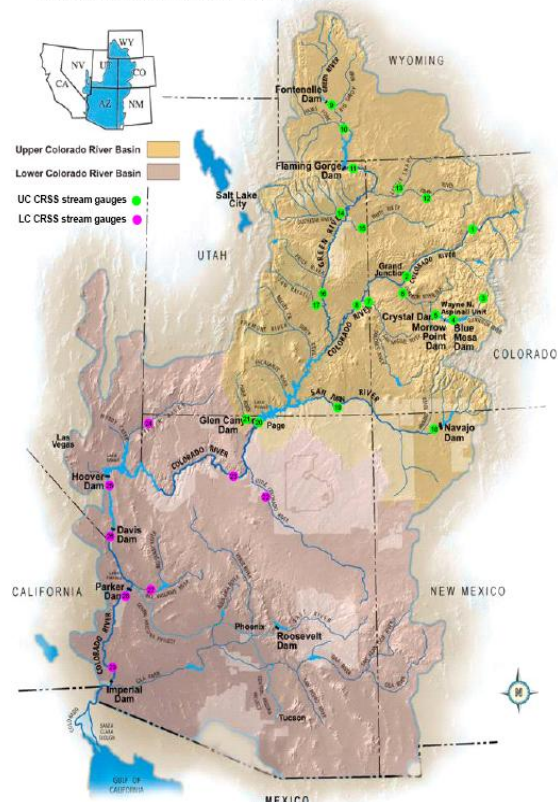
3.2.8 Requerimientos de Flujo

En el CRSS para algunos tramos o segmentos de río está establecida una condición de caudal mínimo igual a 12,334.818 m³/mes (10 acre-pie/mes), este mismo caudal se estableció en WEAP como una especie de caudal ecológico.

3.2.9 Estaciones Hidrométricas (Stream Gauges)

La Cuenca del Colorado cuenta con 29 estaciones hidrométricas con registros continuos regulares desde 1906 a la fecha, de las cuales 20 están localizados en la Cuenca Alta, la información se obtuvo del USBR, contiene los flujos naturales de los tramos de ríos (ver figura. 3.16), que conforman toda la cuenca del Colorado y se procesó para la modelación del WEAP.

En la figura 3.17 se observa las estaciones hidrométricas extraídas de ArcGis por medio de coordenadas (latitud y longitud).



CUENCA ALTA

No.	Estación	Nombre
1	09072500	Colorado River near Glenwood Springs, Colorado
2	09095500	Colorado River near Cameo, Colorado
3	09124700	TaylorAboveBlueMesa
4	09109000	Taylor River below Taylor Park Reservoir, Colorado
5	09127800	GunnisonRiverAboveCrystal;GainsAboveCrystal
6	09152500	Gunninson River near Grand Junction, Colorado
7	09180000	Dolores River near Cisco, Utah
8	09180500	Colorado River near Cisco, Utah
9	09211200	Green River below Fontenelle Reservoir Wyoming
10	09217000	Green River near Green River, Wyoming
11	09234500	Green River near Greendale, Utah
12	09251000	Yampa River near Maybell, Colorado
13	09260000	Little Snake River near Lily, Colorado
14	09302000	Duchense River near Randlett, Utah
15	09308500	White River near Watson, Utah
16	09315000	Green River near Green River, Utah
17	09328500	San Rafael River near Green River, Utah
18	09355500	San Juan River near Archuleta, New Mexico
19	09379500	San Juan River near Bluff, Utah
20	09380000	Colorado River at Lees Ferry, Arizona

CUENCA BAJA

No.	Estación	Nombre
21	09382000	Paria River at Lees Ferry, Arizaona
22	09402000	Little Colorado River near Cameron, Arizona
23	09402500	Colorado River near Grand Canyon, Arizona
24	09415000	Virgin River at Littlefield, Arizona
25	09421500	Colorado River below Hoover Dam, Arizona - Nevada
26	09423000	Colorado River below Davis Dam, Arizona - Nevada
27	09428000	Bill Williams River below Alamo Dam, Arizona
28	09427520	Colorado River below Parker Dam, Arizona - California
29	09429490	Colorado River Above Imperial Dam, Arizona - California

Figura 3.16 Estaciones de la Cuenca Alta y Baja del río Colorado

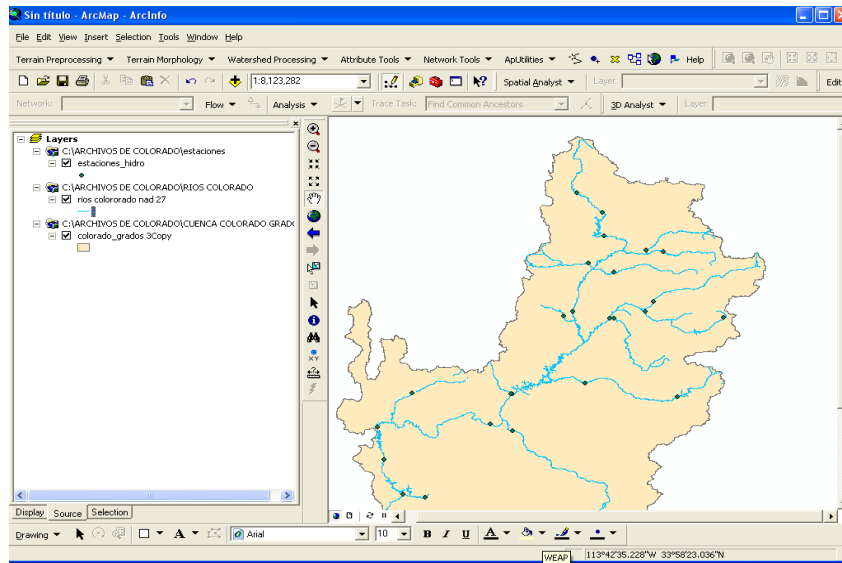


Figura 3.17 Ubicación de estaciones hidrométricas

En la figura 3.18 se muestra la localización de las estaciones creadas en WEAP, por medio de puntos azules sobre los ríos principales y tributarios.

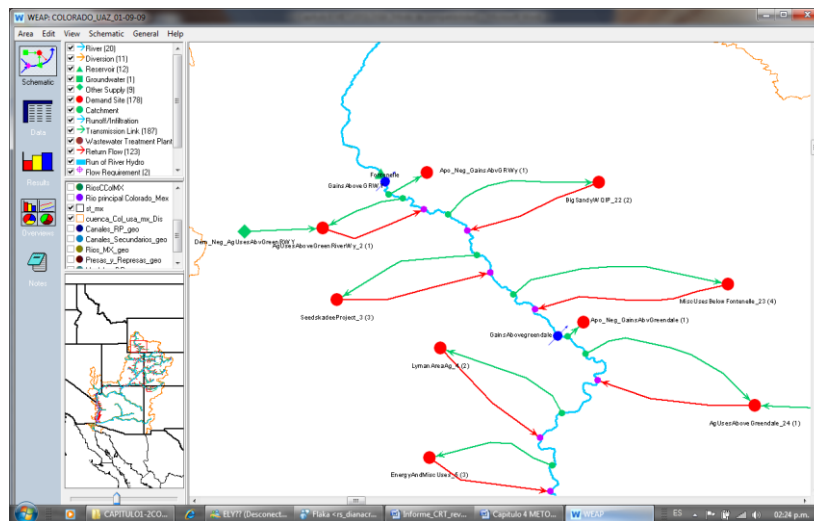


Figura 3.18 Estaciones hidrométricas creadas en WEAP

3.3 Entrada de Datos a WEAP

En esta sección se mostrará la manera en cómo se dedujeron e introdujeron los datos que requiere el modelo en WEAP para llevar a cabo la gestión de los recursos.

3.3.1 Sitios de Demanda

Cuando se coloca un sitio de demanda en WEAP aparece un cuadro, al cual se le tiene que asignar un nombre y una prioridad (las prioridades van de 1 a 99, siendo 1 el valor de mayor prioridad) como se muestra en la figura 3.19. El nombre que se les asignó a los sitios de demanda fue con base en los nombres que previamente ya estaban establecidos en el CRSS, con la prioridad de 1 para todos los sitios de demanda, ya que todos ellos tienen la misma importancia de suministro y toman agua del río principal o tributarios más importantes de la cuenca del Colorado.

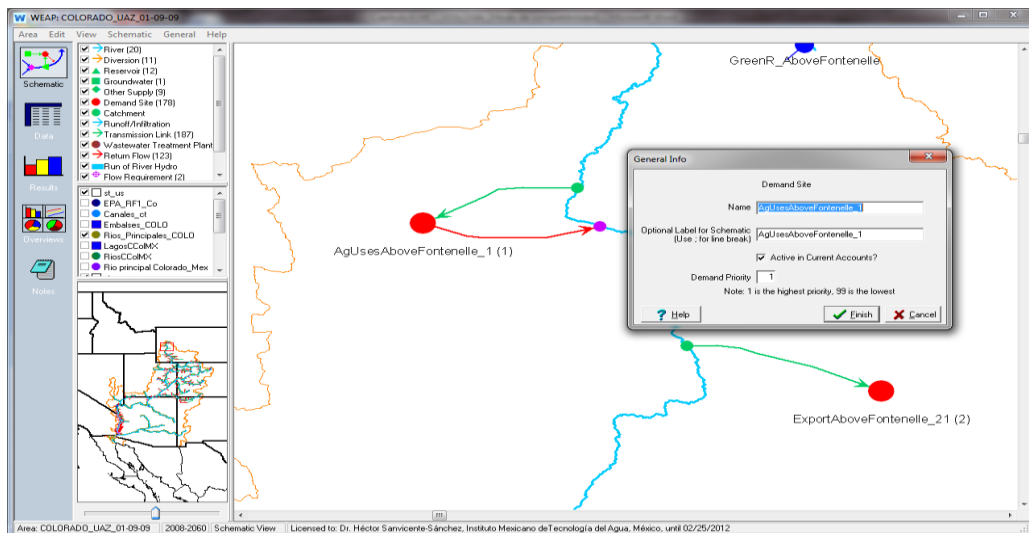


Figura 3.19 Nombramiento de los sitios de demanda en WEAP.

Una vez que se introdujeron todos los sitios de demanda en el modelo de la cuenca con sus respectivos nombres que los identifican y prioridades, se alimentó el resto de la información, por ejemplo en la figura 3.20 se muestra la información de la demanda mensual y su consumo. Las demandas y consumos en WEAP, en este caso son tomadas por medio de archivos creados en Excel, y leídos por medio de una función de WEAP llamada "Read from File". Esta función se encarga de leer la demanda del usuario con bases en su columna correspondiente.

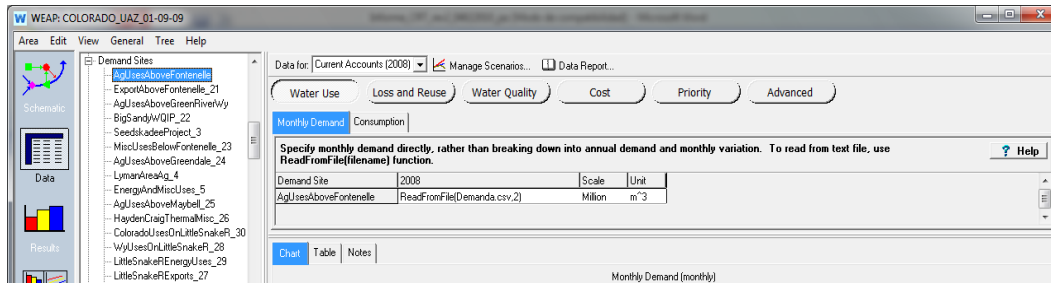


Figura 3.20 Introducción de datos en los sitios de demanda en WEAP.

En la siguiente figura 3.21 se puede observar cómo se estructuran en los archivos de demandas y consumos para los usuarios de la cuenca del río Colorado en WEAP. En la figura 3.21a, la primera columna establece el año de inicio y los años posteriores hasta donde se vaya a realizar la simulación (2008-2060), en la siguiente columna el mes al que hace referencia ese año y después ya se coloca la demanda mensual de cada uno de los usuarios en hm³. Este mismo formato se utiliza para los consumos, (ver figura 3.21b) los consumos están dados en porcentaje, es decir que para cada mes, del agua que se demande sólo se consumirá la que se establece a través del porcentaje.

Demandas en WEAP (3.21a)

usuarios en WEAP (3.21b)

Consumo de

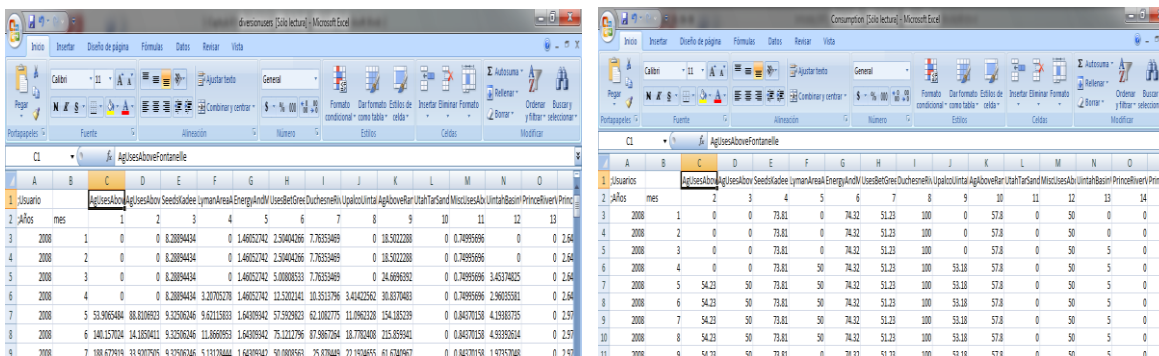


Figura 3.21 a y b Demandas y consumos en hojas de Excel para WEAP

3.3.2 Ríos o Corrientes Naturales

Como se mencionó anteriormente la Cuenca Alta del río Colorado está integrada por ríos principales, donde a cada uno de estos se

le introdujo sus flujos de cabecera y locales respectivamente. (Ver tabla 3.7 y 3.8).

Tabla 3.7 Flujos de Cabecera de la Cuenca Alta del río Colorado

FLUJOS DE CABECERA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO (m ³ /seg)										
Años	GreenRAbove Fontanelle	DuchesneRiver	DoloresRiver	SanRafaelRiver	SJAboveNavajo	UpperColorado	White River	Taylor Park	Yampa River	Little Snake
2009	932.236	732.768	308.713	129.725	549.522	1442.655	389.728	104.739	911.917	382.564
2010	533.099	317.978	205.850	69.670	577.209	773.466	222.076	72.241	439.752	174.960
2015	830.463	412.147	420.901	107.173	517.965	856.735	258.693	68.243	578.210	338.988
2020	815.776	382.233	174.890	96.155	433.242	1348.773	289.113	100.934	645.691	146.589
2025	805.171	554.478	444.050	125.787	681.254	1254.295	360.330	99.864	691.544	179.439
2030	680.873	431.664	387.292	119.222	408.102	1338.555	350.118	101.316	717.730	238.301
2035	455.819	284.092	222.923	66.740	391.064	954.152	268.798	66.222	517.832	59.452
2040	682.577	418.141	500.149	117.248	755.926	1212.119	303.294	78.192	604.335	124.066
2045	809.018	346.179	357.664	73.766	406.918	934.302	212.309	73.340	450.167	173.343
2050	519.235	270.361	450.176	67.448	605.039	933.123	252.705	80.687	564.787	311.626
2055	511.867	276.398	207.439	62.881	290.771	883.419	233.843	60.299	416.028	154.714
2060	518.031	347.059	546.600	110.044	666.556	935.997	286.857	59.547	607.039	142.868

Fuente: Elaboración propia

Los flujos de cabecera; son aquellos escurrimientos que se presentan en el origen de un río o dan inicio al río.

Tabla 3.8 Flujos Locales de la Cuenca Alta del río Colorado.

FLUJOS DE LOCALES DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO (m ³ /seg)										
AÑOS	GainsAboveGreendale	GainsAboveGRWY	GainsAbove Cameo	GainsAboveCisco	GainsAboveBl	GainsAboveCrystal	GainsGunnisonRiverAbvGrandJunction	GainsAboveBluff	GainsAboveLessFerry	GainsAboveGreenRiverUT
2009	571.685	59.605	795.386	88.250	695.713	119.577	422.432	439.672	537.427	357.554
2010	282.366	48.401	574.253	102.084	368.192	68.885	275.527	342.048	110.057	183.249
2015	289.057	68.394	686.171	29.265	410.276	76.503	347.649	430.130	194.099	146.901
2020	272.871	63.812	809.448	34.396	576.385	103.085	388.226	403.867	306.610	137.535
2025	399.426	53.012	887.281	45.846	585.496	103.957	578.524	598.629	378.801	267.851
2030	301.448	45.114	823.082	72.797	584.061	116.438	516.660	394.426	365.299	291.688
2035	276.378	11.260	648.419	45.674	366.770	71.429	401.114	336.307	281.051	68.395
2040	302.342	36.115	854.287	153.925	559.318	111.064	654.102	509.084	367.780	146.715
2045	302.405	45.101	595.554	91.416	477.766	80.768	413.709	368.831	244.850	86.005
2050	235.784	48.926	695.595	85.134	553.123	111.855	570.204	483.014	295.020	145.404
2055	144.372	58.876	522.086	81.875	375.659	63.798	334.295	262.898	269.256	139.010
2060	179.206	34.782	604.074	119.602	555.877	97.409	571.465	545.586	314.158	221.419

Fuente: Elaboración propia

Los flujos locales son las aportaciones que llegan al río en cada tramo por cuenca propia, al igual que las demandas se leen de archivos de Excel, estos se ubican en la variable de Supply and Resource en los tramos de ríos correspondientes, los flujos están dados en m³/seg. En el constructor de expresiones (expression builder), se realizan las conversiones correspondientes de m³/seg a hm³, y de años normales a años bisiestos⁵, para el cálculo en el modelo realizado se toman todas la unidades en hm³ (Ver figura. 3.22).

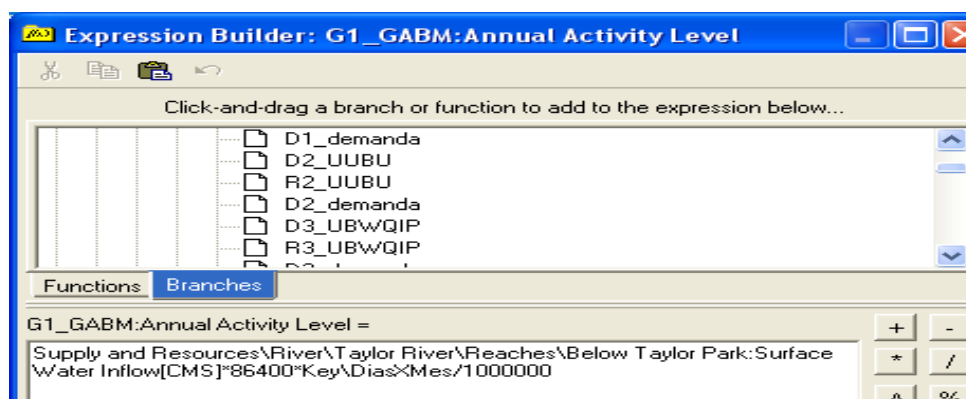


Figura 3.22 Sintaxis de flujos locales y de cabecera en la programación de políticas

3.3.3 Presas

Una vez que se tenía la localización de las presas en WEAP se procedió a introducir la información requerida por estas, empezando con las variables que determinan las características físicas del reservorio, **físicas** (Capacidad de almacenamiento, almacenamiento inicial, curva volumen-elevación y evaporación neta) posteriormente se alimentan los parámetros para la **operación**, (nivel de conservación. Nivel de amortiguamiento, nivel inactivo y coeficiente de amortiguamiento), Esta

⁵ **Nota: Días por Mes.**- El modelo en WEAP trabaja con base en un calendario Normal, es decir no trabaja con años bisiestos, pero este aspecto altera los volúmenes mensuales escurridos para años bisiestos, para evitar este problema de caudal a volumen, se hace considerando los días por mes tanto en años bisiestos como en años normales a través de la variables "días por mes", definida en el modelo.

información se encuentra en la tabla 4.1 características de las presas de la Cuenca Alta del río Colorado.

Como se puede observar la figura 3.23, muestra la curva volumen - elevación de la presa Morrow Point en el programa WEAP, las pestañas antes mencionadas de las características de las presas también se aprecian en esta figura

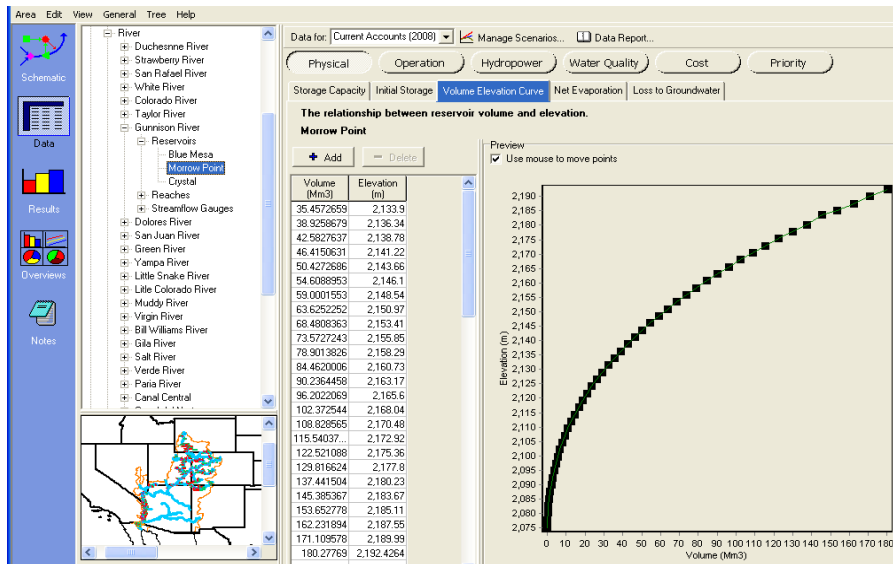


Figura 3.23 Curva elevación -volumen presa Morrow Point en WEAP

3.3.4 Flujo Mínimo a través de la red de drenaje

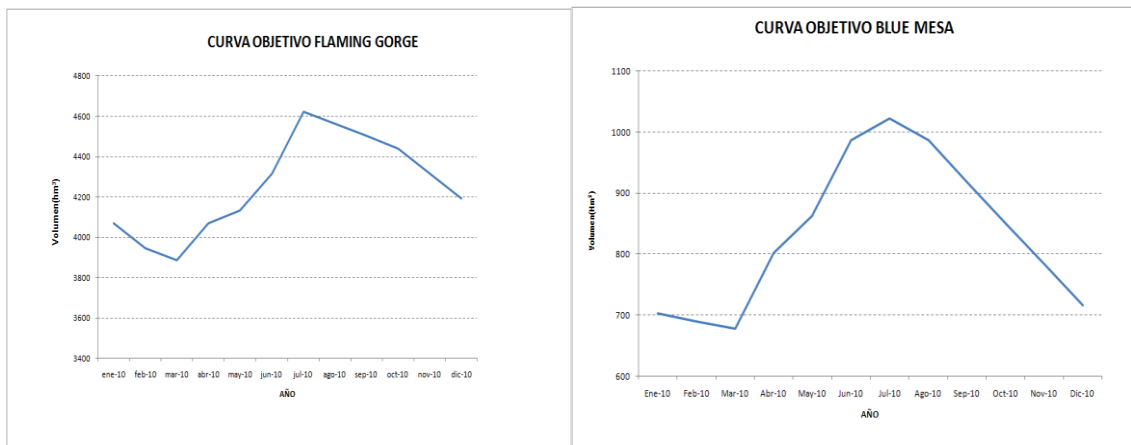
En el estudio de Declaración de Impacto Ambiental Final (FEIS, por sus siglas en ingles) desarrollado en 2007 (FEIS, 2007), se establece un caudal mínimo que debe pasar por cada tramo de río, el flujo mínimo establecido es de 0.0123348183755 hm³ (10acre-ft), se podría decir que este establece un flujo ecológico.

