

---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Tutorial

Una colección de módulos independientes para  
enseñar el software WEAP

noviembre de 2023



---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

## Módulos Tutoriales

Introducción al Tutorial.....	1
WEAP en una Hora.....	9
Herramientas Básicas.....	39
Escenarios.....	49
Refinando el Análisis de la Demanda.....	71
Refinando el Suministro.....	97
Datos, Resultados y Formatos.....	121
Embalses y Generación Hidroeléctrica.....	145
Calidad del Agua.....	159
La interfaz WEAP/ QUAL2K.....	185
Hidrología.....	193
Calibración hidrológica.....	215
Hidrología de la nieve.....	279
Glaciares.....	297
Análisis Financiero.....	317
Acople de WEAP a MODFLOW.....	331
Vinculando WEAP a LEAP.....	391

---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Introducción al Tutorial

<i>Introducción.....</i>	<i>2</i>
<i>Antecedentes .....</i>	<i>2</i>
<i>El Desarrollo de WEAP .....</i>	<i>2</i>
<i>El Enfoque de WEAP.....</i>	<i>3</i>
<i>Estructura del Programa .....</i>	<i>3</i>

noviembre de 2023

# Introducción

WEAP<sup>®</sup> (Water Evaluation and Planning) es una herramienta microinformática para la planificación integrada de los recursos hídricos. Proporciona un marco *completo, flexible y fácil de usar* para el análisis de políticas. Cada vez más profesionales del agua encuentran en WEAP un útil complemento a su caja de herramientas de modelos, bases de datos, hojas de cálculo y otros programas informáticos.

## Antecedentes

En la última década ha surgido un enfoque integrado del desarrollo del agua que sitúa los proyectos de suministro de agua en el contexto de los problemas de la demanda, la calidad del agua y la preservación del ecosistema.

WEAP pretende incorporar estos valores en una herramienta práctica para la planificación de los recursos hídricos. WEAP se distingue por su enfoque integrado para simular los sistemas de agua y por su orientación política. WEAP coloca el lado de la demanda de la ecuación - patrones de uso del agua, eficiencia de los equipos, reutilización, precios y asignación - en un pie de igualdad con el lado de la oferta - caudal, agua subterránea, embalses y transferencias de agua. WEAP es un laboratorio para examinar estrategias alternativas de desarrollo y gestión del agua.

WEAP es comprensivo, directo y fácil de usar, y trata de asistir en lugar de sustituir al planificador experto. Como base de datos, WEAP proporciona un sistema para mantener la información sobre la demanda y el suministro de agua. Como herramienta de previsión, WEAP simula la demanda, el suministro, los flujos y el almacenamiento de agua, así como la generación, el tratamiento y la descarga de la contaminación. Como herramienta de análisis de políticas, WEAP evalúa una gama completa de opciones de desarrollo y gestión del agua, y tiene en cuenta los usos múltiples y competitivos de los sistemas de agua.

## El Desarrollo de WEAP

El Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo proporcionó el apoyo principal para el desarrollo de WEAP. El Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo

de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos financió importantes mejoras. Varias agencias, incluyendo el Banco Mundial, USAID y el Fondo de Infraestructura Global de Japón han proporcionado apoyo a los proyectos. WEAP se ha aplicado en evaluaciones de agua en más de cien países.

## El Enfoque de WEAP

Operando sobre el principio básico de un balance hídrico, WEAP es aplicable a sistemas municipales y agrícolas, a cuencas individuales o a complejos sistemas fluviales transfronterizos. Además, WEAP puede abordar una amplia gama de cuestiones, por *ejemplo*, los análisis de la demanda sectorial, la conservación del agua, los derechos de agua y las prioridades de asignación, las simulaciones de las aguas subterráneas y de los caudales, las operaciones de los embalses, la generación de energía hidroeléctrica, el seguimiento de la contaminación, los requisitos de los ecosistemas, las evaluaciones de la vulnerabilidad, y los análisis de beneficio-costos de los proyectos.

El analista representa el sistema en términos de sus diversas fuentes de suministro (por *ejemplo*, ríos, arroyos, aguas subterráneas, embalses y plantas de desalinización); instalaciones de extracción, conducción y tratamiento de aguas residuales; requisitos del ecosistema, demandas de agua y generación de contaminación. La estructura de los datos y el nivel de detalle pueden personalizarse fácilmente para satisfacer los requisitos de un análisis concreto y reflejar los límites impuestos por los datos restringidos.

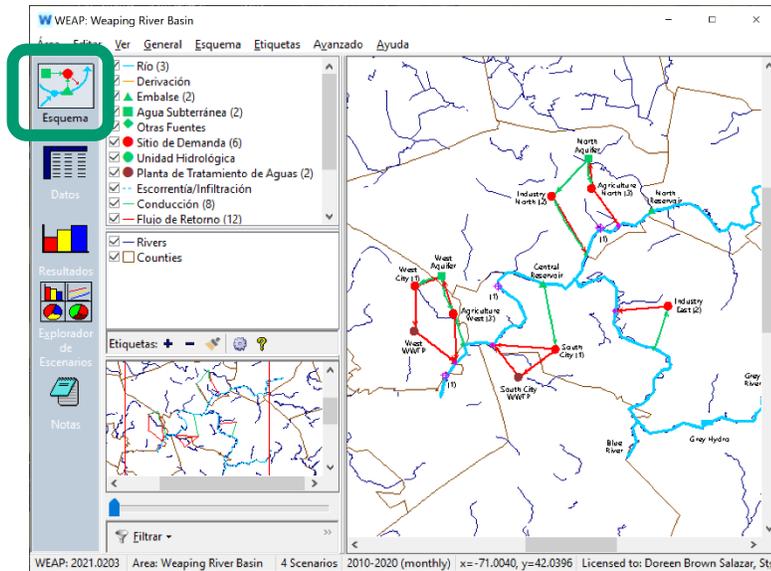
## Estructura del Programa

WEAP consta de cinco vistas principales: Esquema, Datos, Resultados, Explorador de Escenarios y Notas. Estas cinco vistas se presentan a continuación.

### **Esquema:**

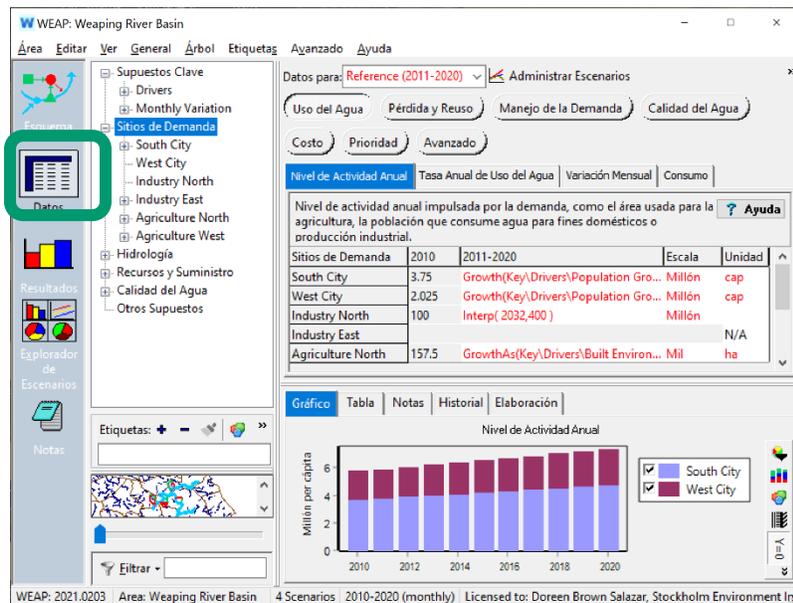
Esta vista contiene herramientas basadas en el SIG para facilitar la configuración del sistema. Los objetos (por ejemplo, nodos de demanda, embalses) pueden crearse y posicionarse dentro del sistema arrastrando y soltando elementos desde un menú. Pueden agregarse archivos vectoriales o ráster de ArcView u otros SIG estándar como capas de fondo. Se puede acceder

rápidamente a los datos y resultados de cualquier nodo haciendo clic en el objeto de interés.



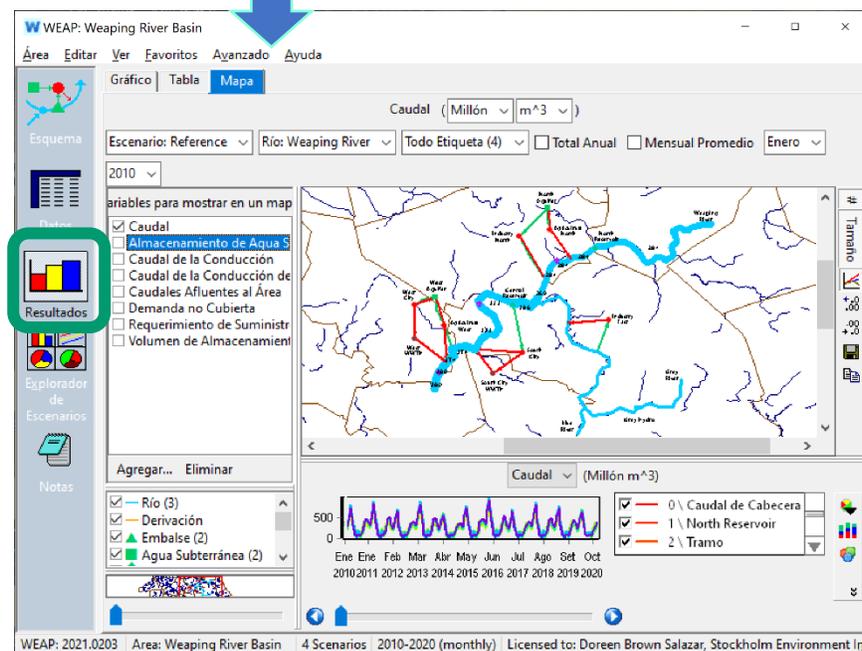
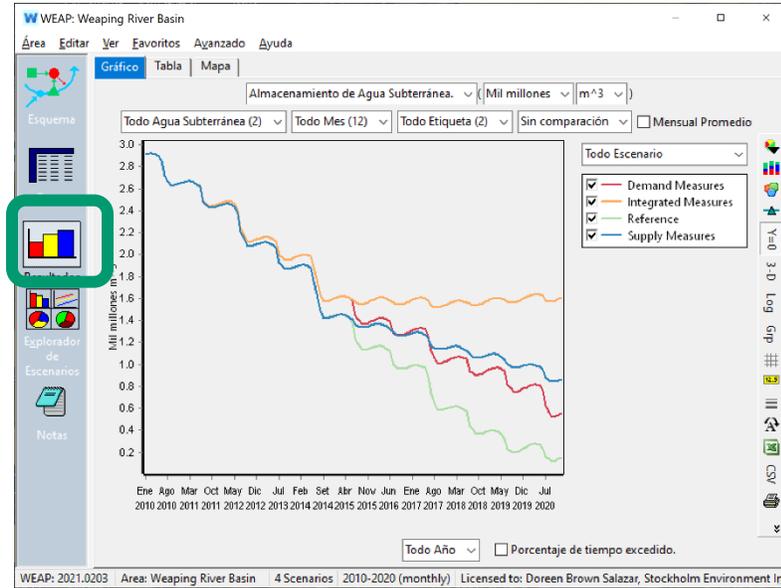
**Datos:**

La vista de datos permite crear variables y relaciones, introducir supuestos y proyecciones mediante expresiones matemáticas y enlazar dinámicamente con Excel.



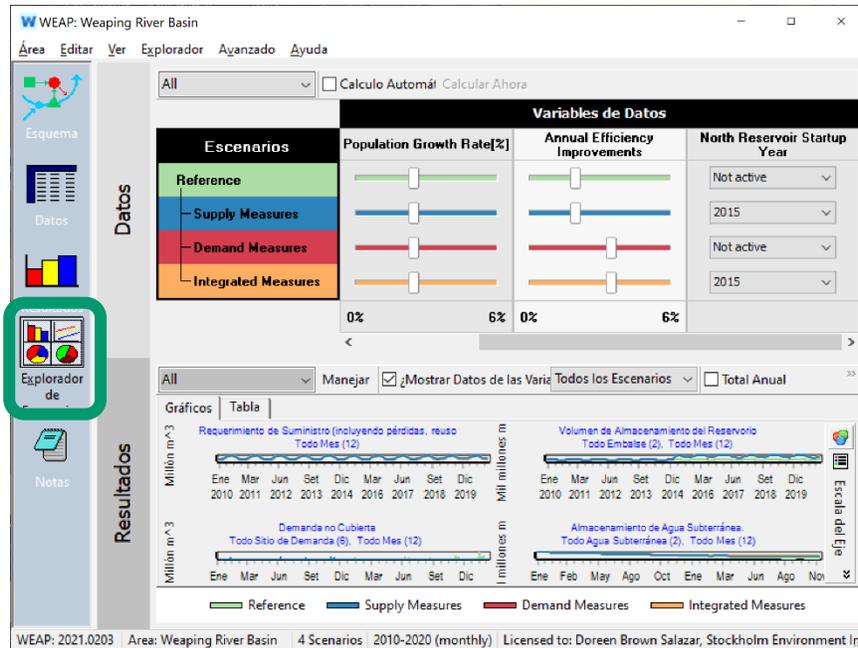
### Resultados:

La vista de resultados permite una visualización detallada y flexible de todos los resultados del modelo, en gráficos y tablas, y en el esquema.



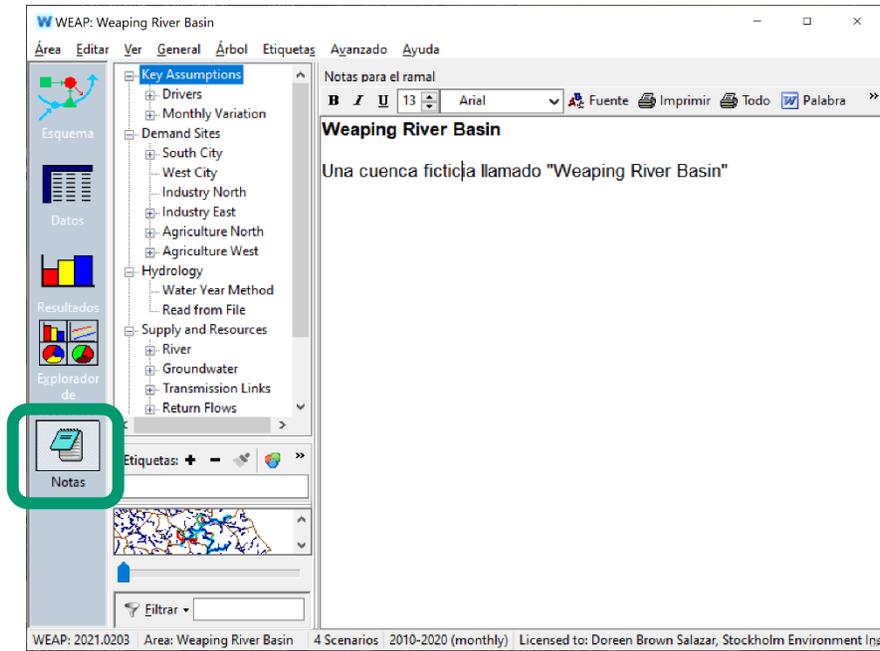
### Explorador de escenarios:

Puede resaltar los datos y resultados clave en su sistema para verlos rápidamente.



**Notas:**

La vista de Notas proporciona un lugar para documentar sus datos y supuestos.





# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# WEAP en una Hora

*Un tutorial para*

<i>Crear una Nueva Área de Estudio.....</i>	<i>10</i>
<i>Definir Parámetros Generales.....</i>	<i>17</i>
<i>Ingresar Elementos al Esquema.....</i>	<i>20</i>
<i>Los Primeros Resultados.....</i>	<i>35</i>

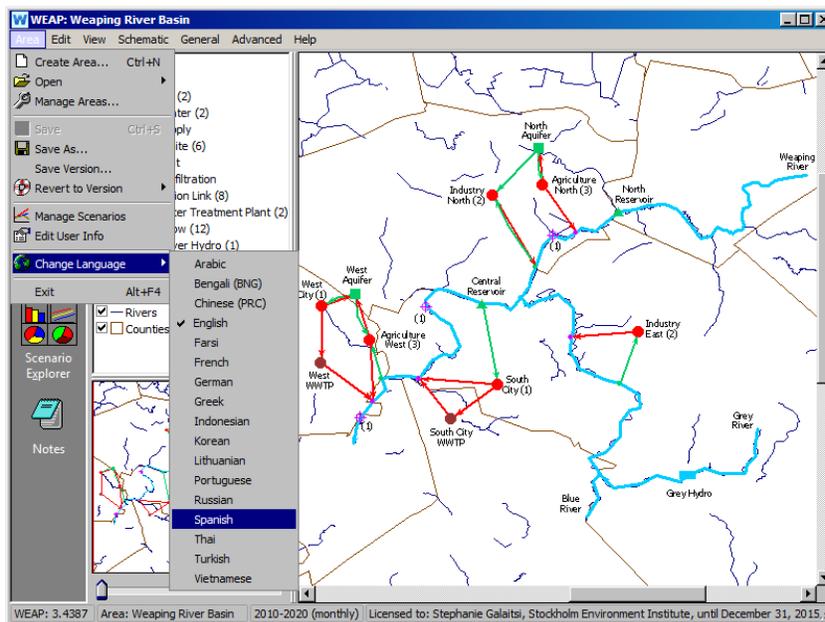
**noviembre de 2023**

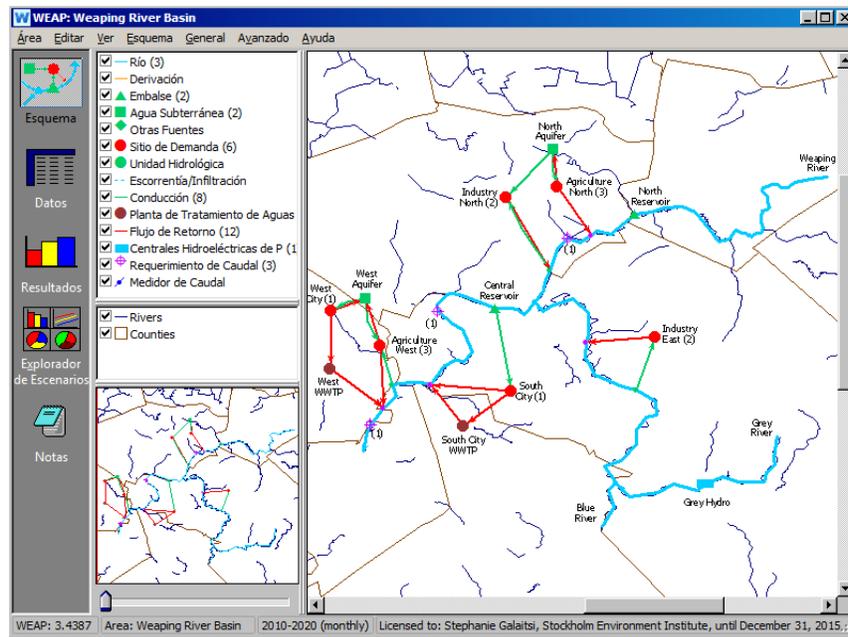
# Crear una Nueva Área de Estudio

## 1. Cambiar el Idioma del Programa WEAP al Español

Al abrir el programa WEAP por primera vez, un área “proyecto” llamado “Weaping River Basin” aparecerá. Antes de comenzar a trabajar con el software, cambie el idioma al español.