3.4 Reglas de Operación de las presa de la Cuenca Alta del Río Colorado

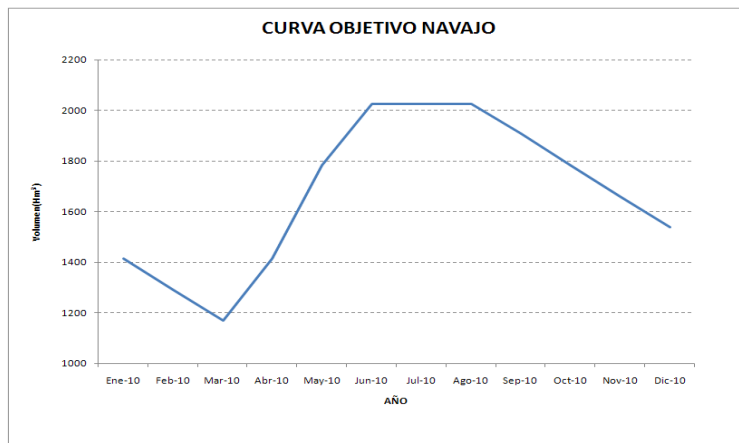
Las presas de la Cuenca Alta tienen la función de colectar los escurrimientos que llegan a ellas una vez que las demandas aguas arriba han sido satisfechas y a partir de sus volúmenes almacenados satisfacer las demandas por presa que le correspondan aguas abajo. Otros de sus objetivos son; establecer un espacio para controlar avenidas y al mismo tiempo mantener un

almacenamiento de reserva para cubrir una posible escasez en la Cuenca Baja (USBR, 2007a, 2007b; Fulp, 1999). Para cumplir los objetivos de controlar avenidas y mantener un almacenamiento de reserva, a todos los embalses el USBR les ha desarrollado una curva que determina el almacenamiento al que la presa debe tender en cada mes del año (curva de reserva o curvas objetivo) y ellas son operadas para no alejarse de dicho valor (Ver figura 3.24). Además de que ellas son empleadas para la generación de energía motivo por el cual es necesario mantener una extracción mínima y una extracción máxima (ver tabla 3.9) (USBR, 2007a; Fulp, 1999). La salida de curva de reserva se calcula como: salida = (entradas + almacenamiento actual) - Almacenamiento al nivel de la curva de reserva

Figura 3.24 Curva de reserva u objetivo



- a) Flaming Gorge
- b) Blue Mesa



c) Curva de reserva u objetivo de Navajo

El procedimiento básico de operación normal de cualquiera de las presas es (USBR, 2007a; Fulp, 1999): dado un pronóstico de flujos de entrada para el mes actual, la salida será la extracción necesaria para alcanzar el espacio objetivo determinado por la curva de reserva ó la salida necesaria para satisfacer las demandas aguas abajo de la presa, el que sea mayor, restringiéndola a mantenerse entre el flujo mínimo y máximo de turbinado.

Tabla 3. 9 Flujos Mínimos y Máximos de Extracción en las Presas de la Cuenca Alta del río Colorado.

Presa	Flujo mínimo (m³/s)	Flujo máximo (m³/s)
Fontanelle	14.158	529.525
Flaming Gorge	22.653	138.753
Starvation	2.832	141.584
Taylor Park	1.416	141.584
Blue Mesa	7.646	141.584
Morrow Point	8.495	141.584
Crystal	8.495	118.931
Navajo	8.495	167.069

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Calculo para Satisfacer las Demandas

El cálculo para satisfacer las demandas se calcula como; el agua que demandan los usuarios + el flujo mínimo a través de la red de drenaje (1,235hm³)- Ganancias (flujos locales o flujos por cuenca propia)- Retorno, por medio del balance de masas incluyendo el flujo mínimo de la derivación que se tiene que conservar.

Ejemplo:

$$D1 = \text{Demanda de los grupos de Usuarios} + \text{Flujo mínimo a través de la red de drenaje} - \text{Ganancias} - \text{Retorno.}$$

Donde D1: Demanda 1

Aunque todas las presas poseen su curva de reserva el procedimiento básico de operación es modificado para las presas de Flaming Gorge, Blue Mesa y Navajo para los meses de enero a julio. Para estos reservorios el pronóstico de flujos de entrada primero es corregido para el periodo mencionado a través de un promedio pesado con el escurrimiento promedio natural de largo tiempo (tabla 3.10 pesos para pronósticos de entrada) y con base en este pronóstico corregido la extracción por curva de reserva en cada mes de este periodo es el volumen necesario para que el reservorio se encuentre lleno al término de julio (USBR, 2007a). Esto es,

Extracción necesaria para el mes actual = (almacenamiento actual - capacidad activa + pronóstico corregido de flujos de entrada) / número de meses faltantes para alcanzar julio

Tabla 3. 10 Pesos para Corregir el Pronóstico de Flujos de Entrada a las Presas Flaming Gorge, Blue Mesa y Navajo.

Mes	Pesos pronóstico de flujos de entrada	Pesos escurrimiento promedio natural
Enero	0.3	0.7
Febrero	0.4	0.6
Marzo	0.5	0.5
Abril	0.7	0.3
Mayo	0.7	0.3
Junio	0.7	0.3
Julio	0.6	0.4

Fuente: FEIS (Colorado River Interim Surplus Criteria, Final Environmental Impact Statement, 2000).

3.4.2 Retornos

En cuanto a los flujos de retornos se calculan como; la demanda de agua del grupo de usuarios $\ast(1-\text{Consumo})/ 100$, en este se divide entre 100 por que el software requiere los valores de los retornos en porcentaje.

Ejemplo: Demanda 1 del grupo de usuarios (AgUsesAboveGreenRiverWy) * (1- el consumo del usuario AgUsesAboveGreenRiverWy/100), en la sintaxis de WEAP se lee como:

D1_AGUAGRW*(1-Demand Sites\AgUsesAboveGreenRiverWy: Consumption/100), (Ver figura 3.25)

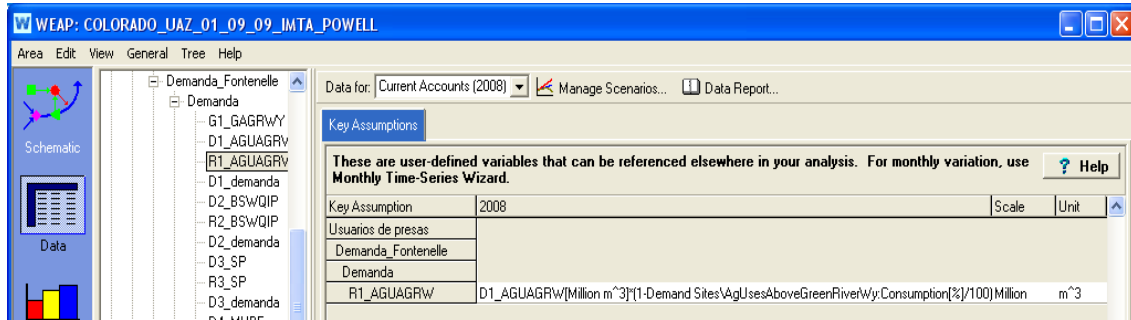


Figura 3.25 Establecimiento de los flujos de retorno en el modelo WEAP.

3.4.3 Otras Fuentes de entrada de agua al sistema (Other Supply)

En WEAP existe un apartado en el esquema de árbol en el cual se mencionan a otras fuentes, en este caso para el WEAP se colocaron fuentes virtuales o fuentes alternativas los cuales en el modelos del CRSS tienen valores negativos, al encontrar valores negativos en estos flujos, significaría que existe otra fuente que le esta suministrado, o extrayendo agua al sistema. En la figura 3.26, se muestra un ejemplo de cómo se extrajo esta información del CRSS.

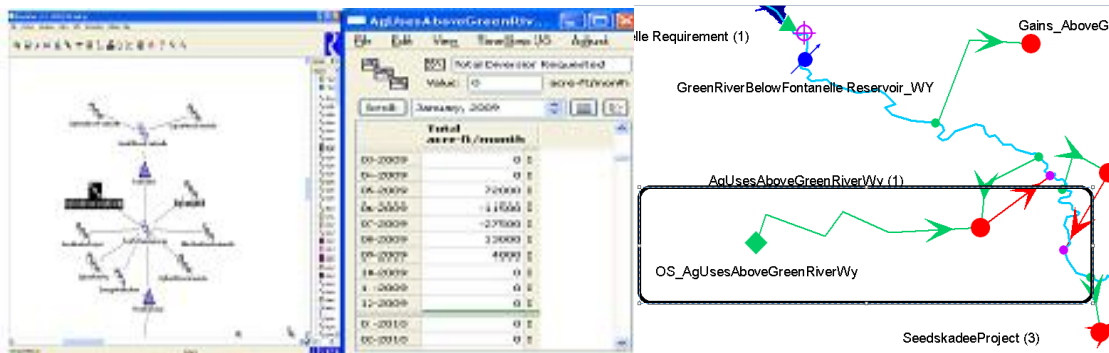


Figura 3.26 Extracción de información de Otras Fuentes

La información del CRSS (Colorado River Simulation System) para este apartado se procesa en el WEAP por medio de Expresion Builder

(Ver capítulo 3), en el cual se realizan los cálculos, en el caso de la figura 4.30, hace referencia a otra fuente, renombrado con OS (Other Supply) y el nombre del usuario, le esta agregando agua al sistema por medio de los flujos de retorno para WEAP. Este mismo procedimiento se realiza con las otras fuentes en donde los valores que arroje CRSS sean negativos se colocara un usuario virtual. En la figura 3.27 se observa que existen flujos de agua renombrados (Gains_nombre del tramo de río_Neg), refiriéndose a que el CRSS, tiene estos valores negativos de ganancias en algunos casos, para esos tramos de rio, en el sistema el WEAP se colocó esta fuente alterna para extraerle agua al sistema por medio de los retornos.

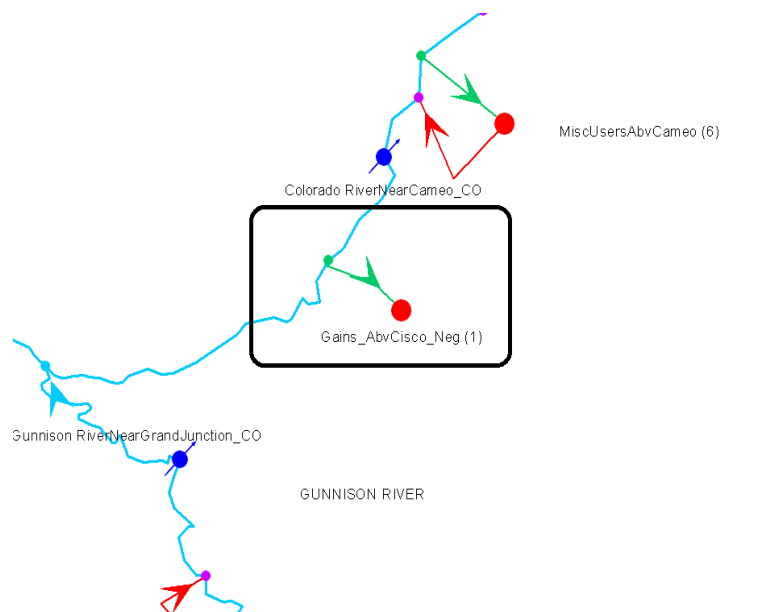


Figura 3.27 Otras Ganancias

Capítulo 4 . VALIDACIÓN Y RESULTADOS DEL MODELO

4.1 Introducción

En el capítulo anterior se describió de manera detallada cómo se realizó el esquema y la modelación de la cuenca del río Colorado en la plataforma WEAP (Water Evaluation and Planning System) mediante los datos obtenidos del CRSS (Colorado River Simulation System) en la plataforma RiverWare, en este capítulo se llevará a cabo el proceso de validación.

La validación se refiere a la construcción de un modelo correcto, es el proceso de determinar si el modelo, es una buena representación del sistema.

La validación de un modelo es un problema, relativamente complejo. Si se dice que un modelo es correcto o válido, significa que está representando en forma adecuado el sistema o modelo real, pero es obvio que nunca se puede estar absolutamente seguro y ningún modelo, por más sofisticado que sea, puede representar exactamente la realidad, y siempre será una aproximación del sistema real (Rivera, 1983). Por lo tanto se considera que en el proceso de validación de un modelo, se trata de obtener el mayor grado de confianza posible para su uso, de acuerdo a las fuentes disponibles para validar. En términos generales la validación de un modelo está relacionada con la necesidad de efectuar una serie de modificaciones tanto en la estructura como en los procesos de decisión hasta obtener un ajuste o aproximación adecuados entre las funciones de salida observada y calculadas mediante la modelación (Galvis, 1986).

La validación del modelo se realizó comparando los resultados obtenidos por el modelo WEAP construido en este trabajo contra la ejecución del modelo CRSS (Colorado River Simulacion System) a través del RiverWare.

Los criterios para la validación del modelo fueron:

- El flujo a lo largo del canal principal y sus afluentes.
- Almacenamiento y el flujo de salida de los embalses.
- Entrega de agua a los diferentes usuarios.

Las figuras que aparecen a continuación son un ejemplo de los resultados obtenidos del WEAP y su comparación o validación contra el CRSS en RiverWare para todos los embalses de la Cuenca Alta. El periodo validado es del 2008 al 2026, pero el modelo se ejecutó del 2008 al 2060.

4.2 El Flujo a lo Largo del Canal Principal y sus Afluentes

4.2.1 Tramo de Río Green Aguas

Este tramo de río se encuentra localizado aguas abajo de la presa Fontenelle, aguas arriba de Flaming Gorge en la parte superior del río Green.

En la figura 4.1, el recuadro rojo que aparece en el centro es el tramo de río del cual se extrajo información del agua que fluye en los diferentes tramos de ríos hacia las presas o usuarios, así como los escurrimientos por cuenca propia, las tablas que están a la derecha de ésta, muestran esta información de flujo a través de ese tramo del río en hm³.

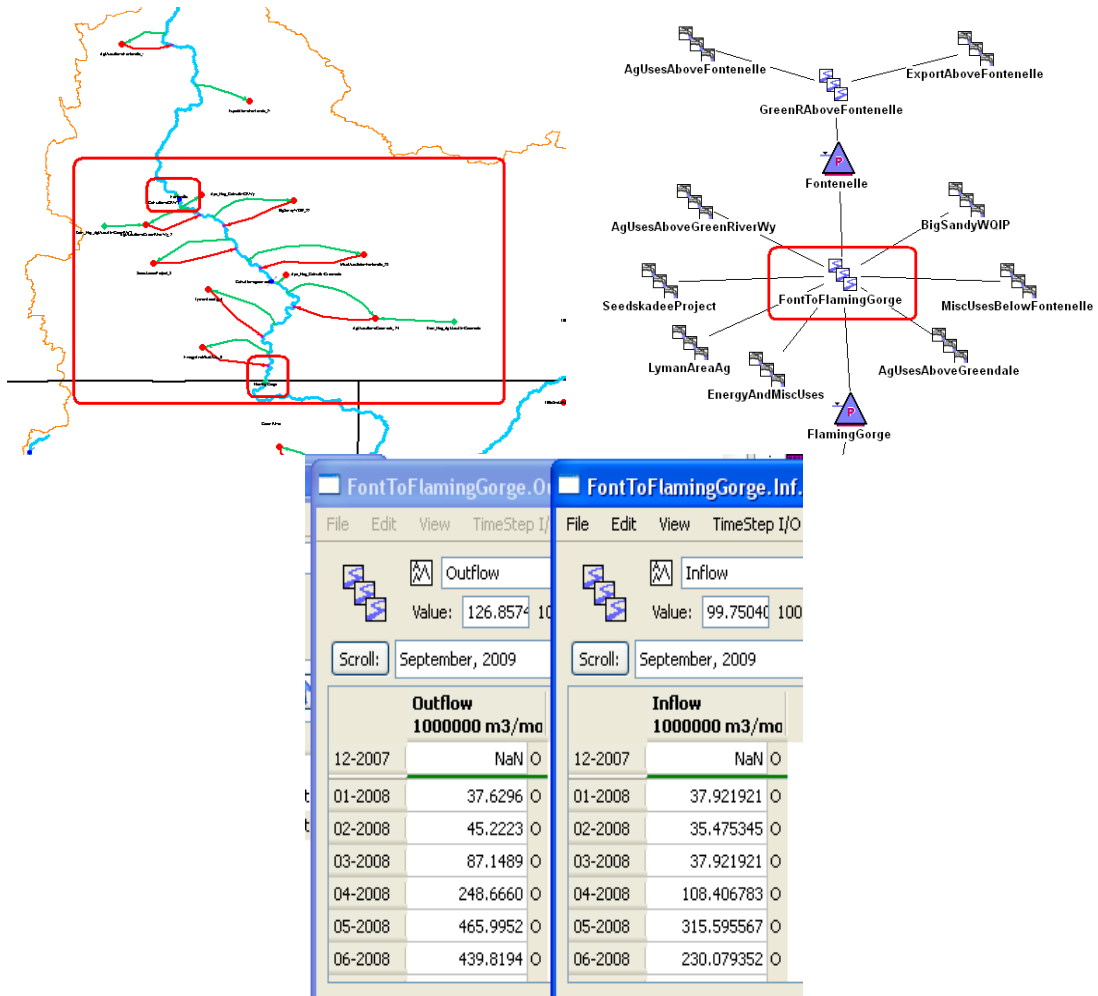


Figura 4.1 Esquema de tramo de río Green en el modelo Weap y Riverware entre Fontenelle y Flaming Gorge

En la figura 4.2, se muestran los resultados obtenidos de los flujos de entrada y salida del tramo de río Green, la comparación de los resultados del modelo WEAP y los del modelo CRSS (Colorado River Simulation System) de ambos modelos son los mismos.

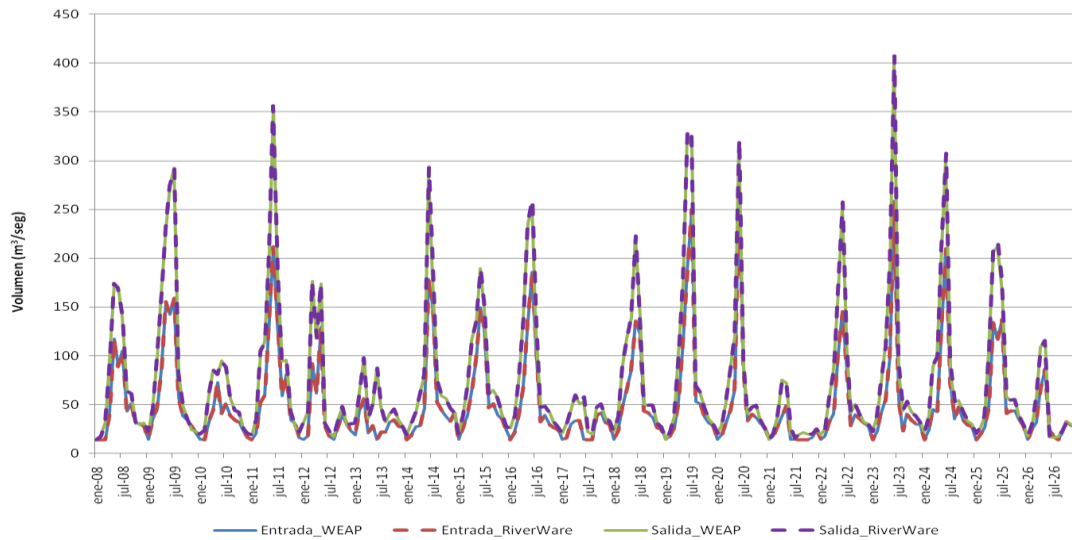


Figura 4.2 Entradas y salidas del tramo de río Green, comparación de resultados de WEAP con RiverWare

4.2.2 Tramo del Río White

Este tramo de río está localizado a la derecha del río Green, abajo del río Yampa, es un tributario que se conecta al río Green, en este tramo de río se encuentran localizados 7 usuarios. A la izquierda de la figura 4.3 se encuentra el esquema en WEAP y a la derecha en CRSS.

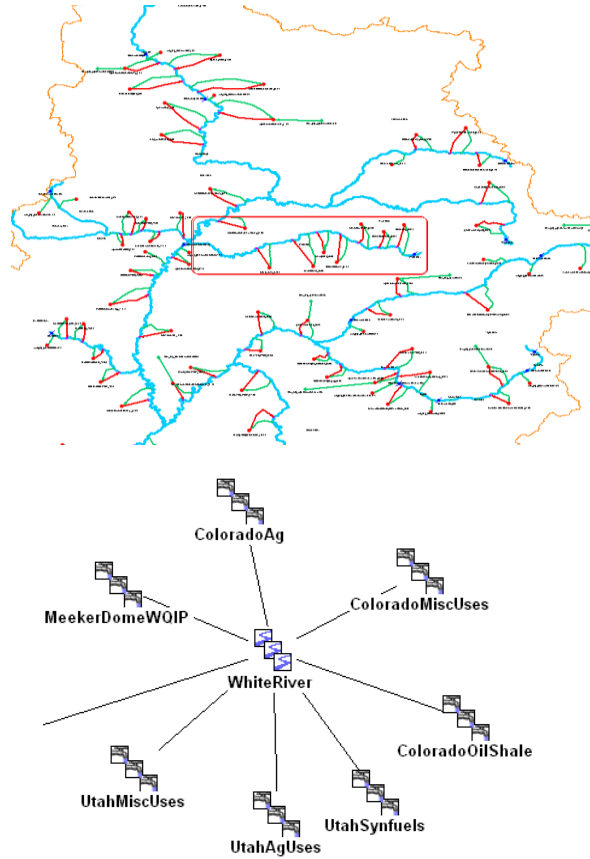


Figura 4.3 Esquema de tramo de río White del modelo WEAP y RiverWare

En la figura 4.4, se muestran los resultados del tramo de río White para los flujos de entradas y salidas, la comparación del modelo WEAP se realiza contra el modelo CRSS y los resultados son los mismos.