*En el menú, seleccionar “Area” en el parte superior izquierda de la ventana y luego “Change Language” y “Spanish.”*

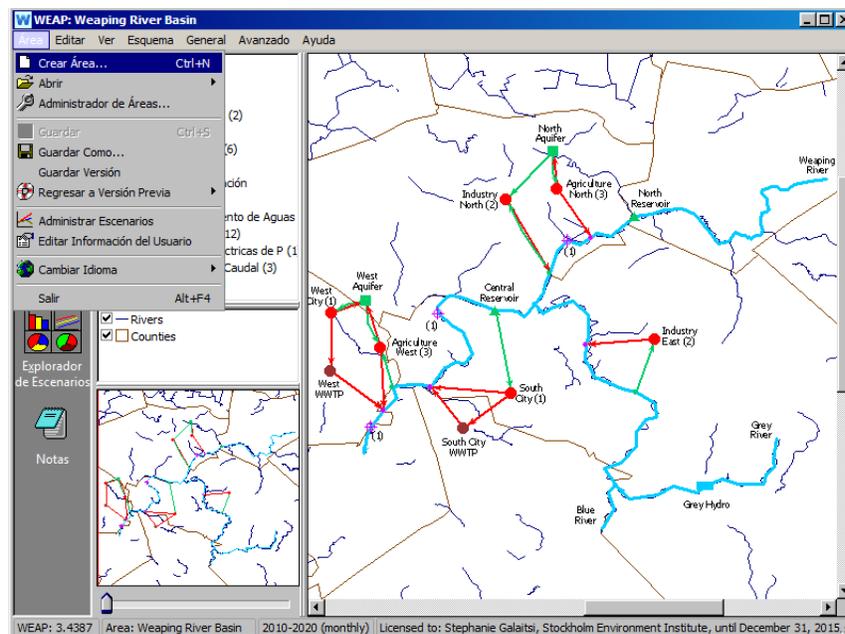




## 2. Establecer una Nueva Área en Blanco

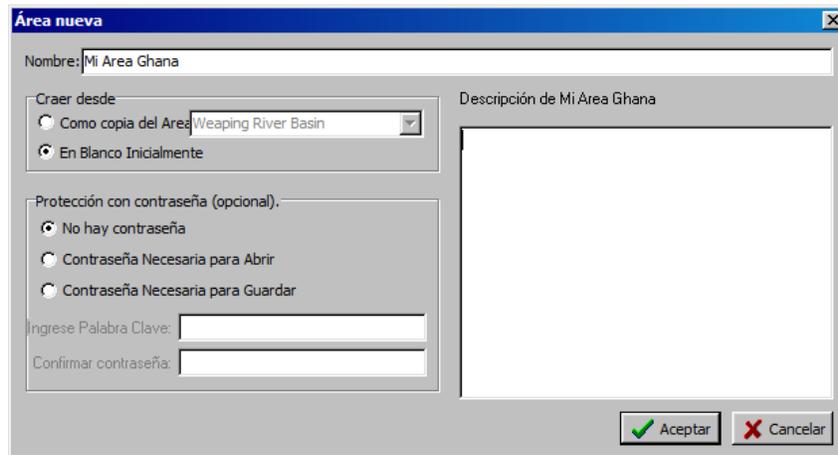
Se puede crear un área del WEAP en cualquier parte del mundo.

*En el menú, seleccionar “Área” y luego a “Crear Área” para formalizar la creación del área nueva.*



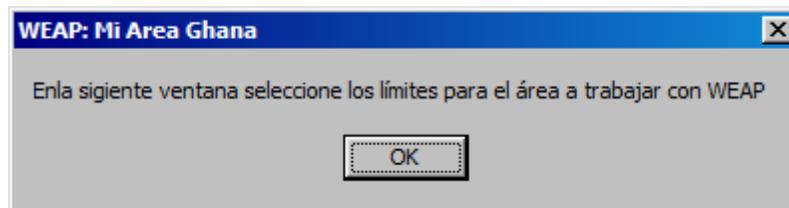
Una ventana “Área nueva” como la que ve a continuación aparecerá.

*Haga clic en el botón de la opción “En Blanco Inicialmente.”*

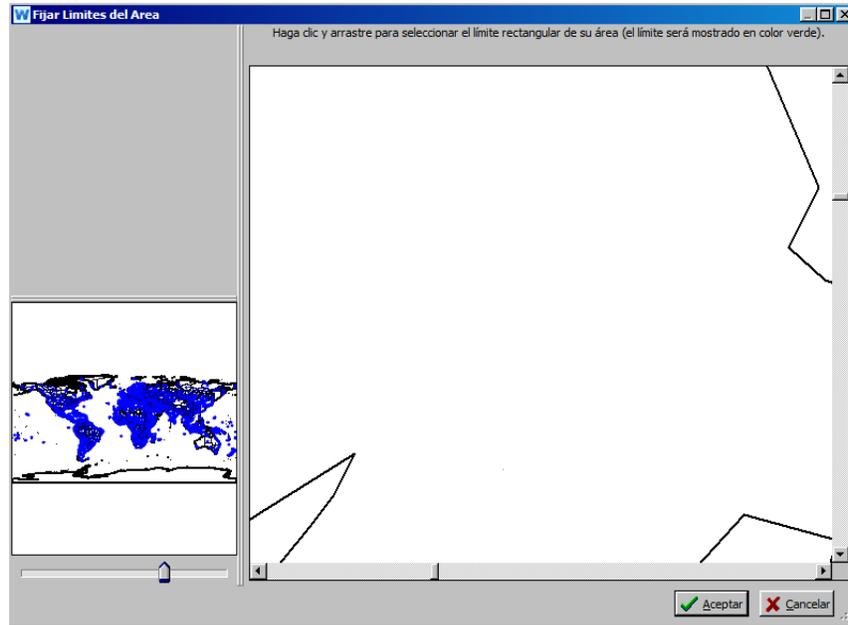


Aquí Ud. puede nombrar su área de estudio (en el ejemplo “Mi Area Ghana” – es aconsejable evitar caracteres especiales como tildes y “ñ” en WEAP). Puede escribir una descripción de su área y establecer una contraseña, como quiere.

*Al hacer clic en “Aceptar” aparecerá otra ventana,*

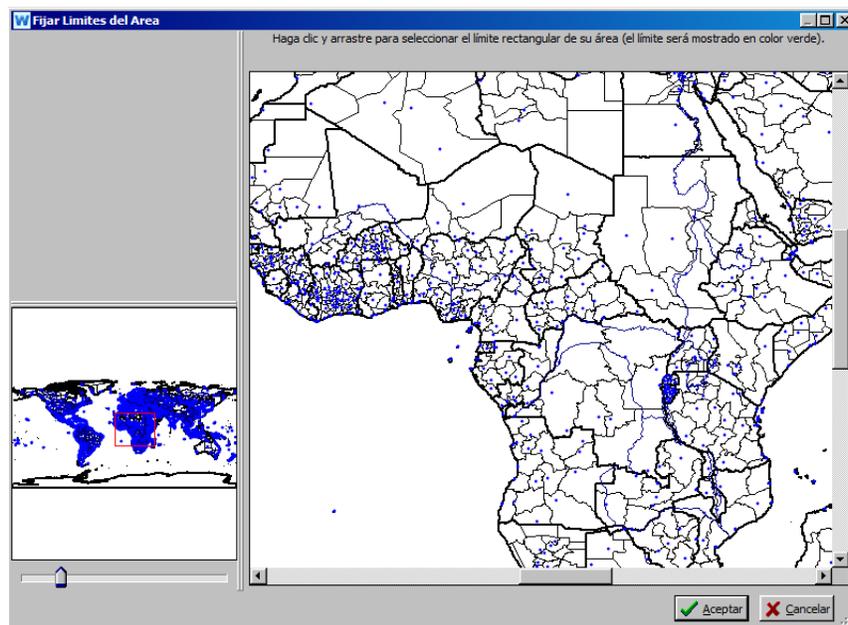


*Presionar “OK” de nuevo. Ahora deberá escoger el área general de estudio, esto es, del mapa del mundo.*



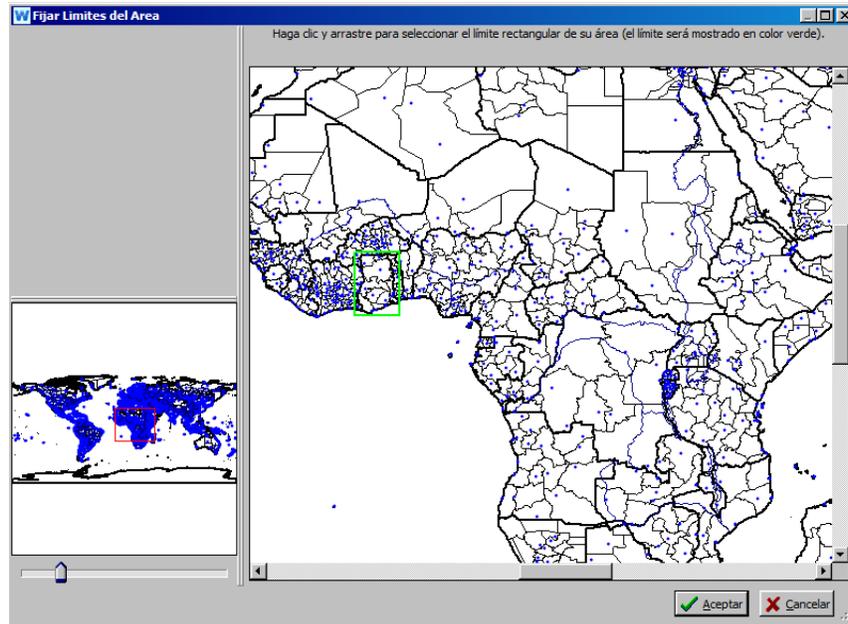
Ud. deberá establecer un área general en donde estará su estudio.