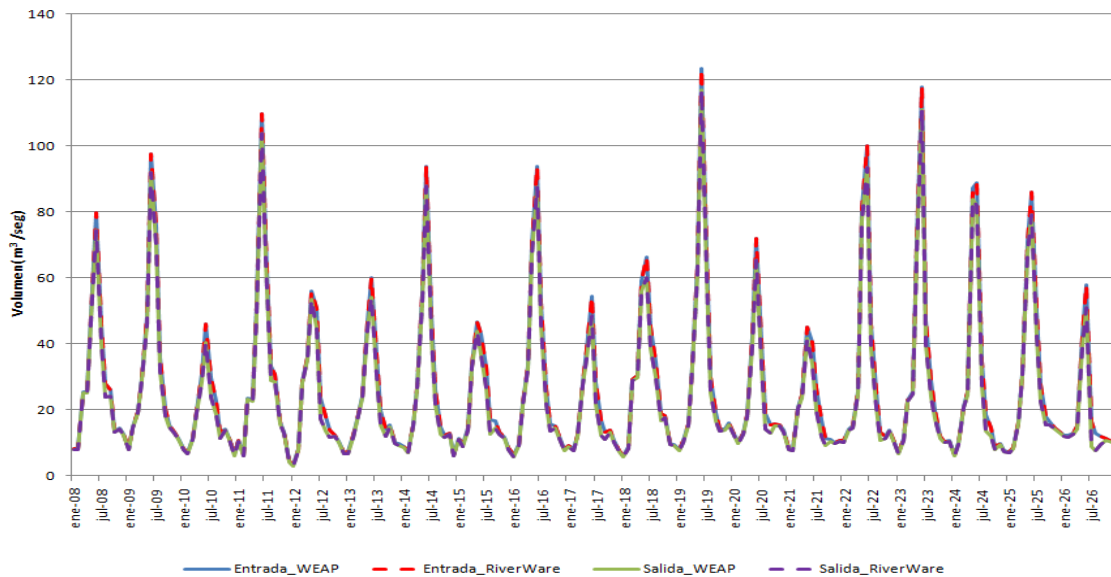


Figura 4.4 Entradas y salidas del tramo de río White, comparación de resultados de WEAP con RiverWare

4.2.3 Tramo del Río Duchesne Debajo de Starvation

En este tramo de río (Duchesne) se localiza la presa Starvation, aguas arriba la presa se encuentra un usuario y aguas abajo 5 usuarios, que se conectan al río Green. Del lado izquierdo, de la figura 4.5, se muestra el esquema en WEAP y del lado derecho el esquema del CRSS.

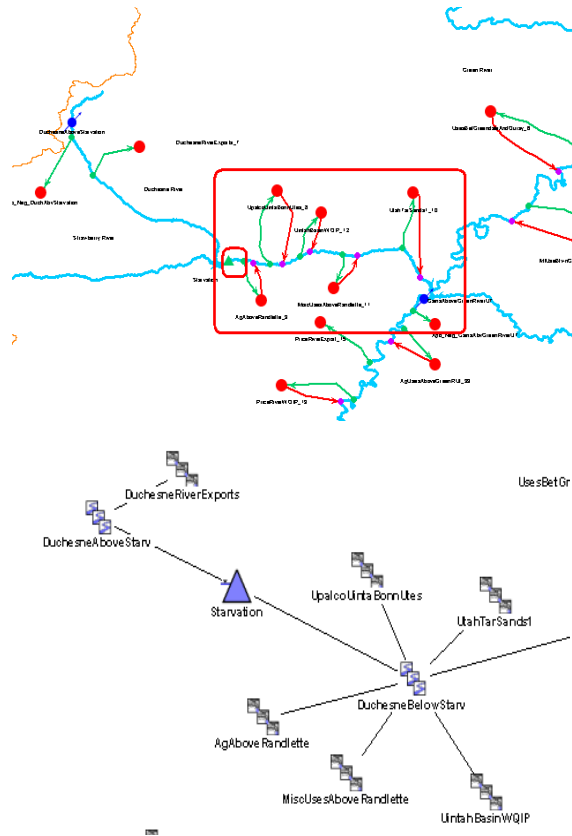


Figura 4.5 Esquema de tramo de río DucheSne del modelo WEAP y RiverWare

En la figura 4.6, se muestran los resultados obtenidos para los flujos de entradas y salidas del tramo del río DucheSne, la comparación del modelo WEAP se realiza contra el modelo CRSS (Colorado River Simulation System), y los resultados son los mismos.

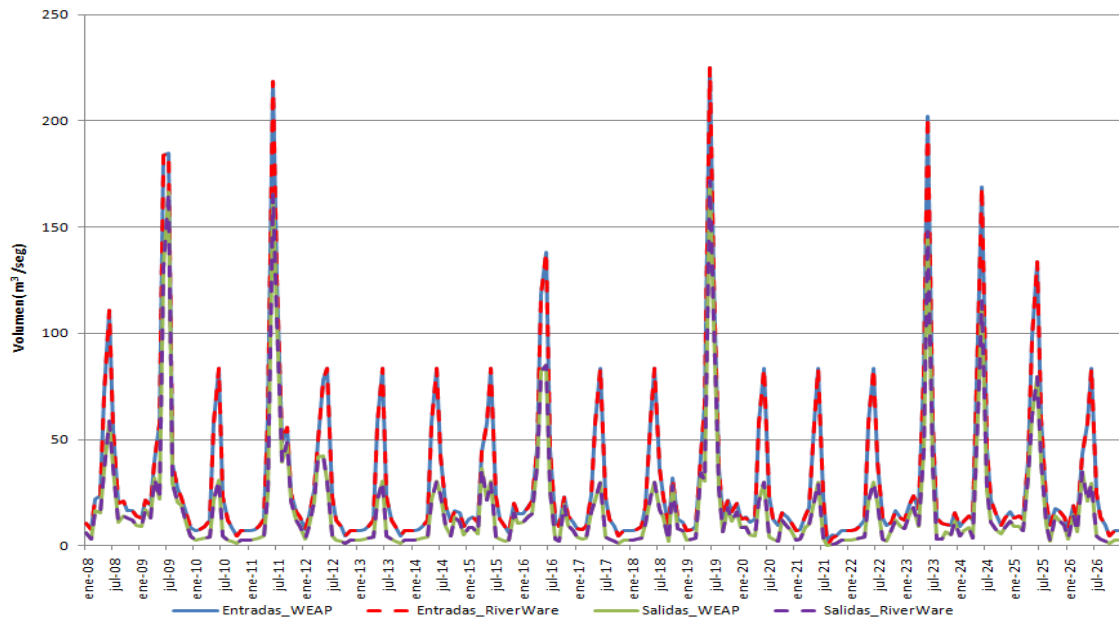


Figura. 4.6 Entradas y salidas del tramo del río Duchesne, comparación de resultados de Weap con Riverware

4.2.4 Tramo del Río Gunnison

Este tramo de río (Gunnison) comprende 4 presas; Taylor Park (con 2 usuarios aguas abajo), Blue Mesa, Morrow Point, y Crystal (con 6 usuarios aguas debajo de estas). El tramo está ubicado a la izquierda del río Colorado con una longitud de 290 Km. El esquema de tramo de río Gunnison, figura 4.7 y la figura 4.8, muestra que existe valores iguales entre los resultados del WEAP y los obtenidos del CRSS (Colorado River Simulation System).

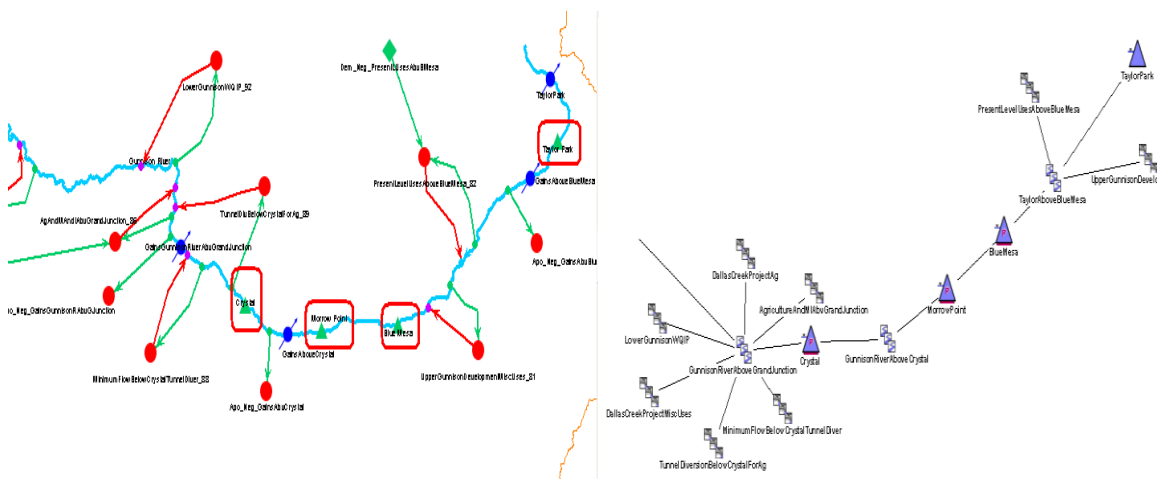


Figura 4.7 Esquema de tramo de río Gunnison del modelo WEAP y RiverWare

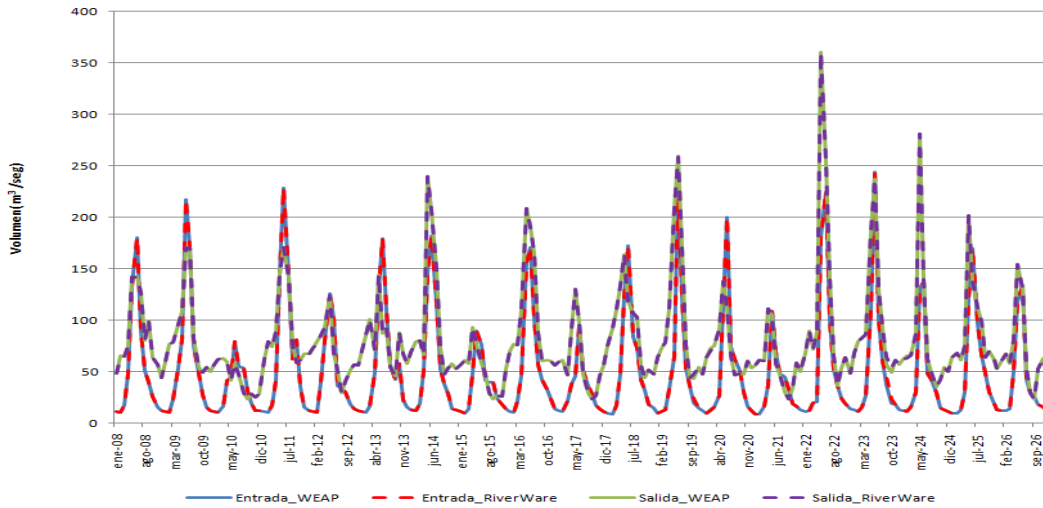


Figura 4.8 Entradas y salidas del tramo de río Gunnison, comparación de resultados de WEAP con RiverWare

4.2.5 Tramo del Río San Juan

En este tramo de río se encuentra la presa Navajo, está ubicado a la izquierda del río Colorado con una longitud de 644 Km. En la figura 4.9 se puede apreciar el esquema superior del CRSS (Colorado River Simulation System) y el esquema inferior es del WEAP. Tanto las entradas del río San Juan como las salidas de agua son iguales para ambos modelos. (Ver figura 4.10).

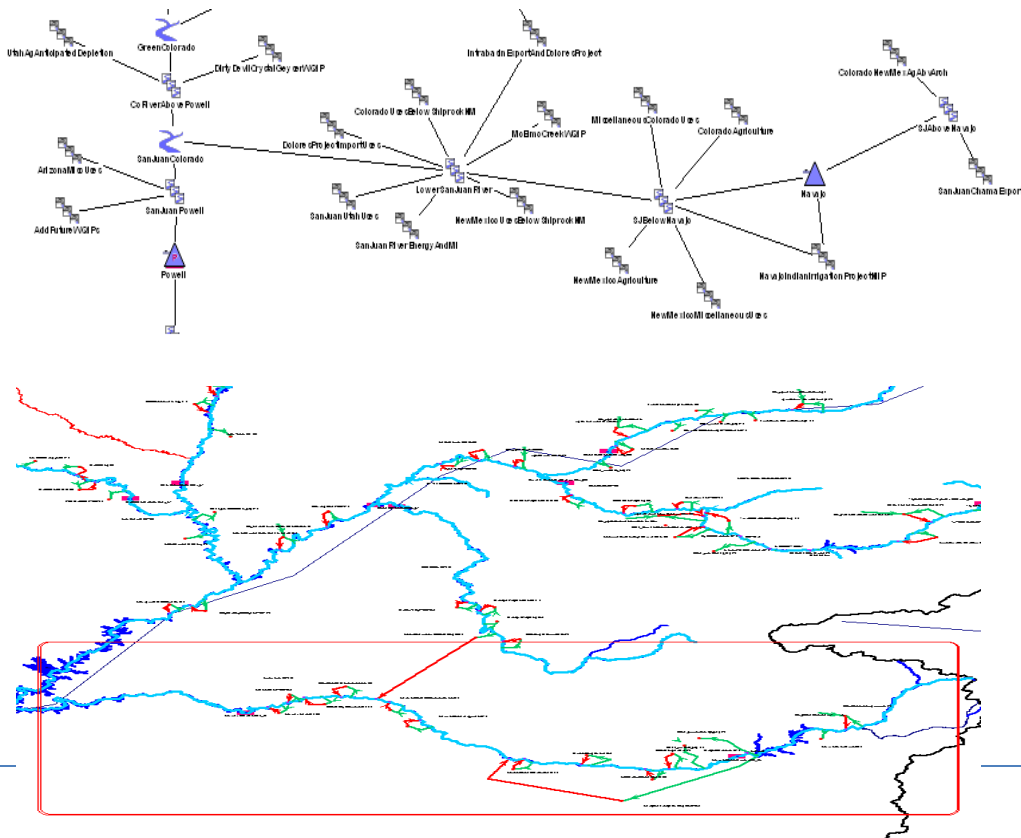


Figura 4.9 Esquema de tramo de río San Juan del modelo WEAP y RiverWare

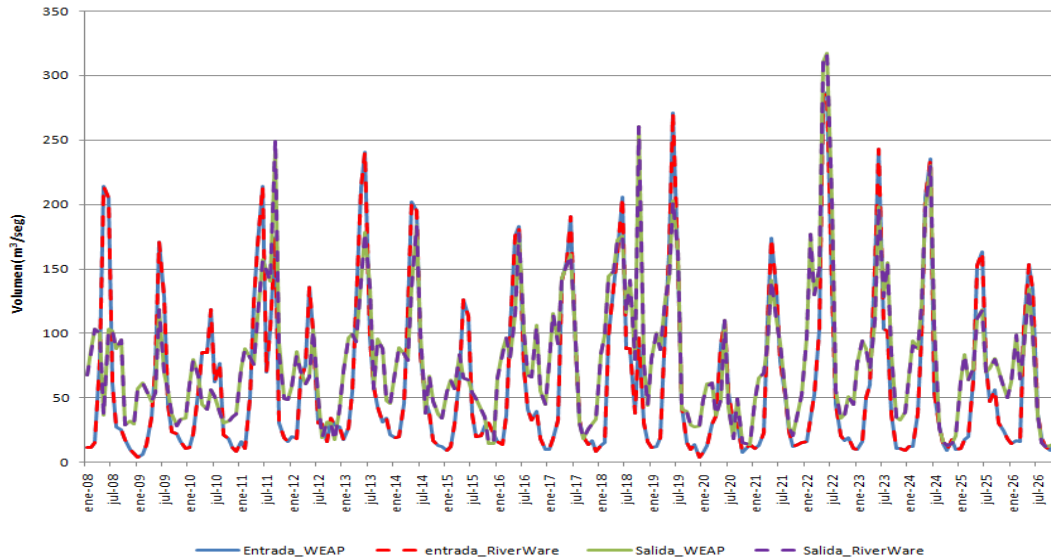


Figura 4.10 Entradas y salidas del tramo del río San Juan, comparación de resultados de WEAP con RiverWare

4.2.6. Tramo del Río Colorado

Este tramo de río pertenece al inicio del río Colorado .En la figura 4.11, se puede apreciar el esquema de WEAP. Tanto las entradas del río Colorado como las salidas de agua son iguales para ambos modelos, contabilizando a los usuarios que toman agua de este tramo de río. (Ver figura 4.12)

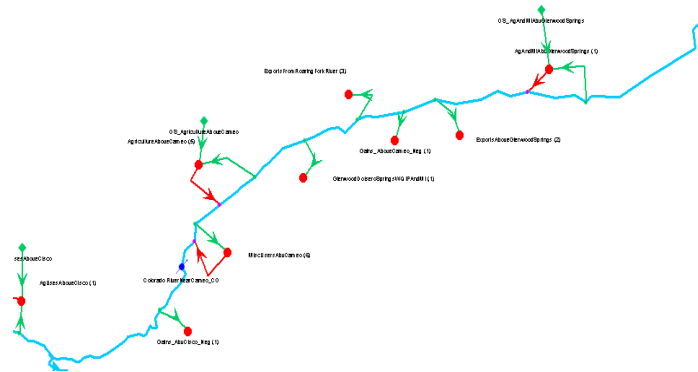


Figura 4.11 Esquema de tramo del río Colorado del modelo WEAP y RiverWare

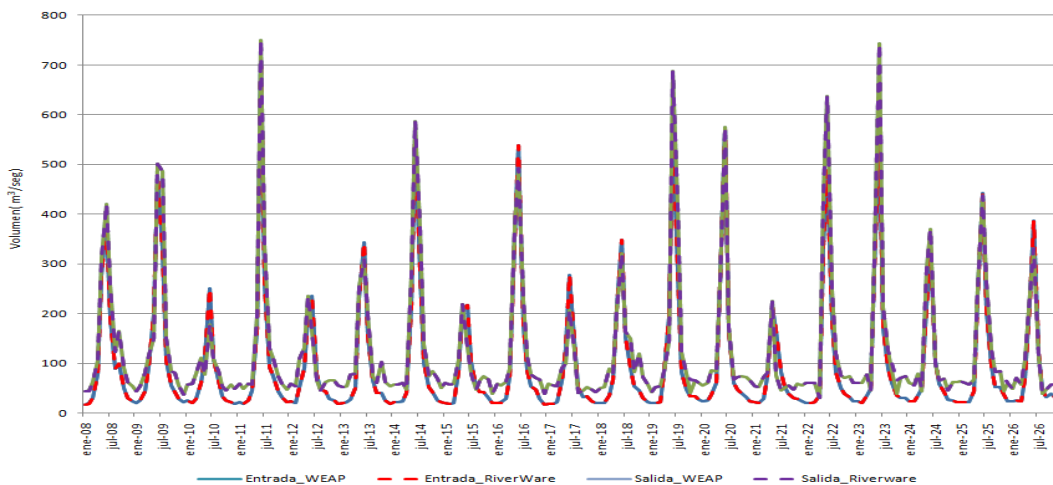


Figura 4.12 Entradas y salidas del tramo del río Colorado, comparación de resultados de WEAP con RiverWare

4.3 Almacenamiento y Flujo de Salida de los Diferentes Embalses de la Cuenca Alta del Colorado

4.3.1 Almacenamiento y Flujo de Salida de Fontanelle

La figura 4.13 ,es una representación gráfica de la validación del almacenamiento y salida del embalse Fontenelle simulado en la plataforma WEAP y validado con el modelo CRSS en la plataforma RiverWare, como se pueden observar los resultados son idénticos para el modelo que se está simulando en WEAP a los del sistema base CRSS.

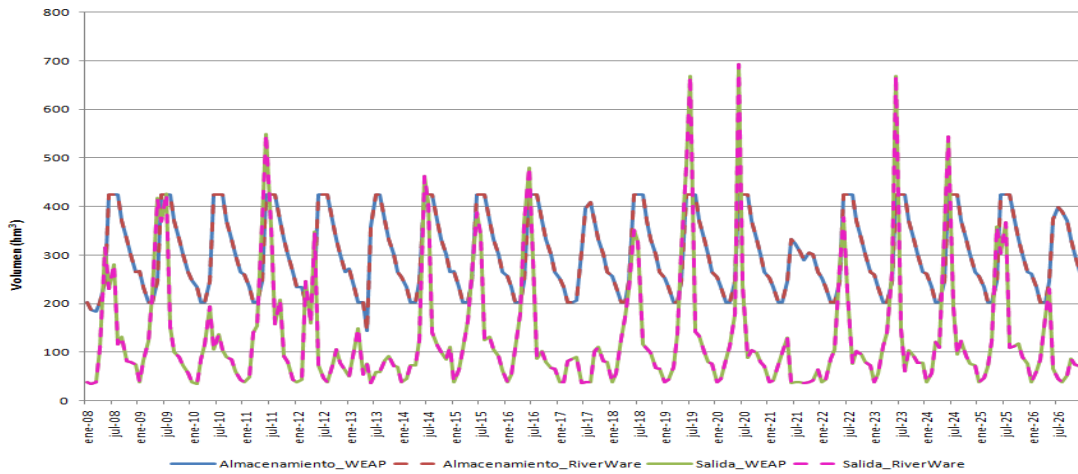


Figura 4.13 Almacenamiento y Salida de Fontenelle (2008-2026).

4.3.2 Almacenamiento y Flujo de Salida de Flaming Gorge

La figura 4.14 representa la validación del almacenamiento y salida del embalse Flaming Gorge simulado en la plataforma WEAP y validado con el modelo Colorado River Simulation System (CRSS) en la plataforma RiverWare, como se puede observar los resultados son idénticos para el modelo que se está simulando en WEAP a los del sistema base (CRSS).