*Con la cursor, presionar el botón izquierdo del mouse y definir un rectángulo (que aparece de color rojo) sobre el mapa al izquierdo. Para este ejemplo, haremos un área alrededor de Ghana, pero usted puede hacer su área en cualquier lugar.*

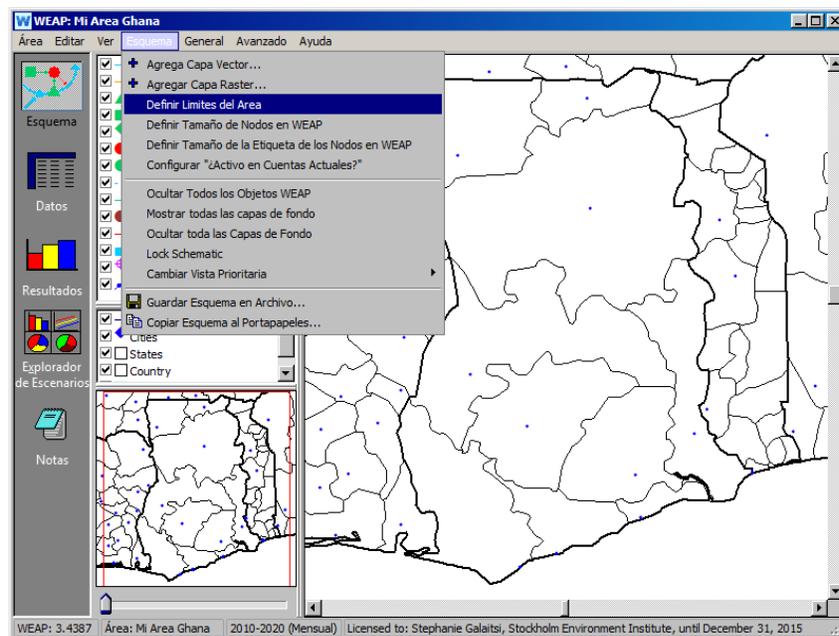


En esta ventana Ud. puede utilizar la barra de "zoom" en la esquina inferior izquierdo para aumentar la zona definida anterior.

En el mapa a la derecha, refina el área de Ghana como presionar el botón izquierdo del mouse y dibujar un rectángulo verde alrededor de las fronteras de Ghana. Haga clic en "Aceptar" cuando esté satisfecho con la zona definida por el rectángulo.



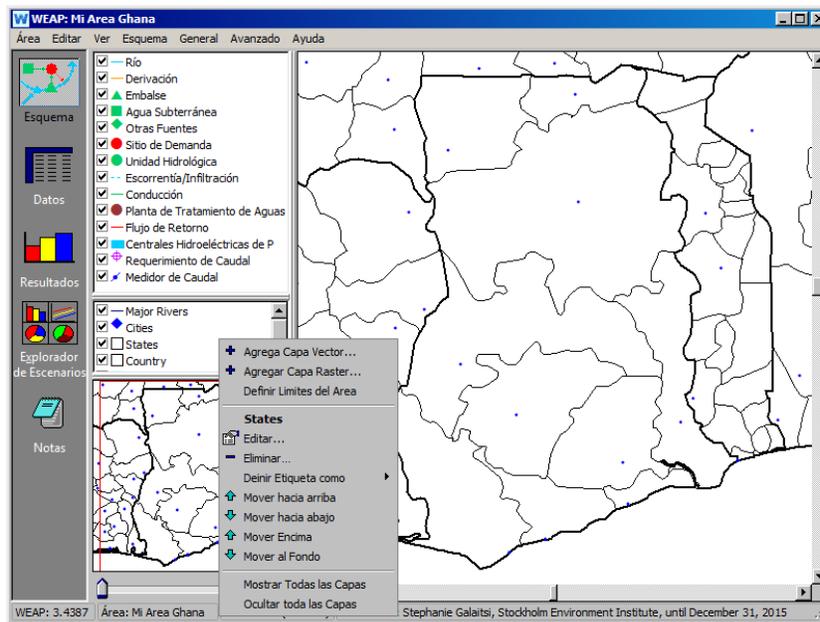
Puede redefinirla si no está bien. También puede corregirlo usando la función "Definir límites del Área" del menú "Esquema" en la barra de menú.



### 3. Agregar una Capa desde GIS al Área

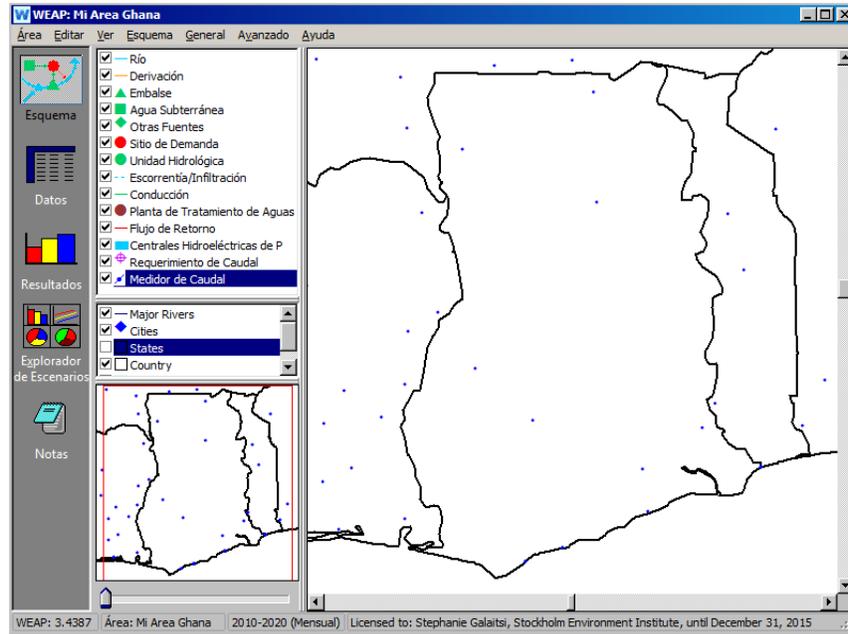
Se puede agregar una capa “vector” o una capa “raster” desde una base de datos GIS en su área de proyecto. De este modo se refinan los límites del área de estudio.

*Para hacer esto, presione el botón derecho del mouse sobre la ventana del medio en su pantalla y seleccione la opción “Agregar Capa Vector” o “Agregar Capa Raster.”*



Aparecerá una ventana en la cual Ud. puede escoger el archivo desde cualquier directorio o desde el internet. Puede seleccionar las capas que se muestran en el mapa.

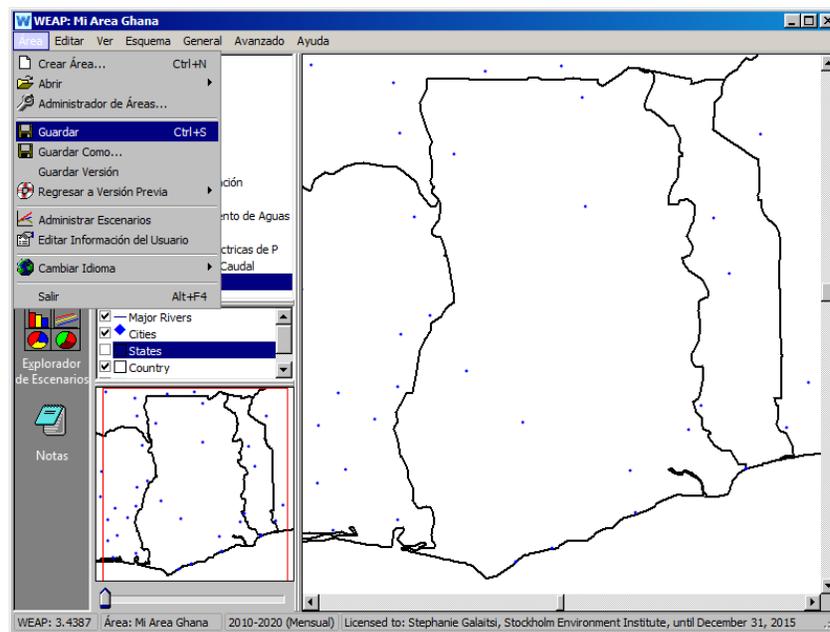
*En la misma ventana del medio, desactive la casilla de “States” (los nombres están en inglés porque son los nombres de las capas GIS).*



#### 4. Como Salvar y Guardar un Área

Para salvar y guardar el área para usarlo posteriormente.

*Vaya a "Área" en la barra principal de menú y escoja "Guardar" o presione las teclas Ctrl + S simultáneamente.*



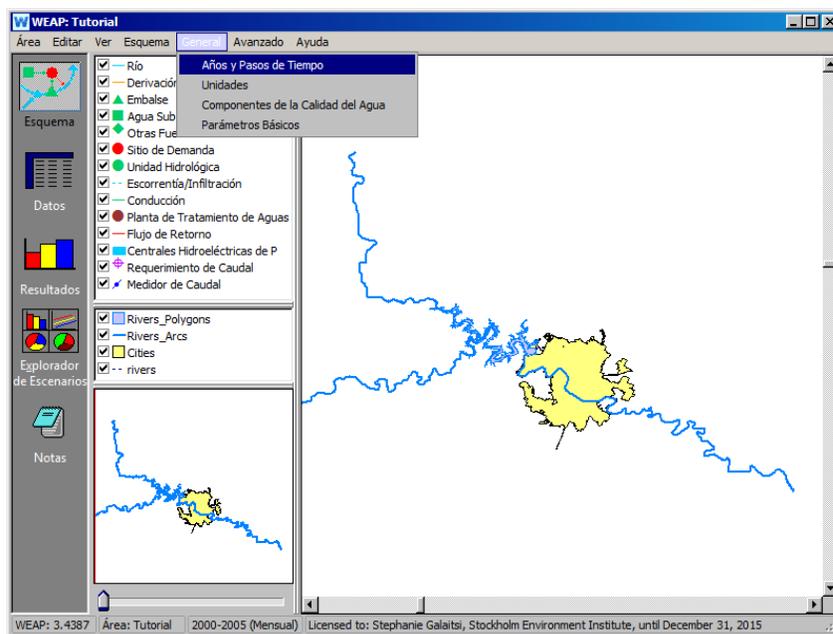
# Definir Parámetros Generales

Vamos a aprender ahora a navegar por WEAP y descubrir sus cualidades y funciones. Para lo que resta del ejercicio, usaremos un área predefinida llamada “tutorial.”

*Para abrir esa área, en el menú principal vaya a “Área” y haga clic, luego en “Abrir” al fijar el cursor sobre esta opción, deberá ver una lista de áreas incluyendo “Tutorial.” Seleccione “Tutorial.” Puede guardar el área de Ghana, pero no volveremos a usarlo en este documento.*

## 5. Definir los Parámetros Generales

*Una vez que el área “Tutorial” abra, en el menú principal vaya a “General” para definir los años e incrementos de tiempo, “Años y Pasos del Tiempo.”*



*Como la ventana de abajo, cambiar el año para comenzar al año 2000 hasta 2005 con 12 incrementos (meses) comenzando en Enero.*

**Incrementos de años y tiempos**

Horizonte de tiempo  
 Año de Cuentas corrientes: 2000  
 Último Año de escenarios: 2005

Pasos de Tiempo por Año  
 12  
 ¿Agregar Días Bisiestos?

Límite del incremento de tiempo  
 Basado en un calendario mensual  
 Todos los pasos de tiempo son de igual l  
 Establezca la longitud del incremento de

Año de Inicio del Agua.  
 Enero

#	Título	Abreviar	Longitud	Inicio	Final
1	Enero	Enero	31	Enero 1	Enero 31
2	Febrero	Febrero	28	Febrero 1	Febrero 2
3	Marzo	Marzo	31	Marzo 1	Marzo 31
4	Abril	Abril	30	Abril 1	Abril 30
5	Mayo	Mayo	31	Mayo 1	Mayo 31
6	Junio	Junio	30	Junio 1	Junio 30
7	Julio	Julio	31	Julio 1	Julio 31
8	Agosto	Agosto	31	Agosto 1	Agosto 31
9	Septiembre	Setiembre	30	Setiembre	Setiembre
10	Octubre	Octubre	31	Octubre 1	Octubre 3

to de nombre de pasos de tiempo: Octubre / Octubre

El periodo de estudio será de Enero, 2000 a Diciembre, 2005.

Ayuda Cerrar

Nota: Los incrementos de tiempo deben ser escogidos para reflejar el nivel de precisión de los datos que se tengan.



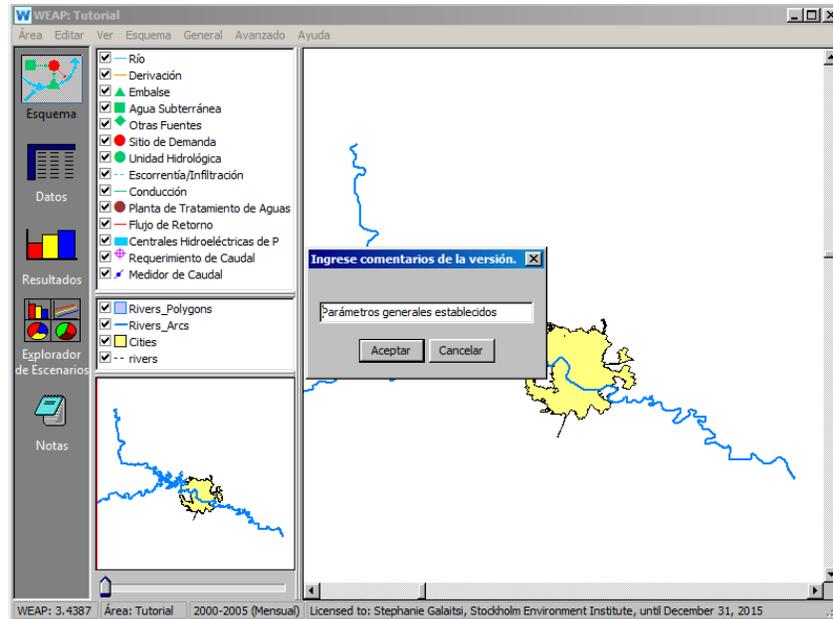
El año 2000 servirá como el año de “Cuenta Corriente” para este proyecto. El año de Cuenta Corriente se elige para servir como el año base para el modelo. Toda la información del sistema (como dato de demanda y suministro) se introduce en la Cuenta Corriente. Los escenarios se construyen a partir de la Cuenta Corriente. Escenarios exploran posibles cambios en el Sistema en los próximos años posteriores al año por la Cuenta Corriente (2000 en nuestro proyecto). Hay un escenario de referencia que sirve como escenario estándar para utilizar la información de la Cuenta Corriente en los años restantes del proyecto (2000-2005 en nuestro proyecto) y permite comparaciones con otros escenarios que muestran cambios en los datos del sistema. Los escenarios serán explicados en otro módulo de este documento.

Puede cambiar las unidades (General/unidades), ahora son en SI.

## 6. Como Guardar Diferentes Versiones del Área

WEAP tiene la capacidad de guardar versiones de un modelo dentro de la misma área.

Seleccione “Guardar Versión” bajo la opción “Área” del menú principal. Una ventana aparecerá para anotar un comentario que describa la versión que irá a guardar. Escriba “Parámetros generales establecidos” y presiona “Aceptar.”



Usa “Guarda Versión” para guardar su trabajo y Área/Regresar al Versión Previa para cambiar a otra versión. Puede cambiar entre las versiones sin perder datos. WEAP creará automáticamente versiones de su modelo cada vez que lo guarde. Sin embargo, es mejor crear manualmente las versiones que quiere mantener porque WEAP eventualmente eliminar versiones automáticas, manteniendo solo unos pocos.



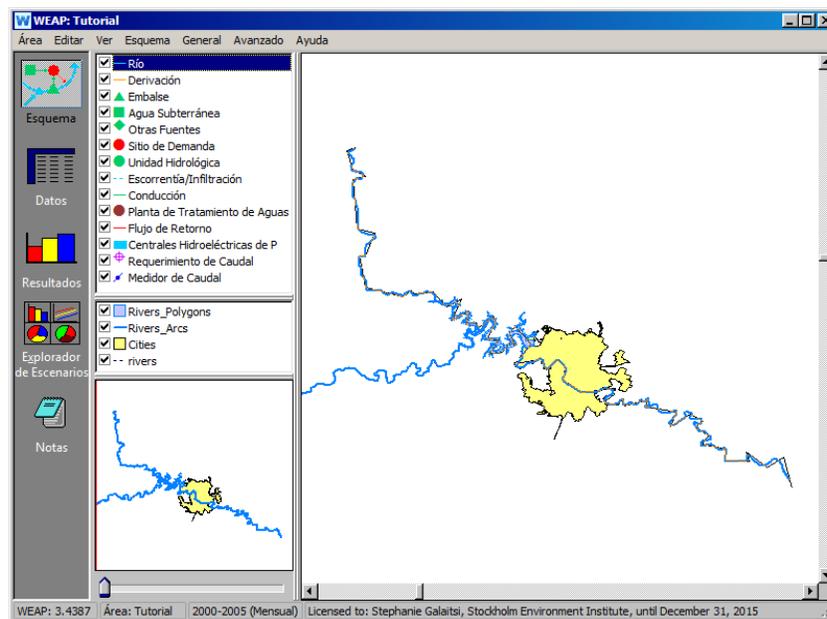
Como en otros programas, guardar su trabajo con frecuencia es una buena idea. Para cada área, WEAP gestiona todos los archivos pertenecientes para usted. Cuando guarda una nueva área, WEAP guarda automáticamente los archivos relacionados. Los archivos se guardan en la carpeta de instalación del programa WEAP. Puede gestionar las áreas usando el menú Área/Administrador de Áreas.

# Ingresar Elementos al Esquema

## 7. Dibujar un Río

En la pantalla principal, vaya a la ventana que contiene diferentes objetos. Va a dibujar un río.