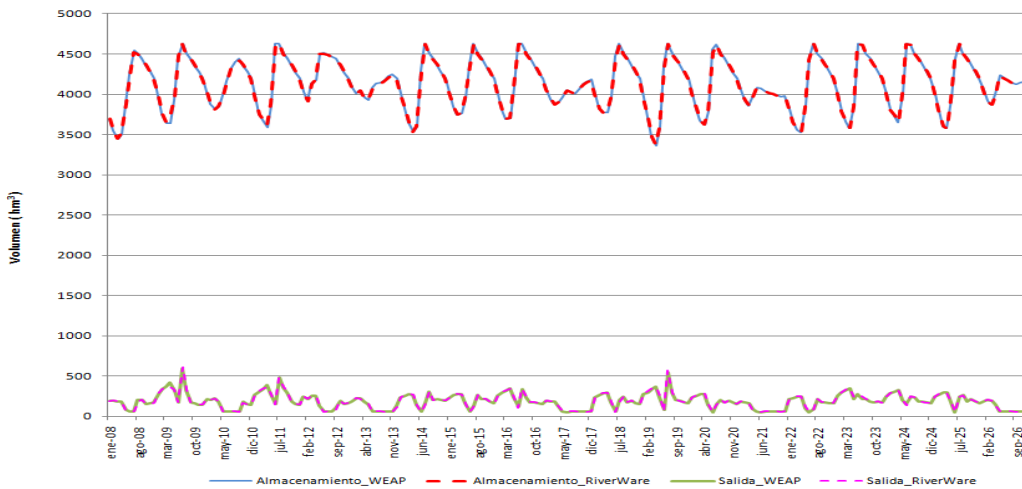


Figura 4.14 Almacenamiento y Salida de Flaming Gorge (2008-2026).

4.3.3 Almacenamiento y Flujo de Salida de Taylor Park

La figura 4.15 representa la validación del almacenamiento y salida del embalse Taylor Park simulado en la plataforma WEAP y

validado con el modelo Colorado River Simulation System (CRSS) en la plataforma RiverWare, como se puede observar los resultados son idénticos para el modelo que se está simulando en WEAP a los del sistema base (CRSS).

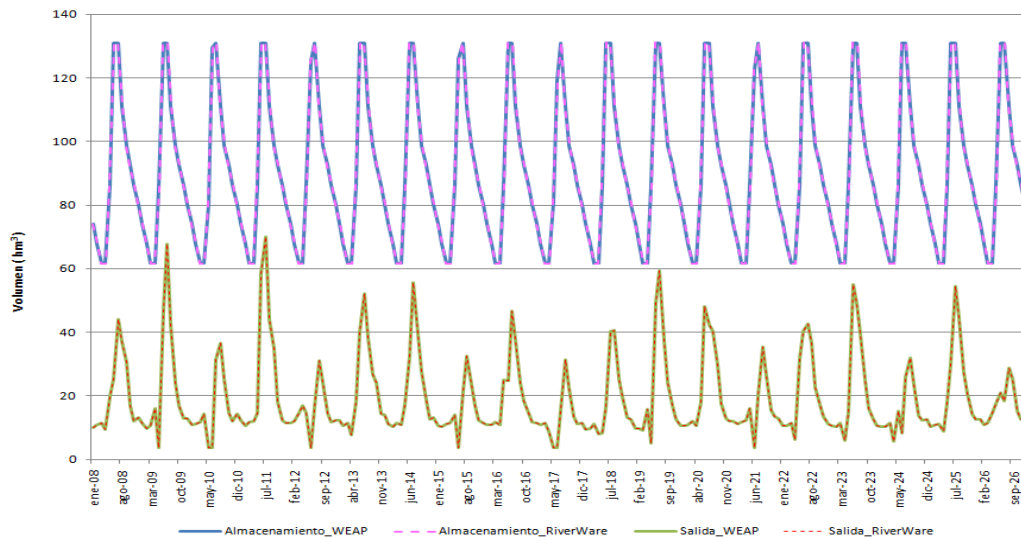


Figura 4.15 Almacenamiento y Salida de Taylor Park (2008-2026).

4.3.4 Almacenamiento y Flujo de Salida de Crystal

La figura 4.16 representa la validación del almacenamiento y salida del embalse Crystal simulado en la plataforma WEAP y validado con el modelo Colorado River Simulation System (CRSS) en la plataforma RiverWare, como se puede observar los resultados son idénticos para el modelo que se está simulando en WEAP a los del sistema base (CRSS).

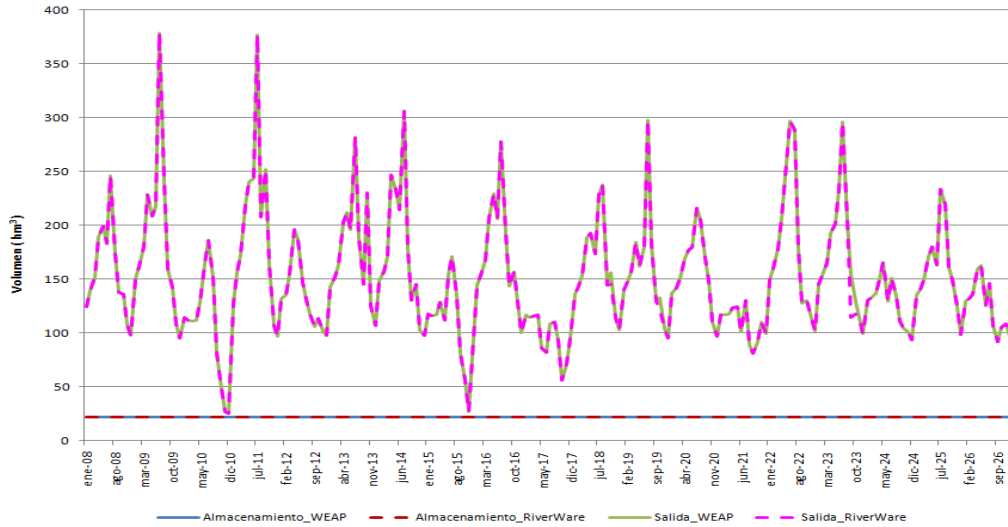


Figura 4.16 Almacenamiento y Salida de Crystal (2008-2026)-

4.3.5 Almacenamiento y Flujo de Salida de Blue Mesa

La figura 4.17 representa la validación del almacenamiento y salida del embalse Blue Mesa simulado en la plataforma WEAP y validado con el modelo Colorado River Simulation System (CRSS) en la plataforma RiverWare, como se puede observar los resultados son idénticos para el modelo que se está simulando en WEAP a los del sistema base (CRSS).

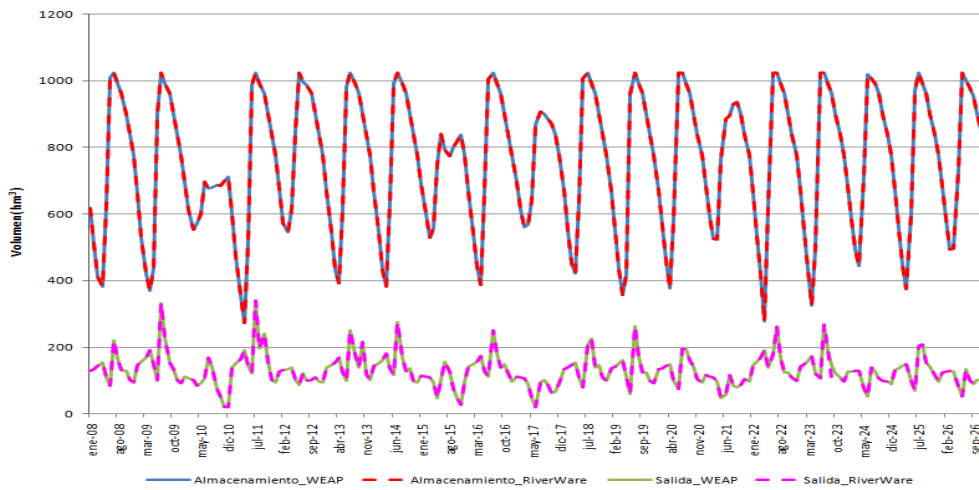


Figura 4.17 Almacenamiento y Salida de Blue Mesa (2008-2026).

4.3.6 Almacenamiento y Flujo de Salida de Morrow Point

La figura 4.18 representa la validación del almacenamiento y salida del embalse Morrow Point simulado en la plataforma WEAP y validado con el Colorado River Simulation System (CRSS) en la plataforma RiverWare, como se puede observar los resultados son idénticos para el modelo que se está simulando en Weap a los del sistema base (CRSS).

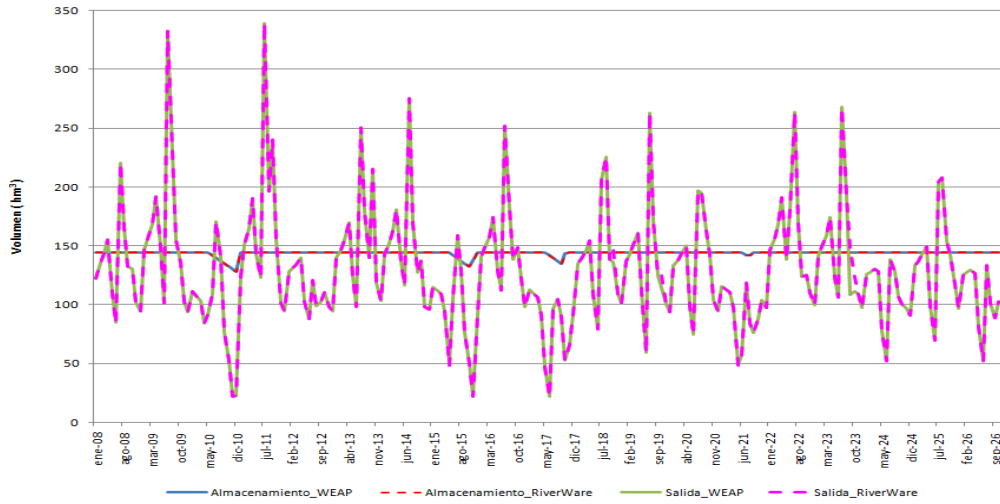


Figura 4.18 Almacenamiento y Salida de Morrow Point (2008-2026)

4.3.7 Almacenamiento y Flujo de Salida de Starvation

La figura 4.19 representa la validación del almacenamiento y salida del embalse Starvation simulado en la plataforma WEAP y validado con el Colorado River Simulation System (CRSS) en la plataforma RiverWare, como se puede observar los resultados son idénticos para el modelo que se está simulando en WEAP a los del sistema base (CRSS).

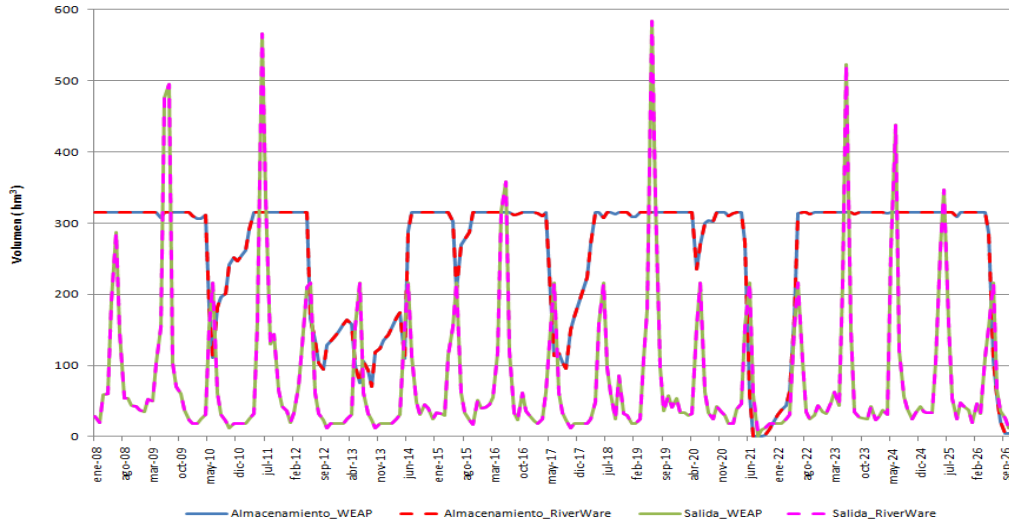


Figura 4.19 Almacenamiento y Salida de Starvation (2008-2026).

4.3.8 Almacenamiento y Flujo de Salida del embalse Navajo

La figura 4.20 representa la validación del almacenamiento y salida del embalse Navajo simulado en la plataforma WEAP y validado con el modelo Colorado River Simulation System (CRSS) en la plataforma RiverWare, como se puede observar los resultados son idénticos para el modelo que se está simulando en WEAP a los del sistema base (CRSS).

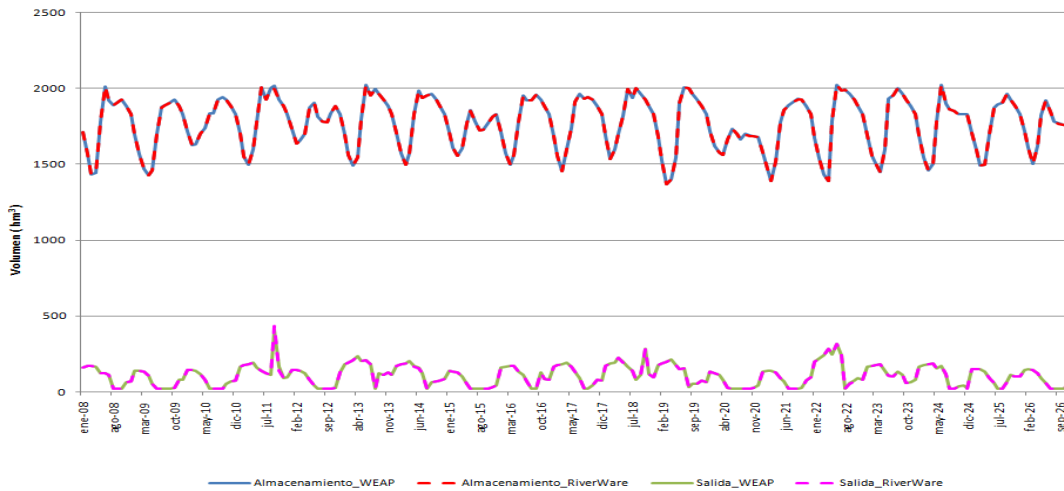


Figura 4.20 Almacenamiento y Salida de Navajo (2008-2026).

Como se puede observar en las gráficas correspondientes a los almacenamientos y salidas de los embalses existe una alta correlación entre los datos obtenidos del CRSS y los del modelo WEAP desarrollados.

4.4 Entrega de Agua a los Usuarios

4.4.1 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "Arizona Misc Uses"

Como se puede observar en la figura 4.21 el suministro de agua es entregado a un grupo de usuarios llamado Arizona Misc Uses, localizados en el río Colorado aguas arriba del embalse Powell, la gráfica azul representa el suministro de agua para el usuario Arizona Misc Uses y la gráfica de línea roja discontinua es el suministro de agua entregado al mismo usuarios por parte del modelo Colorado River Simulation System (CRSS), plataforma RiverWare, lo que significa que los resultados de salida son iguales para ambos usuarios. Estos son tan solo algunos ejemplos del suministro de agua de la Cuenca Alta hacia los usuarios.

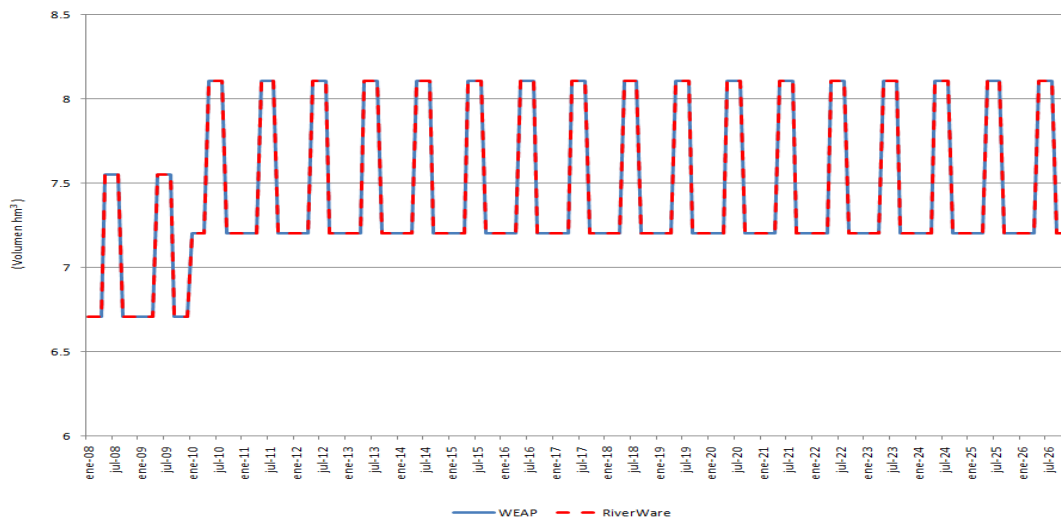


Figura 4.21 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado Arizona Misc Uses, localizados en el río Colorado aguas arriba del embalse Powell (2008-2026).

4.4.2 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "Dolores Project Import Uses"

La figura 4.22 representa el suministro de agua a un grupo de usuarios llamado Dolores Project Import Uses localizados en el río San Juan aguas abajo del embalse Navajo, la gráfica azul son los resultados de la modelación en WEAP y el gráfico de línea roja discontinua son los resultados obtenidos del modelo Colorado River Simulation System (CRSS), plataforma RiverWare, lo que significa que ambos resultados son iguales.

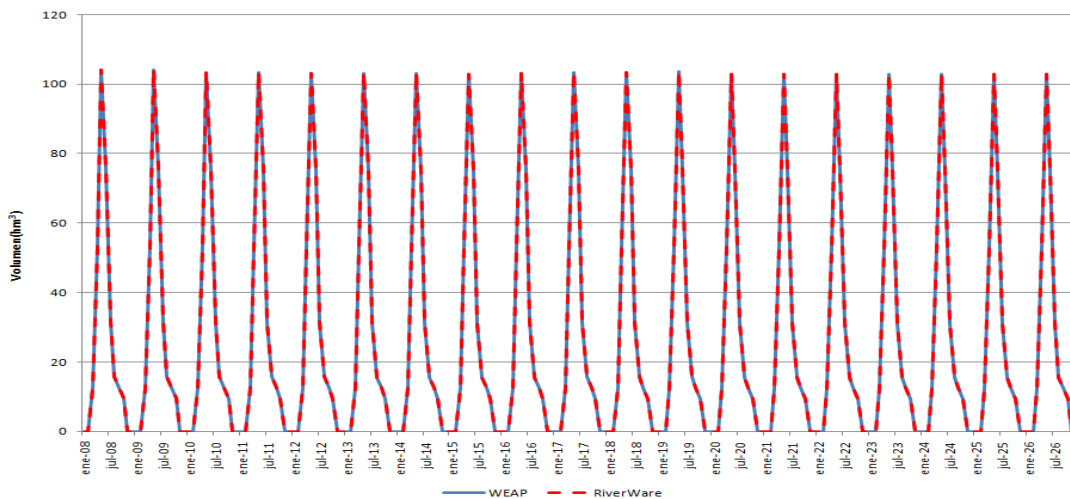


Figura 4.22 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado Dolores Project Import Uses, localizados en el río San Juan aguas abajo del embalse Navajo(2008-2026).

4.4.3 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "Lower Gunnison WQIP"

La figura 4.23 representa el suministro de agua al grupo de usuarios llamado Lower Gunnison WQIP , la gráfica azul son los resultados de la modelación en WEAP y el gráfico con línea roja discontinua son los resultados obtenidos del modelo Colorado River Simulation System (CRSS), plataforma RiverWare, lo que significa que ambos resultados son iguales.

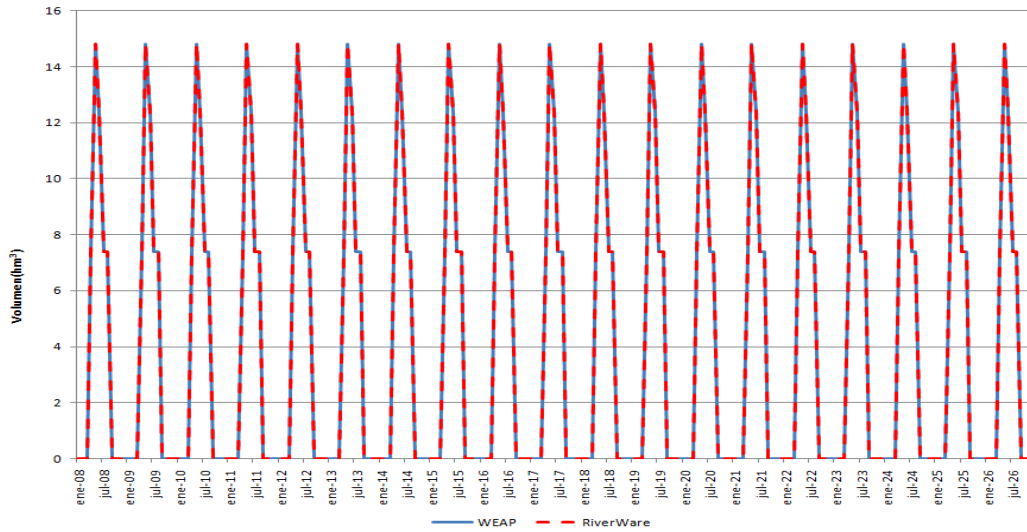


Figura 4.23 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado Lower Gunnison WQIP, localizados en el rio Gunnison River aguas abajo del embalse Crystal (2008-2026).

4.4.4 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "Price River Export"

La figura 4.24 representa el suministro de agua al grupo de usuarios llamado Price River Export , la gráfica azul son los resultados de la modelación en WEAP y el gráfico con línea roja discontinua son los resultados obtenidos del modelo Colorado River Simulation System (CRSS), plataforma RiverWare, lo que significa que ambos resultados son iguales.

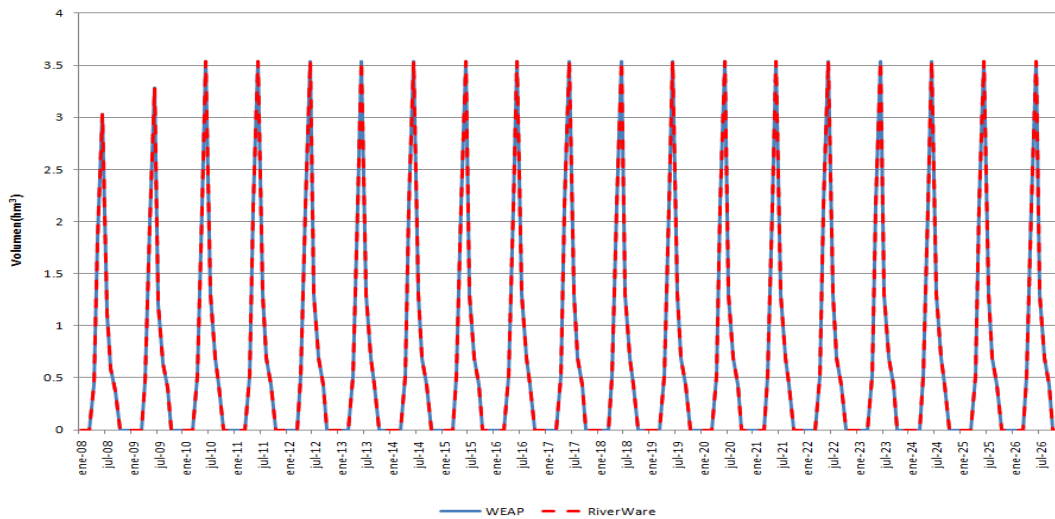


Figura 4.24 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado Price River Export, localizados en el rio Green aguas abajo del embalse Flaming Gorge(2008-2026).

4.4.5 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "McElmoCreekWQIP"

La figura 4.25 representa el suministro de agua al grupo de usuarios llamado McElmoCreekWQIP , la gráfica azul son los resultados de la modelación en WEAP y el gráfico con línea roja discontinua son los resultados obtenidos del modelo Colorado River Simulation System (CRSS), plataforma RiverWare, lo que significa que ambos resultados son iguales.

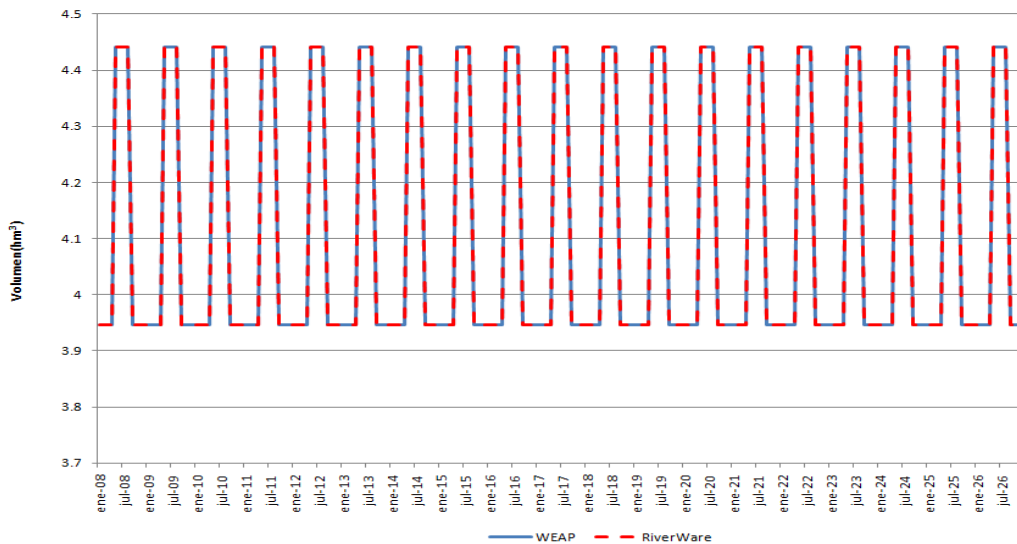


Figura 4.25 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado McElmoCreekWQIP, localizados en el rio San Juan aguas abajo del embalse Navajo(2008-2026).

4.4.6 Entrega de Agua a un Grupo de Usuarios Llamado "UtahAgUse"

La figura 4.26 representa el suministro de agua al grupo de usuarios llamado UtahAgUses, la gráfica azul son los resultados de la modelación en WEAP y el gráfico con línea roja discontinua son los resultados obtenidos del modelo Colorado River Simulation System (CRSS), plataforma RiverWare, lo que significa que ambos resultados son iguales.

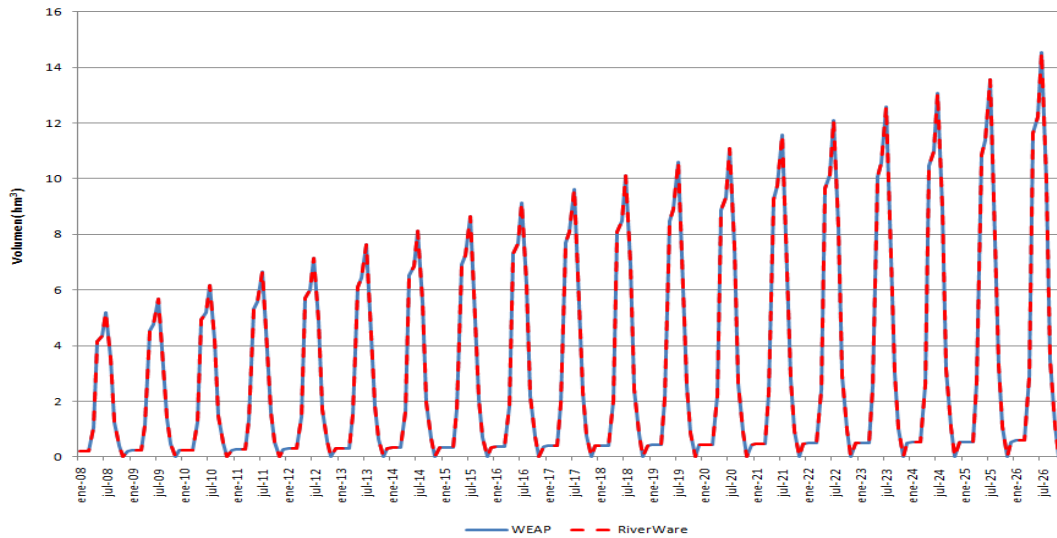


Figura 4.26 Suministro de agua entregado a un grupo de usuarios llamado UtahAgUses, localizados en el río White que se conecta aguas abajo del río Green(2008-2026).

4.5 Resultados

Como se puede observar en las gráficas correspondientes de tramos de ríos de caudales principales y sus afluentes, almacenamientos y flujos de salida, entrega de agua a los diferentes usuarios que integran la Cuenca Alta, existe una alta correlación entre los datos obtenidos del CRSS y los del modelo WEAP desarrollados, por lo que el modelo puede ser empleado en el desarrollo de escenarios alternativos de gestión en la Cuenca Alta dentro de un proceso de negociación con E.U.A.

Capítulo 5 . CONCLUSIONES

La aplicación de WEAP sobre una cuenca, debe considerar primeramente una etapa de recolección de información necesaria para el procesamiento de la misma del programa, es decir un primer informe donde se contienen todos los datos que se tiene dentro de la cuenca y todos aquellos que no estén procesados pero que se puedan obtener fácilmente, con el fin de llevar a cabo un modelo completo, útil para otras investigaciones.

Para WEAP todos los factores son importantes, pero no posee un proceso interno de auto calibración, es decir, el proceso de calibración es manual.

WEAP permite construir escenarios ajustando parámetros de entrada a través de la interface del modelo y compara los resultados sin necesidad de procesar fuera del modelo en forma individual los resultados, permite fácilmente manipular los parámetros de las bases de datos.

La cuenca del río Colorado es un claro ejemplo de un sistema de recursos hídricos complejo en el que participan diversas fuentes de abastecimiento y gran cantidad de usuarios. Además con un marco legal muy fuerte siendo éste el que gobierna la operación del sistema.

El uso de los modelos de simulación como el WEAP permite representar la diversa naturaleza y complejidad de la Cuenca Alta del río Colorado, convirtiéndose en una poderosa herramienta que facilita la planeación efectiva de la operación de los sistemas de recursos hídricos, la toma de decisiones y posibilita la revisión de las propuestas del USBR con respecto a la operación del sistema.

Los criterios para validar el modelo de simulación de la Cuenca Alta del río Colorado desarrollado en WEAP fueron: Caudales a lo largo del cauce principal y tributarios, almacenamiento en embalses y descargas y entrega de agua a los diferentes usuarios. El análisis de comparación indica que los valores son idénticos a los producidos por el CRSS en la plataforma RiverWare, por lo que el modelo producido puede ser empleado en el desarrollo de escenarios alternativos de gestión de la Cuenca Alta dentro de un proceso de negociación con E.U.A

BIBLIOGRAFÍA

- Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (CIAMA): asuntos de desarrollo para el Siglo XXI, 26 al 31 de enero de 1992, Ginebra, Suiza.
- Diario Oficial de la Federación del 1 de Diciembre de 1992, artículo 3, reforma.
- David H. Getches, 1985, competencia de las demandas en el río Colorado. Universidad de Colorado, Revisión 56:413-479
- Excelente guía sobre las regiones naturales de Colorado (Explore Colorado, A Naturalist's Handbook, The Denver Museum of Natural History and Westcliff Publishers, 1995)
- Fulp, T. (1999) "Colorado River Operations", *Proceedings of the 1st Climate Change Symposium*, Cooperative Institute for Research in Environmental Systems (CIRES). Boulder, CO.
- Galvis, A (1986). *El Modelo SWMM y el Sistema de Drenaje Urbano*. XXXIX Congreso Nacional de la Asociación colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental ACODAL, Manizales, Colombia.
- GWP (Asociación mundial para el agua); TAC (Comité de Consejo Técnico). 2000.
- Hofwegen y Jaspers, 1999 Gestión Integral del Recurso Hídrico.
- Informe Final del Agua, 2006, Mexico, Foro mundial del Agua IV, Conagua
(<http://www.worldwaterforum4.org.mx/files/report/InformeFinal.pdf>)
- Jerla, C.S. (2005) "An Analysis of Coordinated Operation of Lakes Powell and Mead under Lower Reservoir Conditions", Masters thesis, University of Colorado, pp. 176.
- La Cuenca Binacional del río Colorado, Osvel Hinojosa Huerta Y Yamilett Carrillo Guerrero,
www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/639/rcolorado.pdf
- Morrison et al., 1996, Manejo Integrado del Recurso Hídrico. Global Water Partnership. Estocolmo, SE. 76 p.-
- Román, C.J.1990. "Origen y Desarrollo de Dos Áreas de Riego". El Colegio de la Frontera Norte. Pp 15-19 y 65-83.

-Rivera, H. (1983) *Simulación de Sistemas Discretos*. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Departamento de Producción e Investigación de Operaciones

-SEI (2009). "WEAP, Water Evaluation and Planning System: Tutorial", Stockholm Environment Institute, pp. 152.

-Sánchez-Ramírez, 1990; Valdés-Casillas et al., 1998, Características ambientales del río Colorado.

-Tendencias actuales de la gestión del agua en América Latina y el Caribe (avances en la implementación de las recomendaciones contenidas en el capítulo 18 del Programa 21), LC/L.1180, 17 de agosto de 1999, Santiago de Chile.

- Tratado sobre Distribución de Aguas Internacionales entre los Estados Unidos Mexicanos y los Estados Unidos de América", Comisión Internacional de Límites y Aguas (CILA), febrero de 1944, pp. 30.

-USBR (2000) "Colorado River Interim Surplus Criteria, Final Environmental Impact Statement". Bureau of Reclamation, Lower Colorado Region, Boulder City, NV. Vol. 1 pp. 36, Vol. 2 pp. 217, Vol. 3 pp. 305.

-USBR (2007a) "Final Environmental Impact Statement, Colorado River Interim Guidelines for Lower Basin Shortages and the Coordinated Operations for Lake Powell and Lake Mead". Bureau of Reclamation, Upper and Lower Colorado Regions, Boulder City, NV. December 2007. Vol. 1 pp. 575, Vol. 2 pp. 319, Vol. 3 pp. 206, Vol. 4 pp. 828.

-USBR (2007b) "Record of Decision, Colorado River Interim Guidelines for Lower Basin Shortages and the Coordinated Operations for Lake Powell and Lake Mead". Bureau of Reclamation, Upper and Lower Colorado Regions, Boulder City, NV. DICIEMBRE 2007. pp. 59.

- Valades, José C, et al (1994) *Orígenes de la República Mexicana: la aurora constitucional*, México, ed. Universidad Nacional Autónoma de México, ISBN 978-968-36-3320-0 URL consultado el 6 de noviembre de 2009

-Wyoming - Selected Characteristics of the Native and Foreign-Born Populations - American FactFinder, U.S. Census Bureau, 2005 Population Estimates. U.S. Census Bureau, Population Division (20-06-2006)

- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. and Huber-Lee, A. (2005a). "WEAP21 - A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics" *Water International*, Vol. 30, No. 4, December 2005, pp. 487-500.

- Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. and Huber-Lee, A. (2005b). "WEAP21 - A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model Part 2: Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation" *Water International*, Vol. 30, No. 4, December 2005, pp. 501-512.

-Zagona, E.A., Fulp, T.J., Shane, R., Magee, T.M. and Goranflo, H.M. (2001). "RiverWare: A generalized tool for complex reservoir system modeling" *Journal of American Water Resources Association*, Vol. 37, No. 4, pp. 913-929.

BIBLIOGRAFÍA WEB:

-Artículo rio colorado, norteamerica, (viajes-vistas.galeon.com/RioColorado/RioColorado.htm, 2010)

- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (<http://www.iadb.org/>)

-Colorado (<http://es.wikipedia.org/wiki/Colorado>,2010).

-Conocimiento del software RiverWare
(<http://cadswes.colorado.edu/riverware/overview.html>).

-La cuenca del rio colorado,
(www.colsan.edu.mx/investigacion/aguaysociedad/proyectofrontera/Documentos/LA%20CUENCA%20DEL%20COLORADO.pdf, 2010)

-Nuevo Mexico (<http://es.wikipedia.org/wiki/NuevoMexico>, 2010)

-Utah (<http://es.wikipedia.org/wiki/Utah>,2010)

-Wyoming (<http://es.wikipedia.org/wiki/Wyoming>,2010)

APÉNDICE A-1

DEMANDAS Y CONSUMOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO POR ESTADO

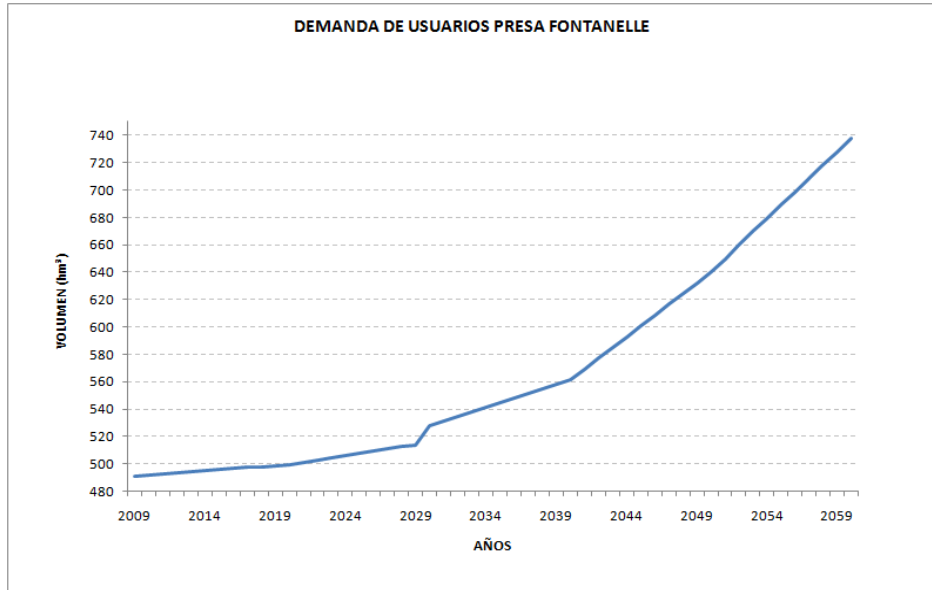
DEMANDAS Y CONSUMOS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO COLORADO POR ESTADO*										
Años	WYOMING		COLORADO		UTAH		NEW MEXICO		ARIZONA	
	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo	Demanda	Consumo
2009	1133.970	634.133	6074.990	3111.621	1929.306	1176.016	1370.239	666.412	91.288	55.522
2010	1138.528	637.710	6167.408	3180.241	2045.129	1244.598	1386.922	678.089	97.464	61.689
2011	1140.758	639.807	6171.117	3183.381	2053.141	1249.285	1395.516	683.710	97.464	61.689
2012	1142.974	641.904	6174.851	3186.522	2061.174	1253.973	1403.933	689.323	97.464	61.689
2013	1145.201	644.001	6178.492	3189.674	2069.194	1258.660	1413.083	694.930	97.464	61.689
2014	1147.413	646.098	6182.208	3192.817	2077.219	1263.347	1422.057	700.544	97.464	61.689
2015	1149.638	648.195	6185.894	3195.961	2085.232	1268.034	1430.846	706.159	97.464	61.689
2016	1151.860	650.292	6191.525	3199.297	2093.752	1273.215	1439.447	710.594	97.464	61.689
2017	1154.087	652.389	6197.199	3202.633	2102.219	1278.395	1448.742	715.026	97.464	61.689
2018	1156.294	654.485	6202.832	3205.970	2110.744	1283.576	1457.872	719.462	97.464	61.689
2019	1158.513	656.582	6208.466	3209.316	2119.264	1288.757	1466.023	723.889	97.464	61.689
2020	1163.212	659.913	6245.111	3233.632	2136.413	1301.338	1480.580	732.011	97.464	61.689
2021	1166.532	662.750	6249.932	3237.418	2149.028	1310.219	1483.539	733.778	97.464	61.689
2022	1169.871	665.587	6254.766	3241.204	2161.567	1319.100	1486.501	735.541	97.464	61.689
2023	1173.191	668.424	6259.546	3245.002	2174.186	1327.981	1489.438	737.292	97.464	61.689
2024	1176.531	671.261	6264.363	3248.791	2186.740	1336.862	1492.408	739.058	97.464	61.689
2025	1179.859	674.098	6269.170	3252.580	2199.306	1345.743	1495.381	740.819	97.464	61.689
2026	1183.189	676.935	6274.236	3256.650	2213.921	1355.365	1498.342	743.036	97.464	61.689
2027	1186.515	679.772	6279.284	3260.721	2228.458	1364.986	1501.302	745.258	97.464	61.689
2028	1189.847	682.609	6284.346	3264.791	2242.992	1374.607	1504.263	747.480	97.464	61.689
2029	1193.179	685.446	6289.398	3268.862	2257.563	1384.228	1507.223	749.697	97.464	61.689
2030	1216.254	704.318	6322.822	3292.668	2268.385	1392.616	1510.183	751.919	97.464	61.689
2031	1222.295	709.622	6325.040	3294.888	2277.988	1399.030	1510.183	752.043	97.464	61.689
2032	1228.336	714.926	6327.267	3297.109	2287.668	1405.444	1510.183	752.166	97.464	61.689
2033	1234.381	720.230	6329.473	3299.329	2297.268	1411.858	1510.183	752.290	97.464	61.689
2034	1240.414	725.534	6331.687	3301.549	2306.879	1418.272	1510.183	752.414	97.464	61.689
2035	1246.464	730.838	6333.910	3303.769	2316.489	1424.686	1510.183	752.537	97.464	61.689
2036	1252.507	736.142	6336.141	3305.990	2326.151	1431.101	1510.183	752.661	97.464	61.689
2037	1258.561	741.446	6338.353	3308.210	2335.771	1437.515	1510.183	752.784	97.464	61.689
2038	1264.600	746.750	6340.573	3310.430	2345.395	1443.929	1510.183	752.904	97.464	61.689
2039	1270.648	752.054	6342.802	3312.651	2355.017	1450.343	1510.183	753.027	97.464	61.689
2040	1279.163	758.591	6357.348	3327.206	2354.748	1451.823	1510.183	753.151	97.464	61.689
2041	1290.246	767.472	6366.101	3332.880	2359.549	1455.893	1510.183	753.151	97.464	61.689
2042	1301.333	776.354	6374.881	3338.554	2364.382	1459.964	1510.183	753.151	97.464	61.689
2043	1312.412	785.235	6383.624	3344.228	2369.179	1464.034	1510.183	753.151	97.464	61.689
2044	1323.497	794.116	6392.414	3349.902	2374.013	1468.105	1510.183	753.151	97.464	61.689
2045	1334.570	802.997	6401.146	3355.576	2378.812	1472.175	1510.183	753.151	97.464	61.689
2046	1345.658	811.878	6409.905	3361.250	2383.614	1476.246	1510.183	753.151	97.464	61.689
2047	1356.747	820.759	6418.682	3366.924	2388.421	1480.316	1510.183	753.151	97.464	61.689
2048	1367.822	829.640	6427.411	3372.598	2393.232	1484.387	1510.183	753.151	97.464	61.689
2049	1378.914	838.521	6436.158	3378.272	2398.050	1488.457	1510.183	753.151	97.464	61.689
2050	1389.988	847.402	6511.524	3417.250	2395.483	1488.827	1510.183	753.151	97.464	61.689
2051	1402.026	856.036	6511.151	3417.620	2398.422	1491.664	1510.183	753.151	97.464	61.689
2052	1414.076	864.671	6510.791	3417.990	2401.380	1494.501	1510.183	753.151	97.464	61.689
2053	1426.122	873.305	6510.406	3418.360	2404.359	1497.338	1510.183	753.151	97.464	61.689
2054	1438.191	881.940	6510.056	3418.730	2407.321	1500.175	1510.183	753.151	97.464	61.689
2055	1450.254	890.574	6509.682	3419.100	2410.267	1503.012	1510.183	753.151	97.464	61.689
2056	1462.287	899.208	6509.283	3419.470	2413.234	1505.849	1510.183	753.151	97.464	61.689
2057	1474.337	907.843	6508.957	3419.840	2416.186	1508.686	1510.183	753.151	97.464	61.689
2058	1486.367	916.477	6508.578	3420.210	2419.161	1511.523	1510.183	753.151	97.464	61.689
2059	1498.422	925.111	6508.195	3420.580	2422.121	1514.361	1510.183	753.151	97.464	61.689
2060	1510.482	937.446	6513.994	3427.118	2425.045	1517.198	1510.183	753.151	97.464	61.689