*Encuentra el elemento “Río” y presione el botón izquierdo sobre la palabra “Río” y manténgalo presionado. Arrastre el cursor hasta el comienzo del río que “nace” en la parte superior derecha del mapa. Cuando este en ese punto, suelte el botón. Mueva el cursor siguiendo el contorno del río y lo presione el botón para dibujar el río. Se dará cuenta que una línea se va creando desde el cursor. Haga clic en cada vuelta del río de manera de ir creando un seguimiento de este. No debe ser perfecto.*

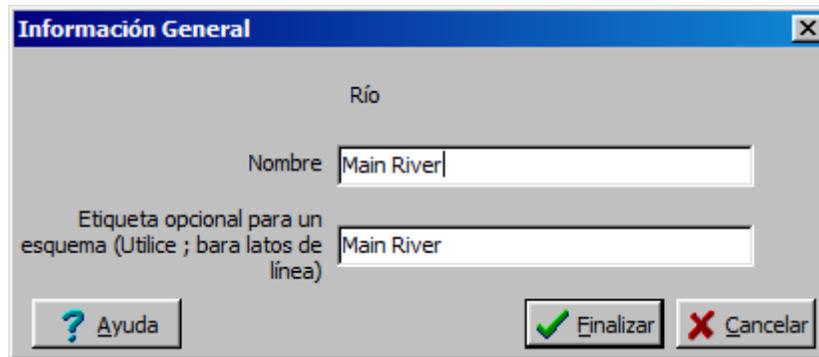


*Para finalizar este procedimiento haga doble clic en el botón izquierdo.*

Nota: La dirección del trazado es importante. El primer punto será la cabeza del río o su nacimiento desde donde fluirá el agua. El río se puede editar para corregirlo si es necesario.

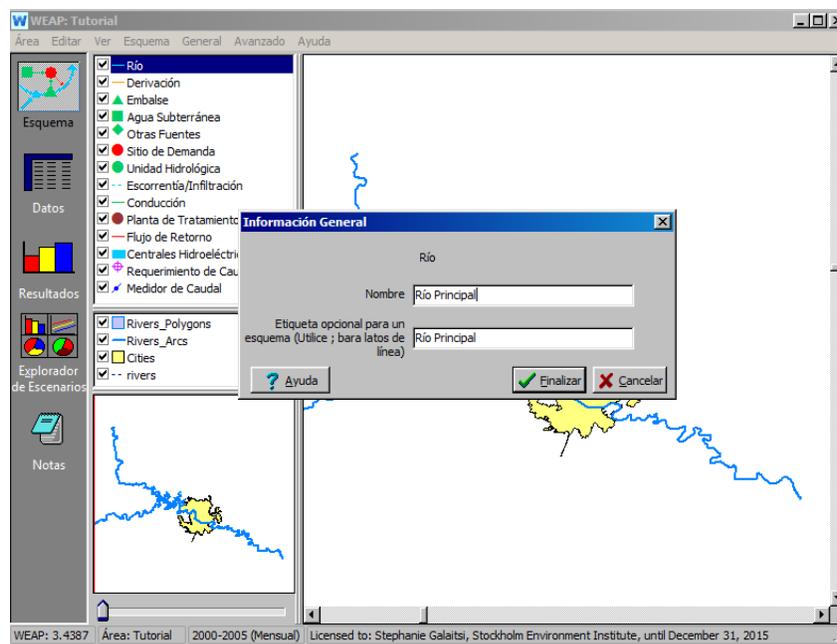
Al efectuar el doble clic aparecerá una ventana que preguntará por un nombre para el río.

*Nómbrelo Main River.*



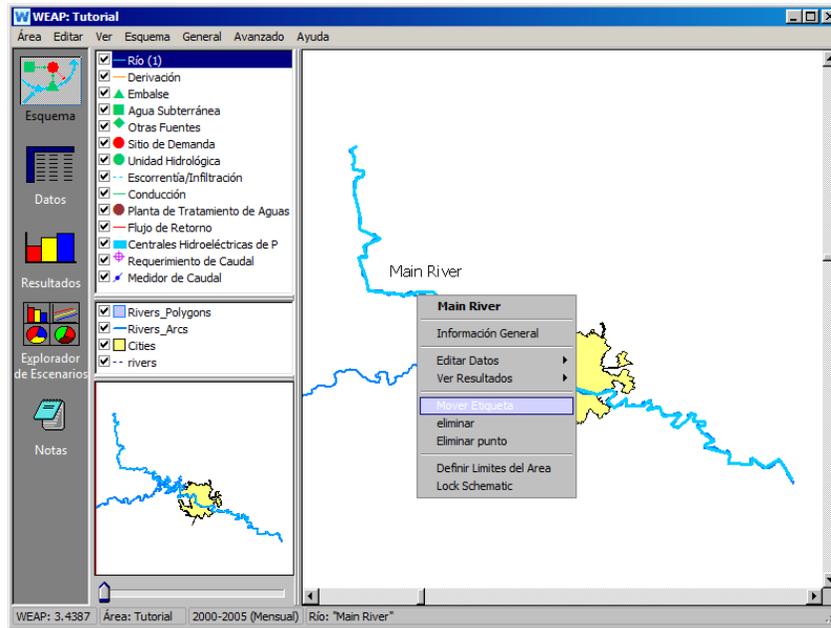
Puede nombrarlo con un nombre en español también (como Río Principal), pero cuando usará otras versiones del Tutorial, los nombres estarán en inglés. Por lo tanto, para consistencia, todos los nombres de elementos de WEAP en este Tutorial estarán en inglés.

*Después de escribir el nombre, presione “Finalizar” en la ventana.*



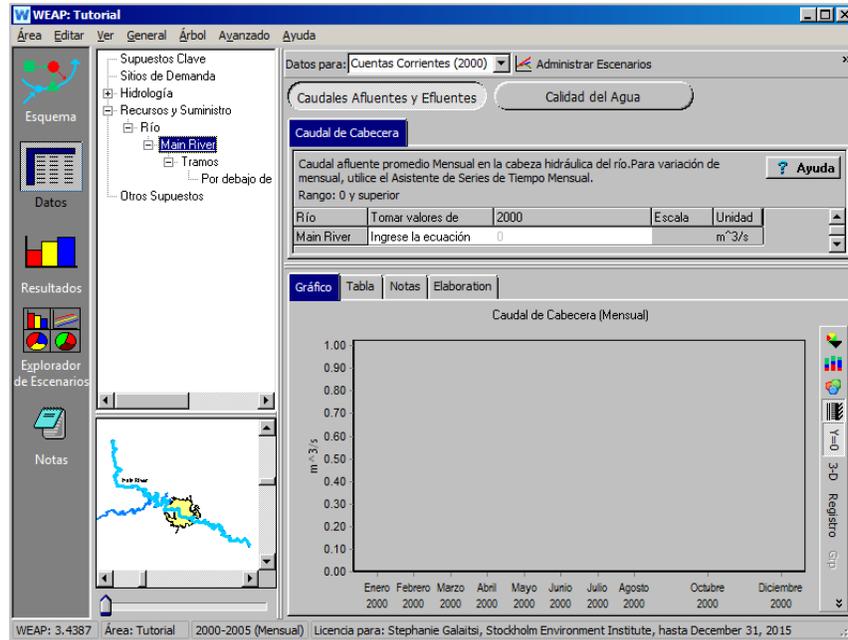
El nombre del río puede moverse si se desea.

*Presione el botón derecho del mouse con el cursor sobre cualquier parte del río. Aparecerá una ventana, escoja “Mover Etiqueta.” Al hacer clic en esta opción permite mover el nombre.*

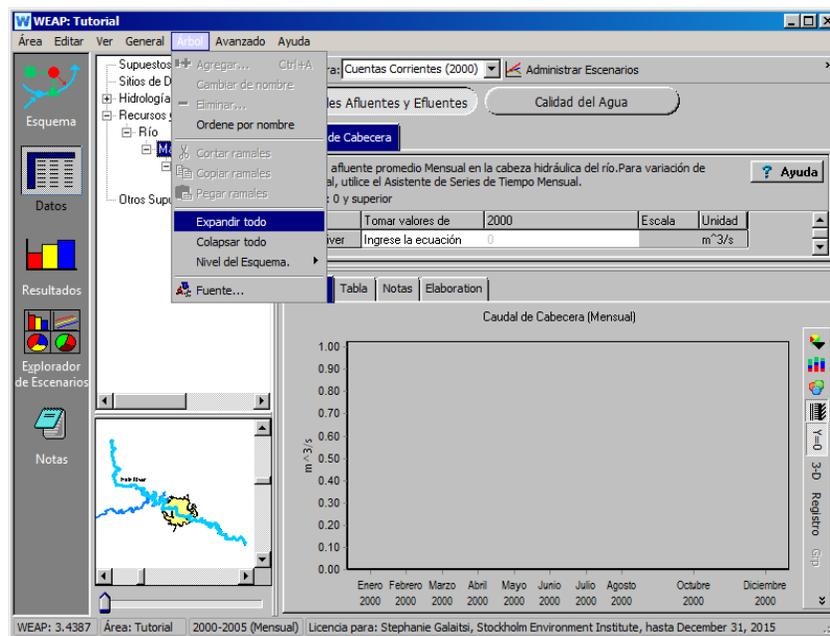


## 8. Ingresar Datos para el Río Principal (Main River)

Para editar o ingresar datos para el *Main River*, hay dos métodos. Presionar el botón derecho del mouse estando sobre el río y luego ir a la opción "Editar Datos" y escoger cualquier función dentro de la lista. La otra forma es ir a la barra de la izquierda y presionar sobre el símbolo "Datos." Seleccionar "Recursos y Suministro" del árbol de opciones que aparecerá. Luego ir a "Río" y dentro de este ir a "Río Principal." Para abrir y cerrar las ramas se debe presionar sobre el símbolo +.