*Las unidades estan dadas en hm³

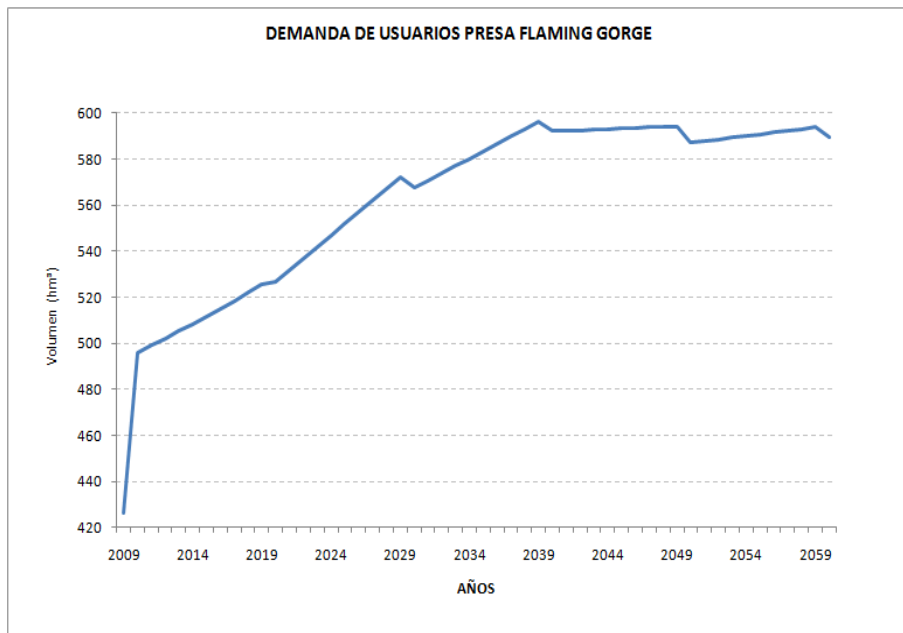
APÉNDICE A-2

DEMANDA POR PRESA

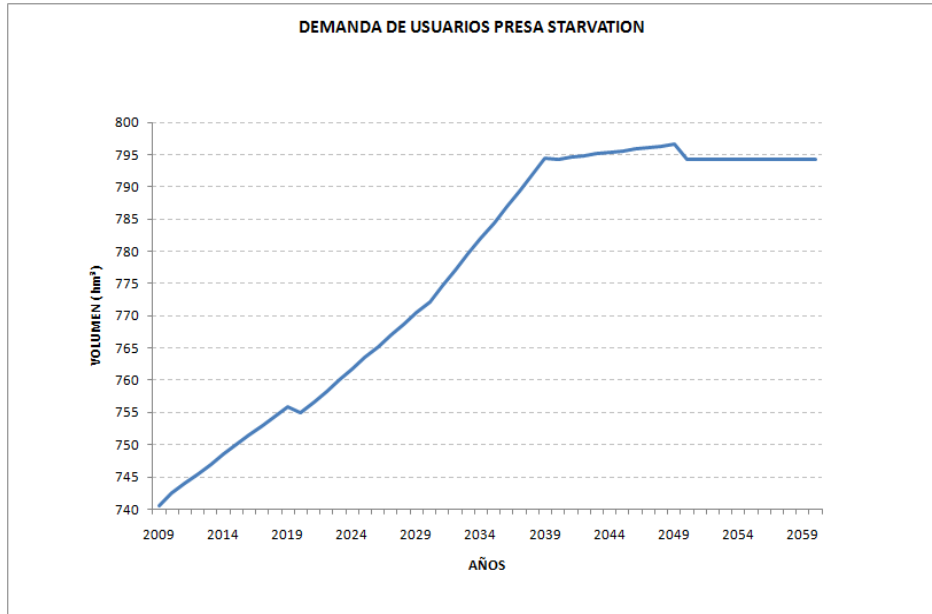
DEMANDA DE USUARIOS (PRESA FONTANELLE)



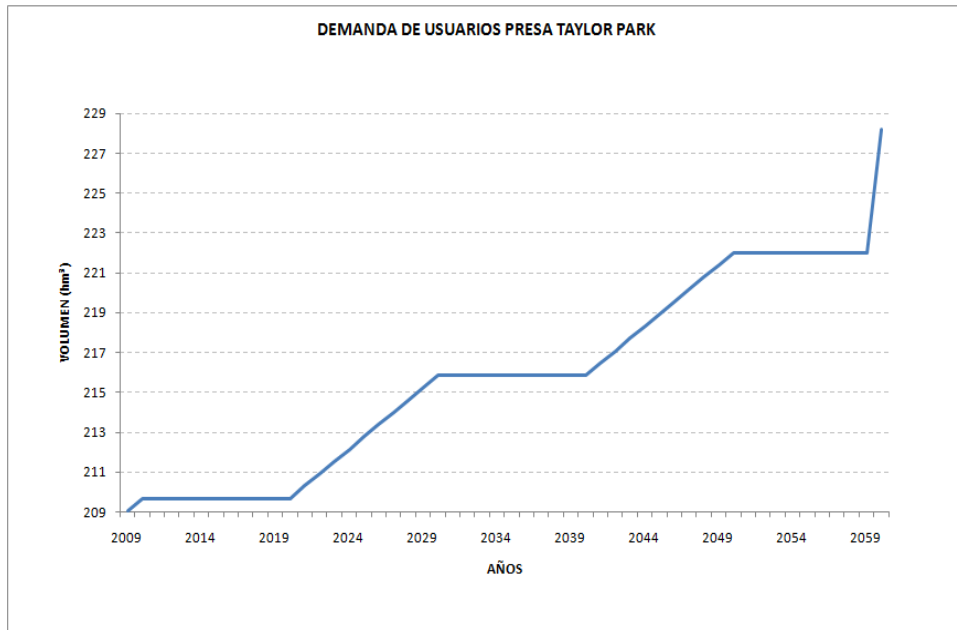
DEMANDA DE USUARIOS (PRESA FLAMING GORGE)



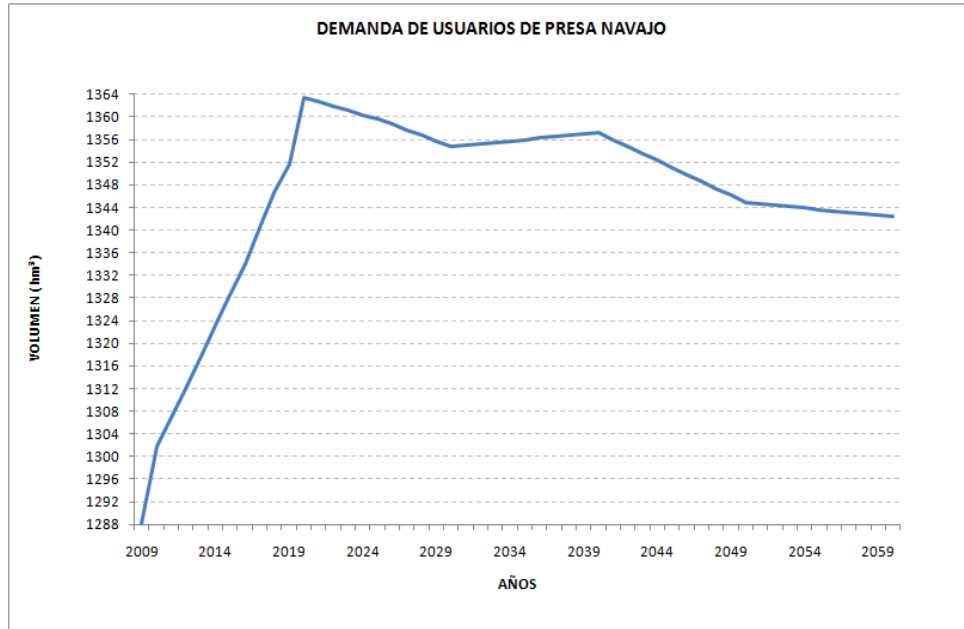
DEMANDA DE USUARIOS (PRESA STARVATION)



DEMANDA DE USUARIOS (PRESA TAYLOR PARK)



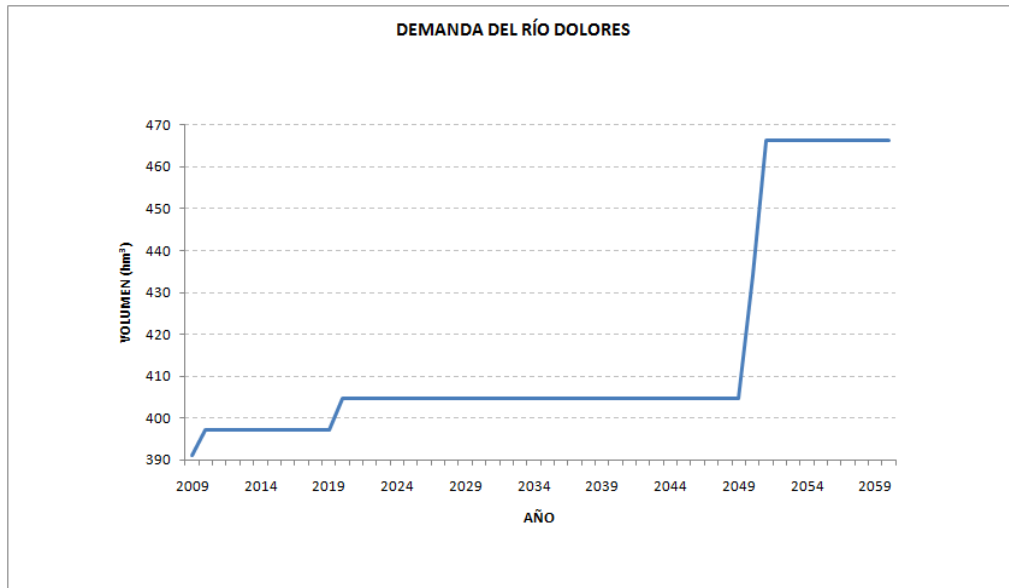
DEMANDA DE USUARIOS (PRESA NAVAJO)



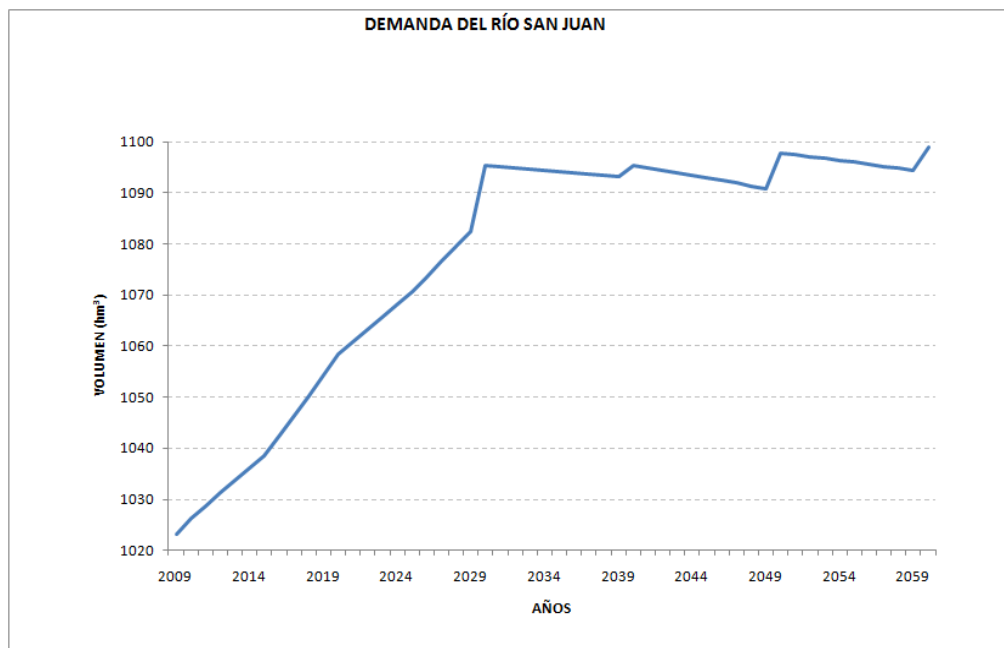
APÉNDICE A-3

DEMANDAS POR RÍO

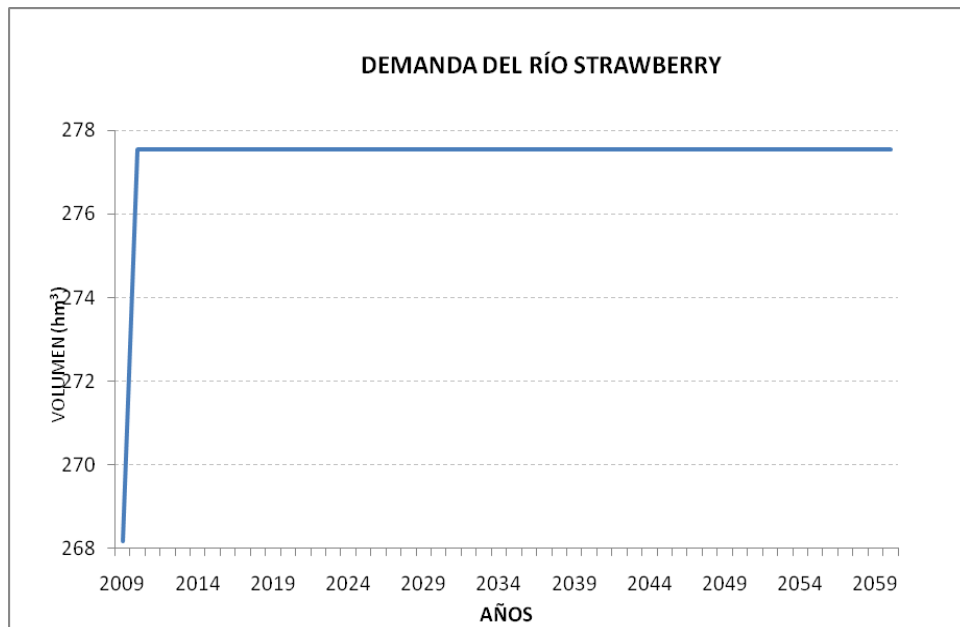
DEMANDA DEL RÍO DOLORES



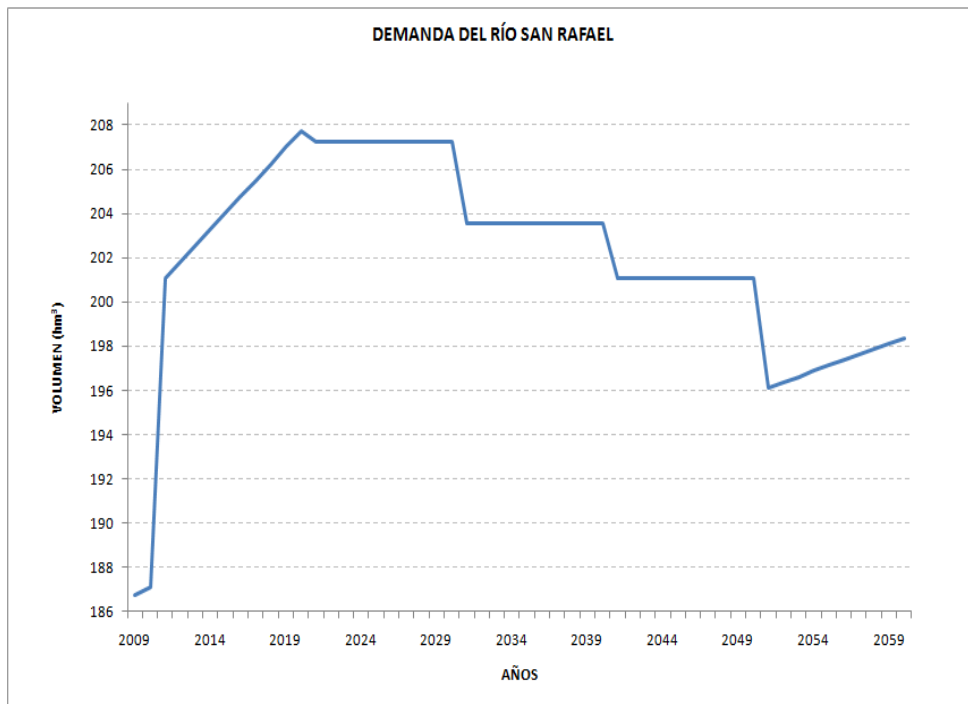
DEMANDA DEL RÍO SAN JUAN



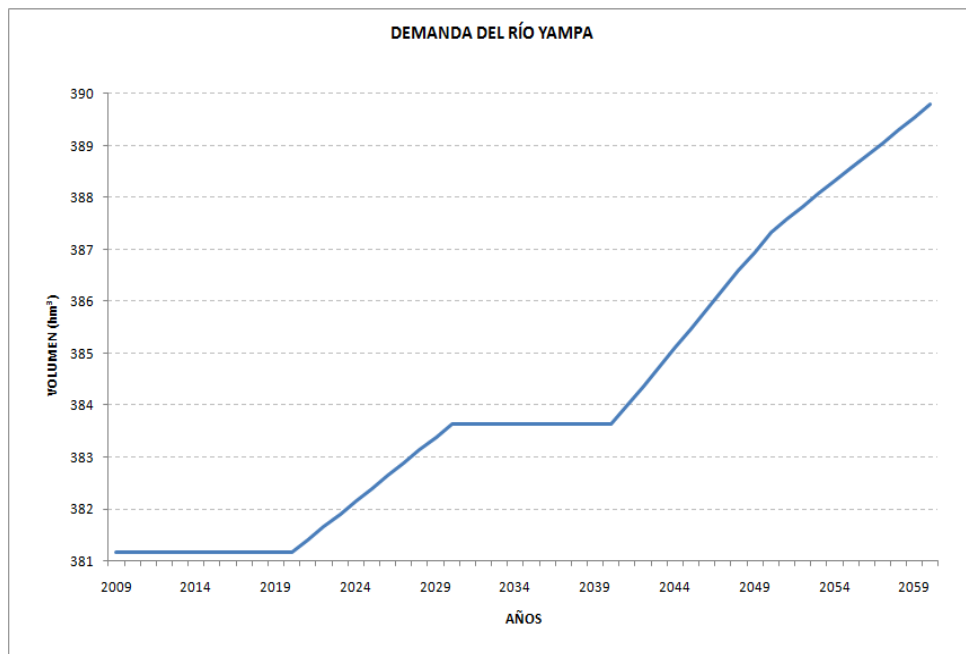
DEMANDA DEL RIO STRAWBERRY



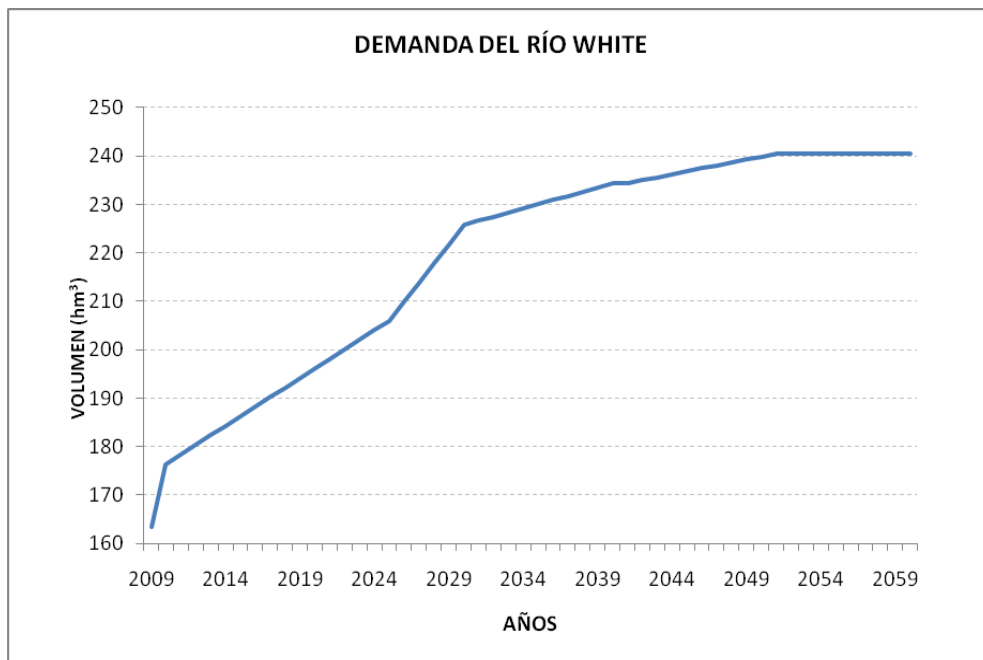
DEMANDA DEL RIO SAN RAFAEL



DEMANDA DEL RIO YAMPA



DEMANDA DEL RIO WHITE



APÉNDICE A-4

WEAP

El software WEAP usado para modelar el manejo del sistema del agua de la cuenca del río Colorado fue desarrollado por Instituto del Medio Ambiente de Stockholm (SEI 2009). En la siguiente tabla se observa de manera general el manejo del sistema en WEAP.

Manejo del Sistema del Agua en WEAP

Enfoque integrado	Único enfoque integrado de recursos para llevar a cabo la planificación de cuotas
Manejo del proceso	Transparencia estructural de instalaciones diversas, la participación de las partes interesadas en un proceso abierto.
Balance de agua	Una base de datos que mantiene la demanda de agua y el suministro de información a la unidad modelo de balance de masas en un vínculo de la arquitectura de nodo.
Basada en Simulación	Calcula la demanda de agua, suministro, escurrimiento, infiltración, requerimiento de cultivo, corrientes y almacenamientos, generación de contaminación y tratamientos, gestión y la calidad del agua en diversas variaciones hidrológicas y escenarios.
Manejo de Políticas (diversos escenarios)	Evalúa una gama completa de desarrollo de los recursos hídricos y la opción de la gestión, y tiene en cuenta los múltiples usos competitivos de los sistemas de agua.
Usando una interface amigable.	Gráfica y arrastrar y obtiene de un mapa o base la interfaz como modelo de producción flexible.

Descripción del Sistema WEAP

Es una herramienta computacional para la planificación integrada de recursos hídricos cuyo objetivo es asistir más que sustituir al planificador experimentado. Proporciona un marco flexible y de fácil uso 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.

Muchas regiones están enfrentando grandes desafíos en el manejo del agua dulce. La asignación de recursos hídricos limitados, preocupaciones con respecto a calidad ambiental, la planificación frente a la variabilidad e incertidumbre del clima, y la necesidad

de desarrollar e implementar estrategias sostenibles del uso del agua están presionando cada vez más a los planificadores de recursos hídricos. Los modelos de simulación convencionales orientados a la oferta de agua no son siempre adecuados para explorar la gama completa de las opciones de manejo de los recursos.

A lo largo de la década pasada, ha emergido un enfoque integrado del desarrollo del agua que coloca los proyectos de abastecimiento de agua en un contexto de manejo de demanda, y protección y preservación de la calidad de agua y los ecosistemas. WEAP incorpora estos valores en una herramienta práctica para la planificación de recursos hídricos y el análisis de políticas.

WEAP posiciona las condiciones del lado de la demanda de agua, tales como patrones de uso del agua, eficiencias de equipos, estrategias de la reutilización, costos, y esquemas de asignación del agua en una misma línea con los temas del lado de la oferta de agua tales como caudal, recursos de agua subterránea, embalses, y transferencia de agua. WEAP permite el acceso del planificador a una vista más comprensiva de la amplia gama de factores que deben ser considerados en el manejo de los recursos hídricos para el uso presente y futuro.

El resultado es una herramienta eficaz para examinar opciones alternativas del desarrollo y manejo del agua. WEAP opera en varias capacidades:

Base de datos del balance de agua: WEAP proporciona un sistema para mantener información de oferta y demanda de agua.

Herramienta de análisis de políticas: WEAP simula la demanda, oferta, escurrimiento, caudal, almacenaje, generación, tratamiento y descarga de contaminantes y calidad del agua en los ríos.

Herramienta de generación de escenarios: WEAP evalúa una gama completa de las opciones del desarrollo y manejo del agua, y toma en cuenta los múltiples y opuestos usos de los recursos hídricos.

Enfoque WEAP

WEAP funciona usando el principio básico de balance de masa pudiendo ser utilizado para sistemas municipales y agrícolas, a una sola cuenca o un sistema de cuencas. Por otra parte, WEAP puede simular una amplia gama de los componentes naturales e intervenidos de estos sistemas, incluyendo escurrimiento por precipitación, flujos base, y recarga de aguas subterráneas por precipitación, análisis de las demandas sectoriales, conservación del agua, derechos de agua y prioridades de asignación, operaciones de los embalses, generación de hidroelectricidad, seguimiento de la contaminación y calidad de las agua, evaluaciones de vulnerabilidad, y requisitos de los ecosistemas. Un módulo de análisis financiero también permite que el usuario investigue comparaciones de costo-beneficio para los proyectos.

El analista representa el sistema en términos de sus varias fuentes de agua (ej. ríos, arroyos, agua subterránea, embalses, y plantas de desalinización); instalaciones de descarga, transmisión y tratamiento de agua, demandas del agua, generación de contaminantes y requisitos de los ecosistemas. La estructura de datos y el nivel de detalle se pueden modificar fácilmente para satisfacer los requisitos y la disponibilidad de datos para un sistema y un análisis particular.

Los usos de WEAP incluyen generalmente varios pasos.

Definición del Estudio: Se establece el marco temporal, los límites espaciales, los componentes del sistema, y la configuración del problema.

Cuentas Actuales: Se desarrolla una caracterización de la demanda actual del agua, las cargas de contaminantes, los recursos y las fuentes para el sistema. Esto se puede ver como la etapa de calibración en el desarrollo de una aplicación.

Escenarios: Se pueden explorar los impactos que tendría, un sistema de supuestas alternativas sobre las políticas futuras, costos, y del clima, por ejemplo, en la demanda del agua, oferta de agua, hidrología, y contaminación.

Evaluación: Los escenarios se evalúan con respecto a la disponibilidad de agua, los costos y los beneficios, compatibilidad con los objetivos ambientales, y la sensibilidad a la incertidumbre en las variables dominantes.

Características de WEAP

WEAP ofrece a través de una interfaz gráfica basada en SIG una manera simple, pero poderosa para construir, ver y modificar la configuración, el usuario diseña un diagrama esquemático del sistema para los elementos que componen la cuenca. Estos elementos pueden ser sobrepuestos en un mapa construido en Arcview y otros archivos estándares de SIG y gráficos. Los datos para cualquier componente pueden ser corregidos directamente por medio de la información que dan los avisos, y mensajes de error a través del programa.

Con el sistema altamente flexible y de fácil comprensión de información de resultados de WEAP, el usuario puede prepara informes tanto como salida gráfica o tabular y seleccionar de un número de posibles opciones de formato (ej., unidades métricas o inglesas, años, niveles absolutos, partes porcentuales, o tasas de crecimiento). El usuario puede también ver resultados sobre un mapa del esquema y usar barras de deslizamiento para visualizar los cambios en los resultados a través del tiempo. Las configuraciones específicas de los informes se pueden guardar o los resúmenes, y después se puede proceder a revisar.

Principales características

- Sistema de planificación integrado de los recursos hídricos
- Modelos incorporados para modelación de: escurrimientos e infiltración por precipitación, evapotranspiración, requisitos y

producciones de cosechas, interacciones entre agua superficial y aguas subterráneas, y calidad del agua en ríos.

-Interfaz gráfica basada en incorporación de elementos a través de "jalar y soltar"

-Capacidad para construir modelos con un número de funciones predefinidas

-Ecuaciones y variables definidas por el usuario

-Conexión dinámica con planillas de cálculo y otros modelos

-Algoritmo de programación que resuelve las ecuaciones de distribución de agua

-Estructuras de datos flexible y expandible

-Poderoso sistema de información de resultados incluyendo gráficos, tablas y mapas

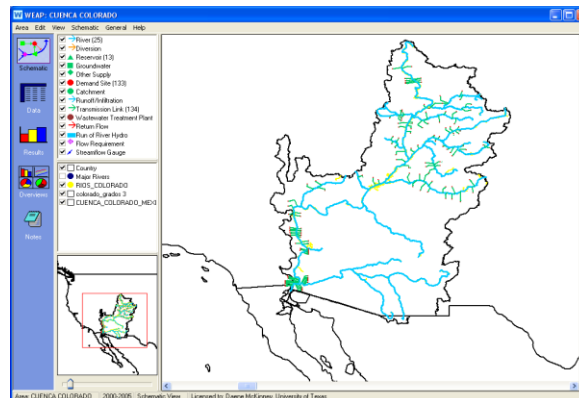
-Guía de usuario y ayuda sensible al contexto

-Requisitos mínimos: corre en Windows 2000/NT/XP/Vista/Windows 7 en un computador Core 2 Duo con 1 GB de memoria RAM

-Estructura de WEAP

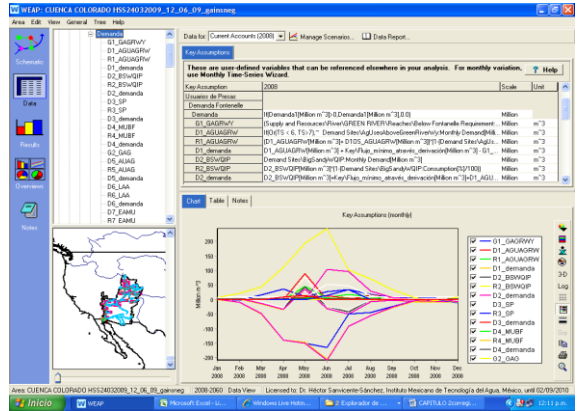
WEAP consiste de cinco vistas principales:

Vista de Esquema - las herramientas de SIG permiten fácil y rápidamente configurar su sistema, incluyendo la capacidad de "jalar y soltar" para crear y posicionar los elementos del sistema. Agregar archivos ArcView y otros archivos SIG de tipo "vector" o "raster" como capas de fondo. Se tiene acceso rápidamente a los datos y a los resultados para cualquier elemento en el sistema. El Esquema es el punto de partida para todas las actividades en WEAP.



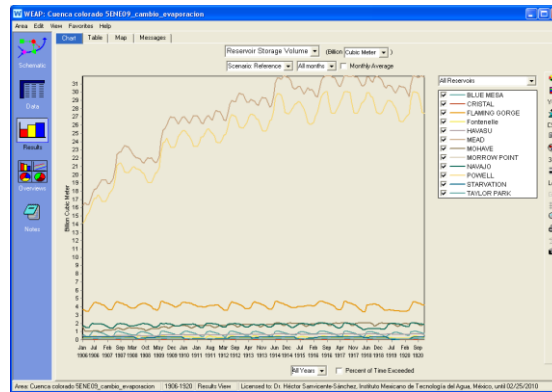
Esquema de la cuenca del Colorado en Software WEAP

Vista de Datos - herramientas de construcción de modelos que proporciona ayudan a la construcción de variables y relaciones, ingresar supuestos y proyecciones usando expresiones matemáticas, y puede acoplarse dinámicamente con Excel para importación y exportación de datos. Ver representación de los datos en el modelo



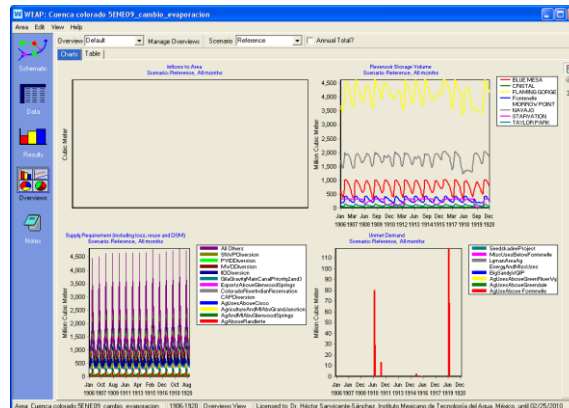
Esquema de los datos en el modelo

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



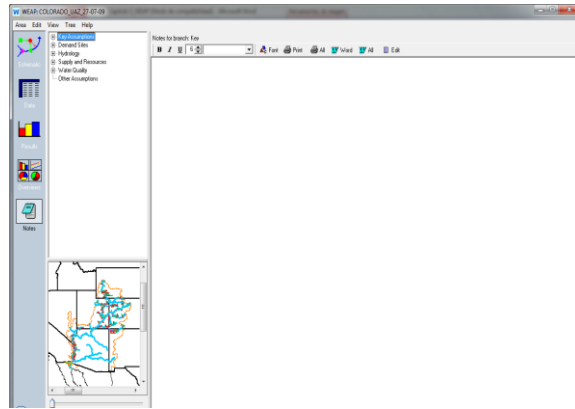
Representación de los datos en el modelo

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



Vistas generales de escenarios de referencia

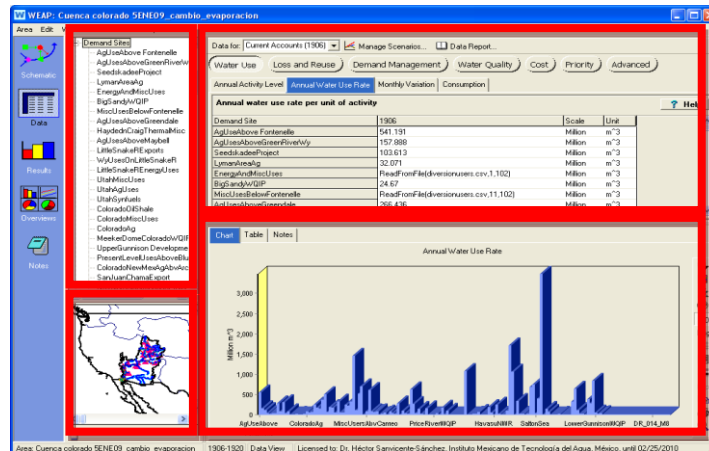
Vista de Nota - Se documenta todos los datos y supuestos.



Notas de supuestos

Estructura de Datos en WEAP

En la vista de datos del sistema WEAP, se introducen las estructuras de datos, las suposiciones clave, el modelado de las relaciones que existen y la documentación para el año base y para cada escenario. La pantalla se divide en cuatro paneles (marcado por las cajas de color rojo).



Estructura de datos en el modelo

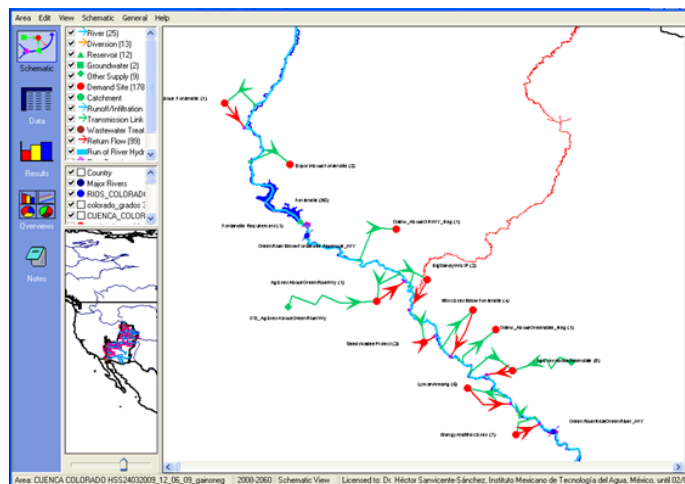
En el primer panel localizado en la parte superior izquierda, un árbol jerárquico se utiliza para crear y organizar estructuras de datos en seis categorías principales: Suposiciones clave, Sitios de demanda, Hidrología, Abastecimiento y Recursos, Calidad de agua y Otros supuestos.

El panel de datos de entrada se encuentra localizado en la parte superior derecha, se utiliza para introducir las variables que componen el sistema. Cada variable de datos que aparece en la propia ficha se agrupa en categorías. Por encima de las fichas o pestañas de entrada de datos un conjunto de botones dan acceso a las diferentes categorías de la variable asociada a cada ficha.

Los botones y pestañas que aparecerán pueden variar dependiendo de qué parte del conjunto de datos se esté trabajando. Por ejemplo, al editar los sitios de demanda se da acceso a los botones de "Uso del Agua", "Pérdida y Reutilización", "Gestión de la Demanda", "Costo", "Prioridad", y "Avanzado", mientras que para los embalses se verán los botones de "Física", "Operación", "Energía Hidroeléctrica", "Calidad del Agua", "Costo", y "Prioridad".

Esquema Principal de WEAP

En la vista esquemática de la cuenca del río Colorado, un nodo representa un componente físico, como un sitio de demanda, una planta de tratamiento de aguas residuales, un acuífero, un depósito de agua o un sitio definido en el espacio a lo largo de un río. Los nodos están conectados por líneas que representan causas naturales o provocados por el hombre, tales como conductos de agua, tramos de ríos, canales y tuberías. Estas líneas incluyen ríos, desvíos, y enlaces de transmisión del flujo de retorno. Vista esquemática en WEAP de ríos y nodos.



Vista esquemática de ríos y nodos en el modelo WEAP

Elementos en la Vista Esquemática de WEAP

WEAP cuenta con diferentes elementos que conforman el conjunto de estructuras para la modelación del sistema.

Sitios de Demanda

Un sitio de demanda es más bien un conjunto de usuarios del agua que comparten un sistema de distribución física, que se encuentran en una determinada región, o que comparten un importante punto de suministro. También puede tener una demanda global (por ejemplo, los condados) o separar los principales usos del agua en los distintos sitios de demanda.

Cuenca o Captación

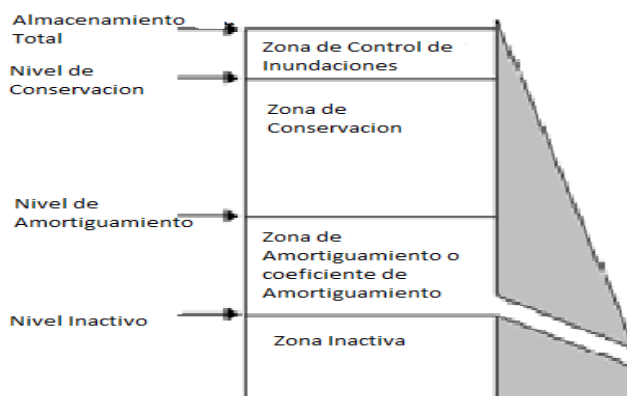
Una cuenca o Captación es un área definida por el usuario dentro del esquema en el que se puede especificar los procesos de precipitación, evapotranspiración, escurrimientos, el riego y la producción de productos agrícolas y no agrícolas de tierras. Al crear una captación en el esquema, aparece una ventana en la se que puede seleccionar una serie de opciones que se aplicarán para esta cuenca. Además de establecer si los escurrimientos de la cuenca contribuirá a un río.

Embalse

Un embalse es un depósito artificial en el que se almacenan las aguas de un río o de un arroyo, generalmente mediante una presa, embalses con la misma prioridad de demanda en WEAP tratará de llenarlos hasta el mismo nivel (como un % del nivel de conservación), lo mismo que tratará de satisfacer la demanda de los sitios al mismo porcentaje de su demanda.

Zonas de Almacenamiento en WEAP

Un embalse o presa está dividido en cuatro zonas, estas incluyen; de arriba a abajo, la zona de control de inundaciones, la zona de conservación, la zona de amortiguamiento y zona inactiva. Las zonas de conservación y la de los depósitos reguladores, juntas, constituyen el almacenamiento activo del embalse. WEAP asegurará de que la zona de control de inundaciones siempre se mantenga vacante, es decir, el volumen de agua en el embalse no puede exceder la parte superior de la zona de conservación del embalse.



Zonas de almacenamiento

WEAP permite que los embalses liberen libremente el agua del nivel de conservación para satisfacer plenamente los requisitos de retiro y otras derivaciones. Una vez que el nivel de almacenamiento cae por debajo del nivel de amortiguamiento, la liberación se limitará según el coeficiente de amortiguamiento,

para la conservación de la fuente y reducir la del embalse. El agua en la zona inactiva no está disponible para la asignación, aunque bajo condiciones extremas de la evaporación podrá estar el embalse en la zona inactiva.

Para definir las zonas, se ingresan los volúmenes de almacenamiento correspondientes a la parte superior de cada zona (Nivel de Conservación, Nivel de Amortiguamiento y Nivel inactivo). WEAP utiliza el Coeficiente de Amortiguamiento para reducir las salidas cuando el nivel de almacenamiento cae en la zona de amortiguamiento. Cuando esto ocurre, las salidas mensuales no puede exceder el volumen de agua en la zona de amortiguamiento, multiplicado por dicho coeficiente. En otras palabras, el coeficiente de amortiguamiento es la fracción del agua en la zona de amortiguación disponible para la liberación de cada mes. Así, un coeficiente cerca de 1,0 provocará que las demandas se satisfagan completamente, mientras se vacíe más rápidamente la zona de amortiguación, con un coeficiente cercano a 0 dejará demandas insatisfechas preservando al mismo tiempo el almacenamiento en la zona de amortiguamiento. En esencia, el Nivel de Amortiguamiento representa el volumen, en el cual la liberación pueda reducirse y el coeficiente de amortiguamiento determina la cantidad reducida.

Ríos, derivaciones de ríos por medio de Nodos

Ambos, ríos y derivaciones en WEAP se componen de nodos conectados por el río. Otros ríos pueden fluir hacia un río (afluentes) o fuera de un río (derivaciones). Hay siete tipos de nodos de río:

-Nodos de embalse, son aquellos que representan las presas ubicadas sobre un río. Un nodo de embalse puede liberar agua directamente a un sitio de demanda o para ser usada aguas abajo, y se puede utilizar para simular la generación de energía hidroeléctrica.

- Nodos de centrales hidroeléctricas, define la ubicación de centrales mini y micro hidroeléctricas sobre el río, las cuales generan energía hidroeléctrica considerando únicamente la variación en el caudal del río a una carga fija.

-Nodos de requerimiento de flujo, define el caudal mínimo necesario en un punto del río o derivación para satisfacer los requerimientos mínimos de calidad del agua, vida silvestre y acuática, navegación, recreación, etc.

-Nodos de retiro, representan los puntos de toma de agua de los sitios de demanda que reciben agua directamente de un río.

-Nodos de derivación, establecen los puntos donde se desvía el agua de un río o de una derivación dentro de un canal, tubería o acueducto llamado derivación.

-Nodos de tributario, son los puntos donde un río se une a otro río.

-Nodos de retorno. Son los sitios donde los flujos de retorno de los sitios de demanda y plantas de tratamiento de aguas residuales se incorporan nuevamente a un río.

-Estaciones hidrométricas, se colocan en el río y representan los puntos donde se llevan a cabo las mediciones reales del caudal y se pueden utilizar como puntos de comparación para las corrientes en el río.

Acuíferos

Los acuíferos pueden tener entrada de agua natural, por infiltración de los diferentes elementos como son: Áreas de captación (cuencas), ríos, sitios de demanda, etc. y vincularse como suministro o fuente de agua subterránea a cualquier número de sitios de demanda. Los acuíferos se representan en WEAP mediante un nodo y envían agua a los sitios de demanda a través de un conector de transferencia y reciben agua por infiltración sin necesidad de un elemento de conexión específico o mediante un conector de flujo de retorno o un enlace de escorrentía/infiltración.

Otros Suministros

Otros suministros pueden ser de dos tipos, presas locales o cualquier otra fuente que posea una cantidad de agua predeterminada disponible como pueden ser plantas desalinizadoras, trasvasos entre cuencas, etc. Una presa local puede tener entradas mensuales predeterminadas, recibir escurrimientos de áreas de captación, y de los retornos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y posee capacidad de almacenamiento y de energía. A diferencia de los nodos de embalse sobre el río, ellos se manejan de manera independiente. Las presas locales se modelan a través de nodos de embalse que no están ligados a ningún río y el resto de otras fuentes mediante nodos denominados otras fuentes, ambos se ligan a los sitios de demanda mediante conectores de transferencia.

Conector de Transferencia

Los conectores de transferencia entregan agua de presas, ríos y acuíferos a sitios de demandan. Además, los conectores de transferencia pueden extraer las aguas residuales de los sitios de demanda y plantas de tratamiento, para re-usarse en otro sitio de demanda. Los conectores de demanda se establecen en WEAP a través de un arco que une dos nodos, por ejemplo un nodo de retiro de un río con un sitio de demanda. Cuando un sitio de demanda recibe agua de dos fuentes de abastecimiento los conectores de

transferencia pueden ser priorizados para establecer una preferencia de suministro.

Escurrimiento/ Infiltración Enlaces

Los enlaces de escorrentía/infiltración son arcos en WEAP que llevan los escurrimientos y la infiltración de un nodo de captación a los ríos, embalses y acuíferos.

Flujo de Retorno

El agua que no se consume en un sitio de demanda se puede dirigir a uno o más sitios de la demanda en la superficie o acuíferos. Las corrientes de retorno se especifican como un porcentaje de salida del suministro.

Plantas de Tratamiento de Aguas

Las plantas de tratamiento de aguas reciben agua de uno o varios sitios de demanda, remueven contaminantes y retornan el agua tratada a uno o más sitios de demanda, nodos de ríos o fuentes de suministro locales.

Horizonte de Tiempo para la Simulación del Sistema en WEAP

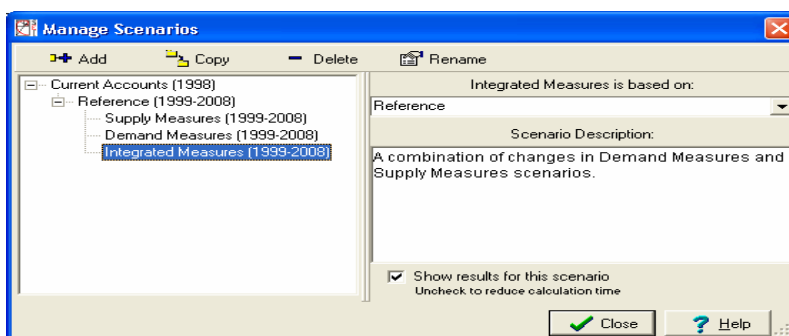
El horizonte de tiempo es el periodo para el cual WEAP llevará a cabo la simulación del sistema, según las reglas establecidas para los escenarios (escenario de referencia y alternos o prospectivos). El horizonte de tiempo inicia en el Año Base y termina en un Último Año. Cabe mencionar que WEAP divide un año en pasos de tiempo los cuales pueden tener una longitud que va desde un día hasta 365 días.