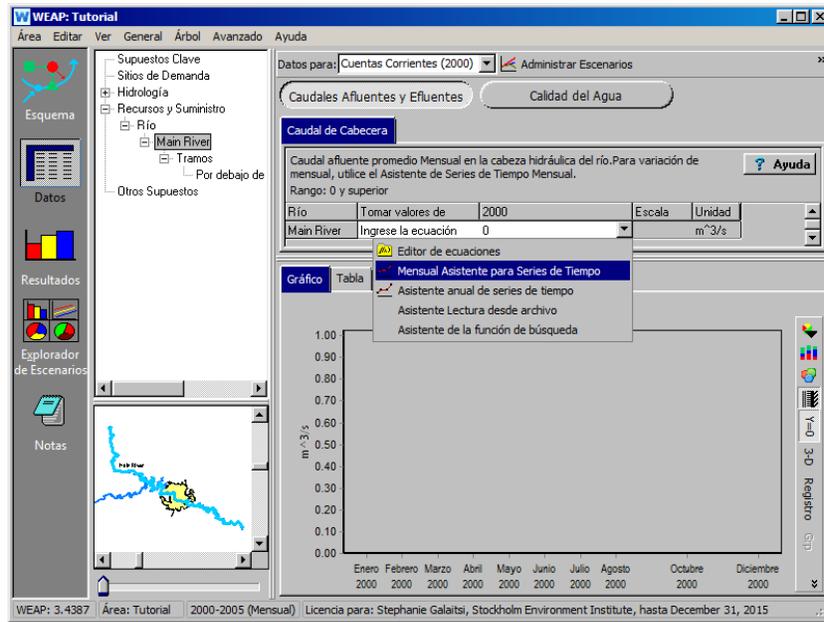


Alternativamente se puede usar la opción “Árbol” de la barra de menú en la parte superior de la pantalla y escoger “Expandir todo” para ver todas las ramas.



A la derecha de la pantalla debe aparecer la opción “Caudales Afluentes y Efluentes.”  
*Presione ese botón de manera de abrirlo. Presione “Caudal de Cabecera.” En la fila con el nombre “Río” vaya hasta el número 2000. Haga clic en el espacio blanco justo*

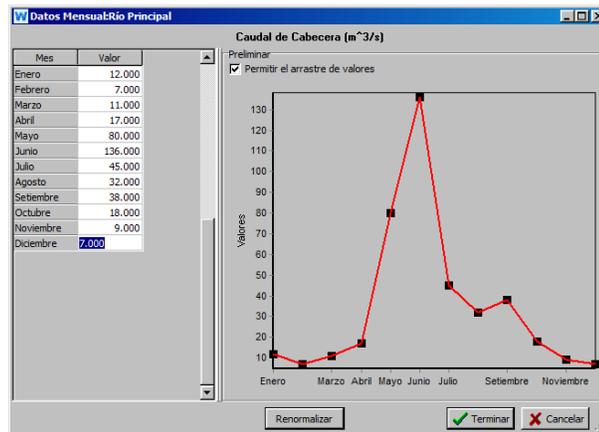
debajo de este número. Aparecerá un botón con una pequeña flecha. Presiónelo. Deberán aparecer dos opciones, escoja “Mensual Asistente para Series de Tiempo.”



Aparecerá una ventana.

Utilice esta ventana para ingresar los siguientes datos:

<i>Mes</i>	<i>Valor (m<sup>3</sup>/s)</i>
<i>Enero</i>	<i>12</i>
<i>Febrero</i>	<i>7</i>
<i>Marzo</i>	<i>11</i>
<i>Abril</i>	<i>17</i>
<i>Mayo</i>	<i>80</i>
<i>Junio</i>	<i>136</i>
<i>Julio</i>	<i>45</i>
<i>Agosto</i>	<i>32</i>
<i>Setiembre</i>	<i>38</i>
<i>Octubre</i>	<i>18</i>
<i>Noviembre</i>	<i>9</i>
<i>Diciembre</i>	<i>7</i>



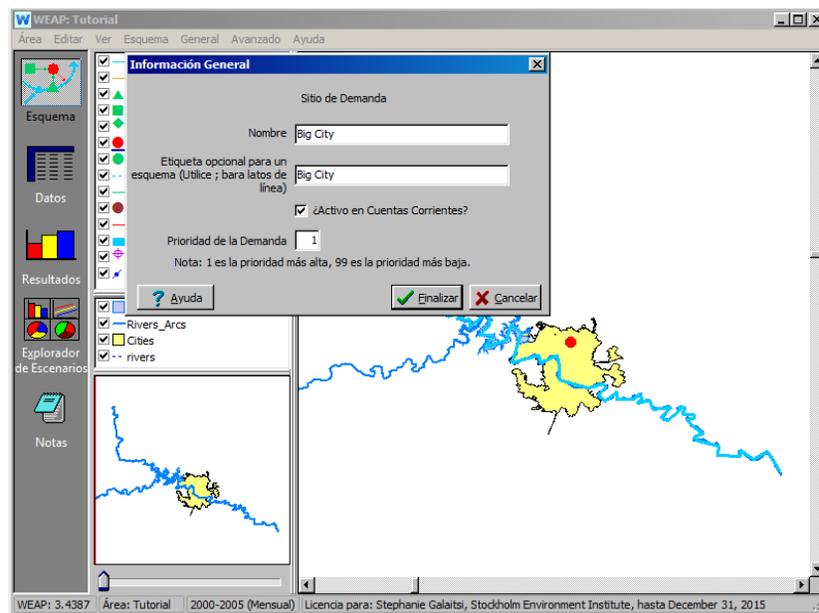
Al ingresar cada dato se generará el gráfico. No modifique otros datos aun.

Presione “Terminar” para salir de la ventana.

## 9. Crear un Nodo de Demanda Urbano e Ingresando Datos Relacionados

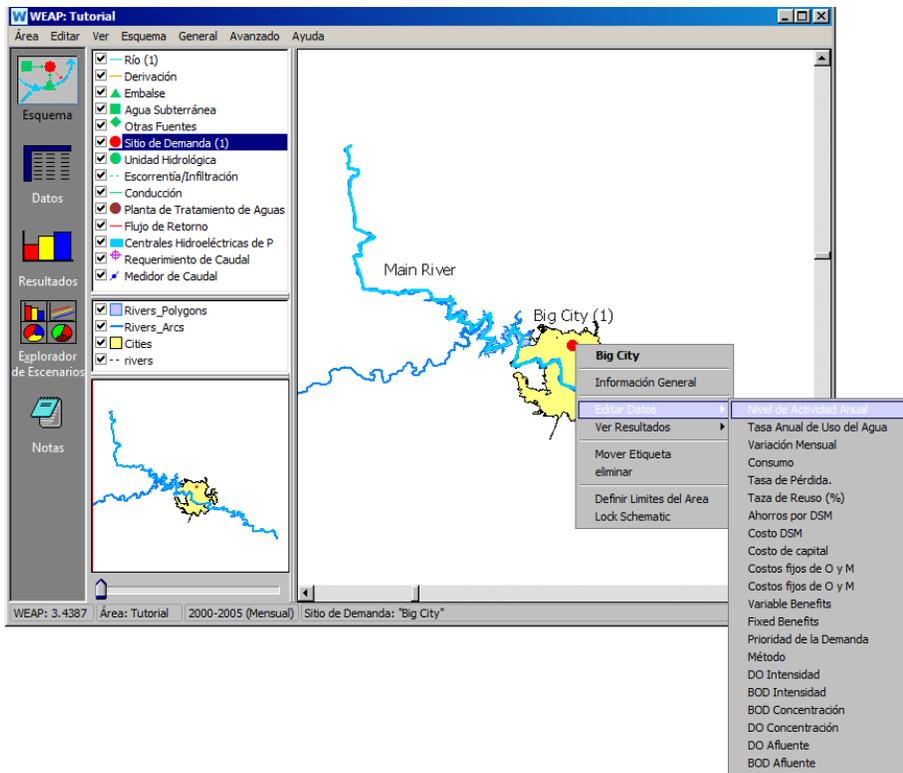
Crear un nodo de demanda es similar a crear un río.

*En la barra izquierda, regrese al modo "Esquema." De las opciones en la ventana haga clic en "Sitio de Demanda" y manténgalo presionado. Arrastre el nodo desde esta ventana de elementos y suelte dentro del área en amarillo a la derecha del río. Aparecerá una ventana solicitando nombrar este nodo. Nómbralo Big City (Gran Ciudad) y fije su prioridad como "1."*



*Presione "Finalizar."*

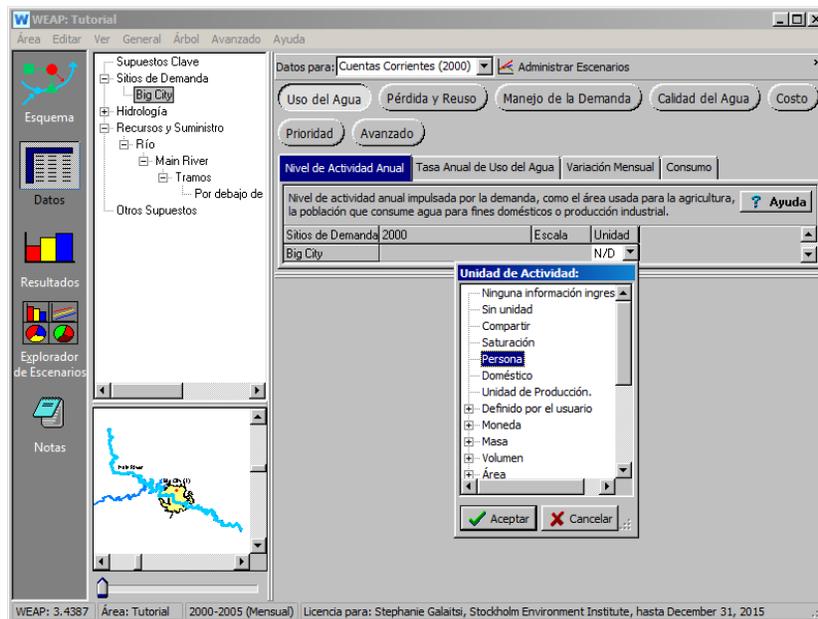
*Haga clic en el botón derecho sobre el nodo de Big City. Aparecerán unas opciones. Vaya a "Editar Datos."*