De esta forma para definir el horizonte de tiempo se debe introducir el "Año Base", el "Último Año" y los "pasos de tiempo" por año (12 meses por defecto). WEAP lleva a cabo un análisis para cada paso de tiempo a partir del Año Base hasta el Último Año. El Año Base suele ser el año más reciente para el que razonablemente se dispone de datos fiables y completos. El Último Año suele ser un año en el futuro que define el año hasta el cual se desea conocer el comportamiento del sistema. Cuando se realiza la calibración y validación del sistema el Último Año es también un año en el pasado que define junto con el Año Base el periodo para el cual se conoce el comportamiento real del sistema. El usuario tiene la opción de definir el paso de tiempo a través de un año calendario, todos los pasos de tiempos de igual longitud o de longitud variable, especificada por el usuario.

El Año Base representa al sistema como es actualmente. El establecimiento del Año Base requiere que el usuario "calibre" el sistema de datos e hipótesis a un punto que refleje con precisión la observación del funcionamiento del sistema.

El Año Base también es el año de inicio para todos los escenarios. Tenga en cuenta que el Año Base no pretende ser un "promedio" de año, sino la mejor estimación disponible del sistema actual. El Año Base incluye la especificación de la oferta y la demanda de agua (incluida la definición de embalses, tuberías, plantas de tratamiento, etc.) para el primer año del estudio sobre una base mensual.

Los escenarios en WEAP cubren cualquier factor que pueda cambiar con el tiempo, incluidos los factores que pueden cambiar debido a políticas particulares de intervención, y las que reflejan diferentes hipótesis socioeconómicas. Los análisis de sensibilidad también pueden ser realizados por diversos factores inciertos a través de su rango de valores, ver figura.



Representación de escenarios de referencia

Categorías en el Árbol WEAP

El árbol de datos en WEAP está organizado en seis grandes categorías, que establecen el nivel superior de ramas en el árbol:

-Suposiciones clave: a través de la cual se crean y organizan variables independientes utilizadas para "manejar" los cálculos en el análisis o simulaciones del sistema. Es muy útil para crear variables para las principales hipótesis de modelado, especialmente a los que varían de un escenario a otro.

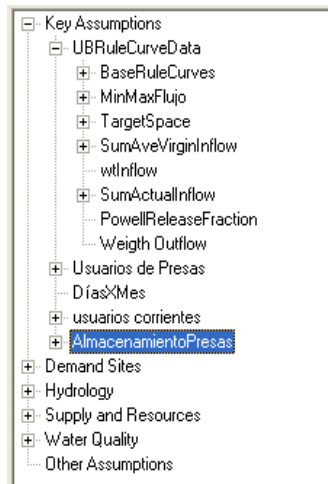
-Sitios de Demanda: establece un análisis desglosado de la demanda para el consumo de agua en una zona.

- Hidrología: a través de la cual se calcula el flujo para cada fuente de suministro en el futuro.

- Suministro y Recursos: Dado el requisito de la demanda mensual y el abastecimiento de recursos determina las cantidades, la disponibilidad y asignación de los suministros, simula mensualmente las corrientes fluviales, incluyendo las aguas superficiales y subterráneas y las interacciones de flujo, depósitos o acuífero y embalse.

- Calidad del agua: la sección de Calidad de agua contiene lo que se refiere a la generación de contaminación en el tratamiento de agua en su salida y la acumulación en la superficie.

- Otros Supuestos: variable definida por el usuario, se crean las variables intermedias, similares a los supuestos clave, estructura del árbol según las categorías.



Estructura de categorías en el árbol de WEAP

Análisis de la Demanda en WEAP

El análisis de demanda en WEAP es también el punto de partida para la realización de análisis de planificación integrada del agua, ya que todos los cálculos de recursos y de suministros en WEAP están impulsados por los niveles de la demanda final.

WEAP utiliza una estructura de árbol jerárquica para desglosar los datos sobre la demanda de agua a diferente nivel. Se puede fácilmente adaptar esta estructura a la naturaleza del problema planteado y la disponibilidad de datos.

El primer nivel corresponde a los sitios de demanda como fueron creados desde la vista Esquema, esto es, la demanda final agrupada. Por debajo de este nivel, se pueden crear tantos niveles como desee. Por ejemplo, en la figura 3.13 se muestra un árbol en el que la Ciudad del Sur (South City) divide su demanda en construcciones unifamiliares o simples (Single) y multifamiliares (Multi family), y, además, por uso final, mientras que la Ciudad del Oeste (West City) no presenta ninguna desagregación. WEAP es flexible permitiendo introducir datos agregados inicialmente y refinar la proyección de la demanda posteriormente conforme datos más detallados estén disponibles o sean necesarios. La demanda puede ser desagregada por:

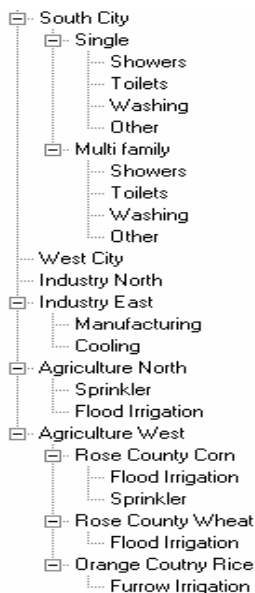
- **Sector:** Un ejemplo de partición sectorial podría incluir la agricultura, la industria, el uso doméstico urbano, el uso domestico rural, etc. Las categorías pueden ser utilizadas con flexibilidad para que se correspondan con el problema particular bajo análisis.

- **Subsector:** Por ejemplo, el sector industrial puede ser dividido en clasificaciones industriales, como son: el acero y el hierro, petróleo, química, textil, celulosa y papel, y la elaboración de alimentos. El sector agrícola podría ser desglosado por tipo de cultivo, la ganadería o algún otro subsector apropiado.

- **Uso final:** Por ejemplo, un cultivo establecido como uso final podría ser caracterizado por las necesidades de agua en diferentes condiciones de suelo o en diferentes lugares de la zona de estudio, o por las diferentes técnicas de riego. Los usos finales industriales pueden incluir el tipo de proceso, la refrigeración y los servicios sanitarios requeridos.

- **Dispositivo de consumo de agua:** Ejemplo de dispositivos son los rociadores, y los sistemas de riego por goteo en el sector agrícola, y las regaderas, tazas de baño, y máquinas de lavado para el sector doméstico.

Se puede organizar el árbol de la demanda conforme los datos disponibles.



Estructura jerárquica en WEAP.

Prioridades para la Asignación de Agua a los Sitios de Demanda

Dos sistemas de prioridades, definidos por el usuario, son utilizados para determinar las asignaciones de agua de las fuentes de suministro a los sitios de demanda y el llenado de embalses. Estos sistemas son el de prioridades de demanda y preferencia de suministro.

Las prioridades de demanda pueden ir de 1 a 99, siendo 1 la de más alta prioridad y 99 la más baja. Estas prioridades son útiles en

la representación de un sistema de derechos de agua, y también son importantes durante una escasez de agua, en este caso la demanda de mayor prioridad se satisface, en la medida de lo posible, antes de las demandas de prioridades inferiores. Si las prioridades son las mismas, la escasez será igualmente compartida.

Si un sitio de demanda está conectado a más de una fuente de agua, se puede establecer una preferencia de suministro ligada a los conectores de transferencia. La preferencia de suministro indica a cuales conectores de transferencia se les debe establecer primero el caudal de agua a suministrar y a cuales después, siendo los primeros en definirse los que posean una prioridad con valor 1, en segundo término los que posean una prioridad de 2 y así sucesivamente conforme el valor crece, de esta forma lo que se establece es cual es la fuente que tiene preferencia para satisfacer la demanda de un sitio.

En general, si una fuente está conectada a varios sitios de la demanda con la misma prioridad, WEAP intenta asignar estos flujos de forma simultánea, independientemente de las preferencias de suministros en los enlaces. Por ejemplo, el sitio de la demanda DS1 está conectado a la vez a un río y una fuente de agua subterránea, con preferencia por las aguas subterráneas, mientras que el sitio de demanda, DS2, sólo está conectado con el río, ambos sitios tienen la misma prioridad de la demanda. Los órdenes de asignación serán de 1 para enlaces de DS1 a las aguas subterráneas, y 2 para los enlaces en los sitios de la demanda para el río. En los cálculos, DS1 primero asigna el agua de las aguas subterráneas, y a continuación, ambos DS1 y DS2 se les asignan el agua del río. De esta manera, los sitios de la demanda tienen las mismas oportunidades para recibir el agua del río en el caso de una escasez de agua.

Determinación de la Demanda de Agua en WEAP

La demanda se puede determinar mediante tres opciones: (1) el método estándar de uso del agua (2) enfoque y requisitos de la FAO para cultivos y (3) el método directo.

-Método Estándar de Uso del Agua

El caso más simple es cuando el usuario determina un adecuado nivel de actividad (por ejemplo, las personas, los hogares, las hectáreas de tierra, etc. que utilizan el agua), para cada nivel y desglosar estos por la tasa anual de utilización para cada actividad. Una variación mensual se aplica a este tipo de cambio.

-Enfoque de la FAO- Necesidades de Cultivos

El enfoque de la FAO para cada necesidad de cultivos por lo general se usa para representar a la demanda agrícola. Este enfoque se utiliza para cada sitio de demanda (es decir; un

conjunto simplificado agro-hidrológico y procesos hidrológicos, tales como: las precipitaciones, la evapotranspiración, etc.) haciendo hincapié en el crecimiento de los cultivos. Estos procesos se utilizan para determinar las necesidades de riego para cada sitio de demanda.

-Método Directo

Este método puede leerse directamente en WEAP por medio de un archivo de demandas anuales o mensuales.

Actividad Anual de Agua en WEAP

La demanda anual representa la cantidad de agua en un año que requiere cada sitio de demanda y se establece a partir del nivel de actividad anual de dicho sitio. Las pérdidas, la reutilización, y la eficiencia se contabilizan por separado. El consumo de agua se calcula multiplicando el nivel de actividad anual por la tasa unitaria de uso del agua. Los niveles de actividad se utilizan en el análisis de la demanda en WEAP como medida de la actividad social y económica. La figura 3.8 muestra que la Ciudad del Sur posee una población de 3.75 millones de personas en el año de 1998, que el 42% de la población vive en construcciones unifamiliares y de éstas el 90% posee regaderas, el 99% posee tazas de baño y el 75% máquinas de lavar. Para calcular el consumo de agua anual por regaderas lo que hace WEAP es multiplicar $3.75 * 42\% * 90\%$ que da un total de 1.42 millones de personas, cantidad que multiplicada por la tasa anual de uso de agua por persona establece el consumo buscado.

Annual Activity Level Annual Water Use Rate Monthly Variation Consumption					
Annual level of activity driving demand, such as agricultural area, population using water for domestic purposes, or industrial output.					Help
Demand Site	1998	1999-2008	Scale	Unit	
South City	3.75	Growth(3%)	Million	person	
Single family	42	Interp(2020,50)	Percent	share	of people
Showers	90	Interp(2020,98)	Percent	saturation	of people
Toilets	99	99	Percent	saturation	of people
Washing	75	Interp(2020,85)	Percent	saturation	of people
Other	80	Interp(2020,90)	Percent	saturation	of people

Niveles de las demandas en WEAP.

Tasa Anual de Uso de Agua

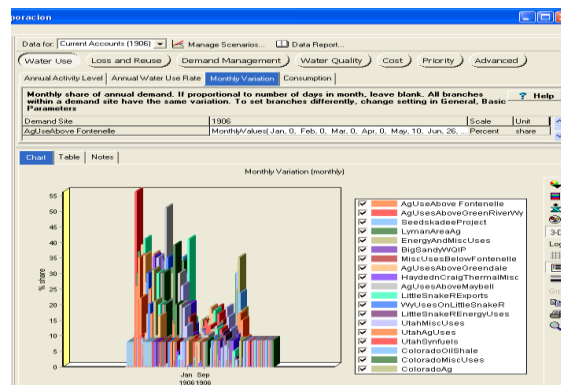
La Tasa Anual de Uso del Agua es el promedio anual de consumo de agua por unidad de actividad. WEAP hace hincapié en que se trata de una tasa por unidad, no la cantidad total de agua utilizada por todas las duchas, tazas de baño o maquinas de lavar.

Annual Activity Level		Annual Water Use Rate	Monthly Variation	Consumption
Annual water use rate per unit of activity				
Single family	1998	1999-2008		Scale Unit
Showers	62.62	GrowthAs(Key\Drivers\Technical Innovation,-0.25)		m ³ /person
Toilets	70.5	GrowthAs(Key\Drivers\Technical Innovation,-0.25)		m ³ /person
Washing	44.1	44.1		m ³ /person
Other	30.8	30.8		m ³ /person

Tasa de consumo anual de agua

Variación Mensual de Agua

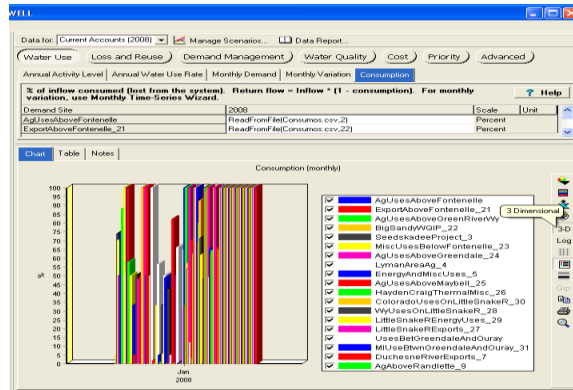
Establece el porcentaje de uso de agua anual para cada uno de los meses o pasos de tiempo a lo largo de un año. Para algunos sitios de demanda, tales como los industriales, el uso del agua puede permanecer constante a lo largo del año, si la demanda es constante durante todo el año, se deja un valor único, mientras que para otras demandas el consumo puede variar considerablemente de mes a mes. WEAP permite establecer esta variabilidad en el consumo a lo largo del año.



Variación mensual de agua

Consumo

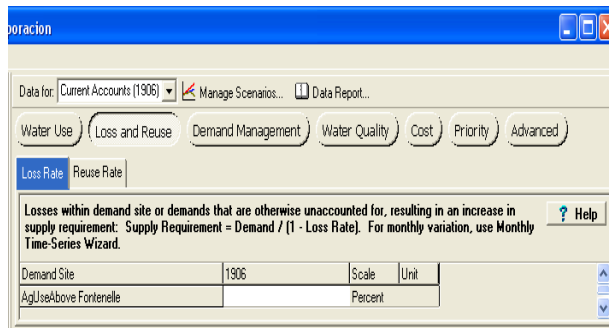
El consumo establece la fracción de los flujos que entran a un sitio de demanda y que son realmente consumidos por éste. Esto es, define la cantidad de agua que será perdida por el sistema por efecto del sitio de demanda. Los flujos de retorno se definen entonces como **flujos de entrada * (1 - consumo)**. El consumo puede variar mensualmente en cuyo caso se debe establecer dicha variación. En la figura se observa un ejemplo de los consumos de los diferentes usuarios en un año determinado.



Consumos en el esquema WEAP

Tasa de Pérdida (%)

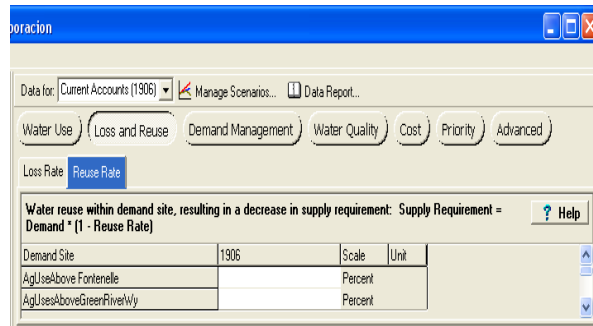
La tasa de pérdidas incluye las pérdidas por distribución dentro de un sitio de demanda y otras pérdidas no contabilizadas. Por ejemplo, en los sistemas municipales las perdidas por distribución pueden representar fugas físicas, agua no medida y usada en parques y edificios públicos, conexiones clandestinas, o la utilización del agua para la lucha contra incendios. El efecto de las pérdidas por distribución es incrementar el requerimiento de agua por un factor $(1 / 1 - \text{tasa de pérdidas})$. Puede variar mensualmente en cuyo caso se debe establecer dicha variación. Véase figura perdidas agua en WEAP.



Pérdidas de agua en WEAP

Tasa de Reutilización (%)

La tasa de reutilización se refiere al porcentaje de agua que se recicla o reutiliza. Esto es, establece el agua que es usada en más de una solicitud antes de la descarga. Por ejemplo, el agua de riego puede ser encaminada para su reutilización en más de un campo. En la industria, el agua puede ser reciclada para usos múltiples. Ejemplo de esto puede observarse en la figura. Puede variar mensualmente en cuyo caso se debe establecer dicha variación.

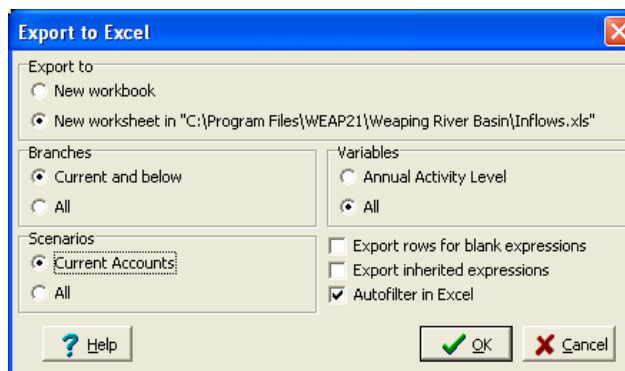


Tasa de reutilización en WEAP

Exportación de Datos de WEAP a Hojas de Excel

WEAP sigue el enfoque de las hojas de cálculo: La posibilidad de introducir datos por parte de los usuarios y la construcción de modelos usando expresiones matemáticas. Las expresiones son fórmulas matemáticas usadas para establecer el valor de las variables en WEAP. En el Año Base una expresión define el valor inicial para una variable dada, mientras que en los escenarios, la expresión definen como cambia una variable a lo largo del tiempo. Las expresiones pueden ir desde simples valores numéricos a fórmulas matemáticas complejas. Cada fórmula puede, opcionalmente, usar una o varias de las funciones incorporadas en WEAP, así como hacer uso de los valores de las variables establecidas en el modelo.

Las expresiones pueden también ser creadas directamente en WEAP mediante el constructor de expresiones (Expression builder) o a través de ligas a valores almacenados en una hoja de cálculo externa de Microsoft Excel. Para este último proceso una hoja de cálculo de Excel debe ser inicialmente generada a través de la función de exportación a Excel (Export to Excel) para posteriormente ser alterada e importada de nuevo a WEAP. Hay varias opciones que permiten establecer exactamente lo que es exportado y donde



Exportación de información de WEAP A Excel

Por otro lado, WEAP puede exportar a Excel las tablas de datos y resultados a través de las vistas respectivas, Vista de Datos y Vista de Resultados, en la pestaña de Tabla. Con esta liga se tiene la ventaja de que Excel proporciona una manera más conveniente de ver y manipular la información para su revisión.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Inflows to Area (Million Cubic Meter)														
Below Colorado River Headflow	3,408.2	3,800.9	2,034.6	3,966.5	2,278.5	2,738.2	3,695.6	2,257.4	3,807.1	2,192.9	2,889.3	3,738.1	3,544.7	2,059.7
Below Dolores River Headflow	795.6	813.6	541.4	1,202.7	959.1	1,019.1	1,223.4	1,107.2	1,134.8	939.6	1,838.9	1,390.0	461.0	946.6
Below Duchesne River Headflow	1,282.2	1,928.9	837.0	1,920.6	948.5	900.5	1,222.3	1,084.6	1,515.9	817.3	1,218.4	1,833.2	1,003.7	580.9
Below Green River Headflow	1,888.0	2,459.4	1,406.5	2,550.6	1,563.9	1,211.8	2,091.7	2,188.4	2,230.0	1,130.1	2,073.1	2,594.9	2,142.7	888.5
Below Navajo	1,365.1	1,159.2	899.4	1,733.6	1,045.3	1,414.5	1,330.1	1,133.5	1,776.7	1,563.1	2,401.1	1,584.3	1,060.7	1,512.0
Below Return Flow Node 43	1,389.8	1,111.6	723.8	1,175.2	1,130.0	1,020.1	1,624.0	914.8	1,737.9	1,341.2	1,565.6	1,955.1	1,021.6	1,148.8
Below Return Flow Node 73	1,542.2	1,426.7	287.1	782.9	766.1	486.4	152.2	514.0	1,749.4	740.3	941.9	1,419.5	806.0	649.7
Below San Juan River Headflow	1,801.7	1,449.1	1,519.7	2,622.8	1,535.7	2,525.8	2,131.9	1,364.0	1,954.6	1,977.7	2,605.8	2,166.4	1,140.9	1,737.1
Below Taylor Park	1,568.3	1,833.8	969.8	1,944.9	1,314.7	1,721.0	1,684.4	1,081.1	1,705.7	985.3	1,623.3	1,531.2	1,517.2	1,069.4
Below Withdrawal Node 45	2,151.0	2,097.6	1,510.6	2,415.4	1,761.9	1,811.2	2,388.9	1,807.1	2,171.8	1,531.7	2,440.6	2,474.4	2,131.0	1,552.6
Below Yampa River Headflow	2,080.3	2,401.7	1,158.0	2,486.2	1,372.9	1,433.6	2,060.6	1,523.9	2,260.9	1,188.8	1,725.7	2,655.7	1,699.6	1,193.1
Mesa Arenosa	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0	2,094.0
All Others	7,018.9	9,220.3	6,808.8	9,427.2	7,441.7	6,902.8	7,161.5	6,193.2	7,609.5	5,903.5	8,356.4	8,866.7	6,671.1	7,021.6
Sum	28,385.2	31,796.8	20,790.8	34,322.5	24,212.3	25,279.0	28,860.6	23,263.3	31,748.5	22,405.5	31,774.1	34,303.6	25,294.1	22,455.8
Reservoir Storage Volume (Billion Cubic Meter)														
Blue Mesa	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Cystal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fleming Gorge	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.0
Fortnerelle	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Havasu	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Head	15.4	20.7	19.9	22.9	24.1	23.8	25.4	24.6	29.2	26.9	31.9	31.5	30.0	28.9

Vista de resultados de WEAP