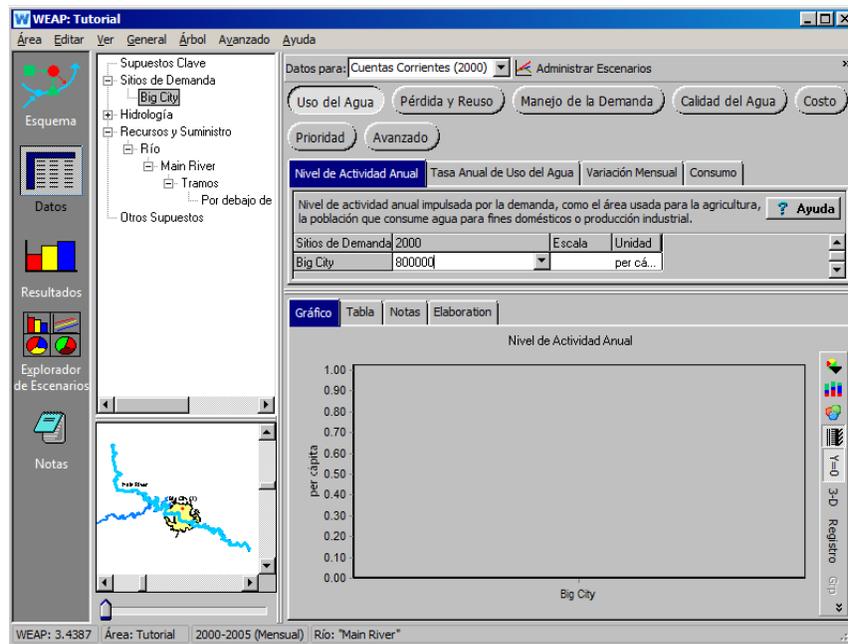
*Aquí, seleccione “Nivel de Actividad Anual.”*

Se debe seleccionar las unidades antes de ingresar cualquier otro dato.

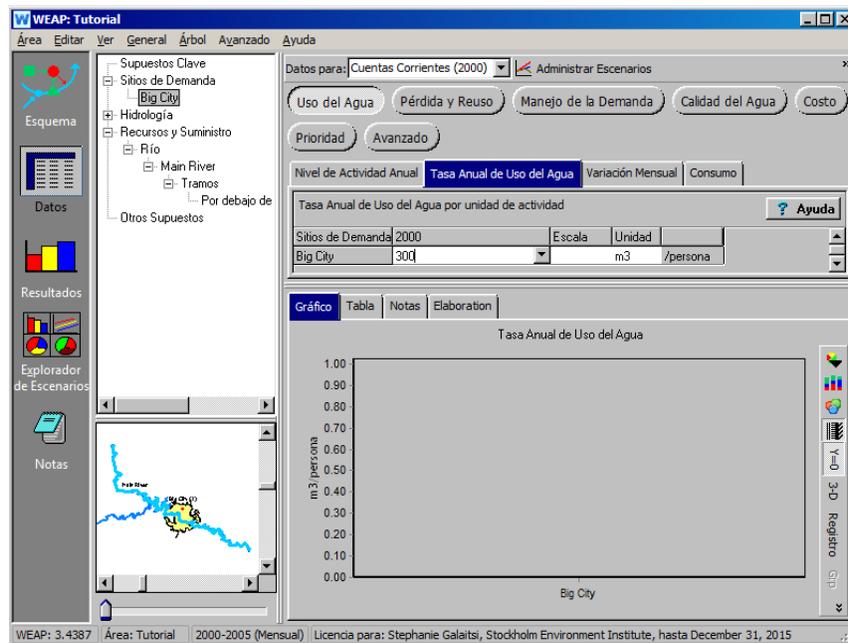
*Dentro de la carpeta “Nivel de Actividad Anual” vaya a “Unidad.” Haga clic en “N/D.” Aparecerán opciones. Escoja “Persona.” Haga clic en “Aceptar.”*



La “Unidad” mostrará “per cápita.” Bajo el número 2000 (año 2000), ingrese 800 000.



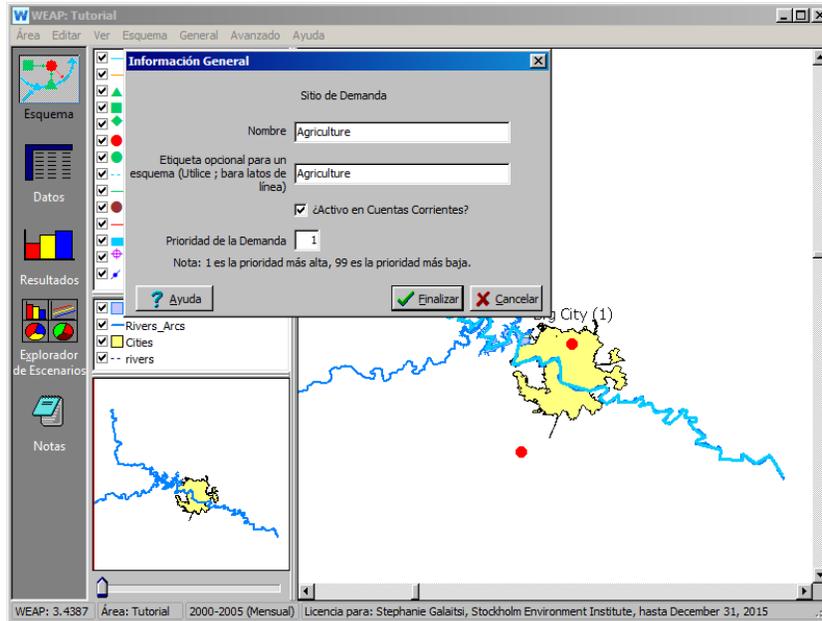
Vaya a la pestaña “Tasa Anual de Uso del Agua.” Bajo el número 2000 haga clic en la celda en blanco y anote 300.



Finalmente abra la carpeta "Consumo." Bajo el número 2000, anote el número 15. Las unidades deben ser en porcentajes, unidad que esta prefijada.

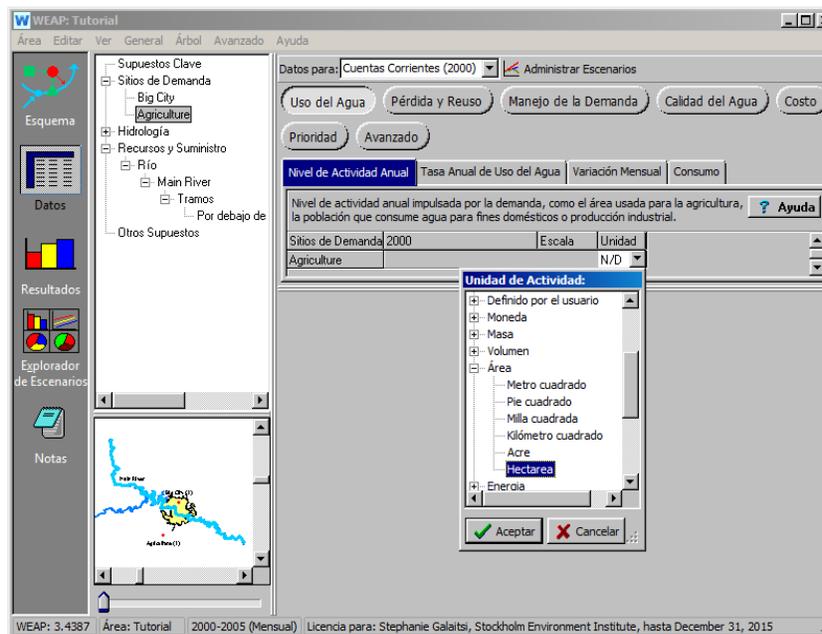
## 10. Crear un Nodo de Demanda Agrícola

En el formato "Esquema", haga clic nuevamente en la opción "Sitio de Demanda." Araste el cursor presionando el botón izquierdo y ubíquelo debajo del área amarilla al otro lado de la ubicación de Big City respecto del río. Nómbralo "Agriculture" y fije su prioridad en 1.



*Presione sobre el símbolo “Datos” en la barra izquierda y encuentra Agriculture en el árbol de datos bajo Sitios de Demanda. De igual manera que como se hizo para la “Gran Ciudad”, ingresará los datos en “Nivel de Actividad Anual” y “Tasa Anual de Uso del Agua.”*

*Dentro de las unidades en la carpeta “Unidad de Actividad:” expande “Área” y seleccione “Hectárea.”*

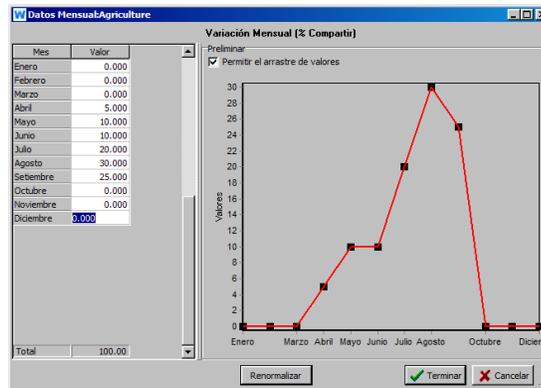


Bajo el número 2000 ingrese:

En “*Nivel de Actividad Anual*”                    **100 000**            *ha*  
 En “*Tasa Anual de Uso del Agua*”            **3 500**                    *m³/ha*

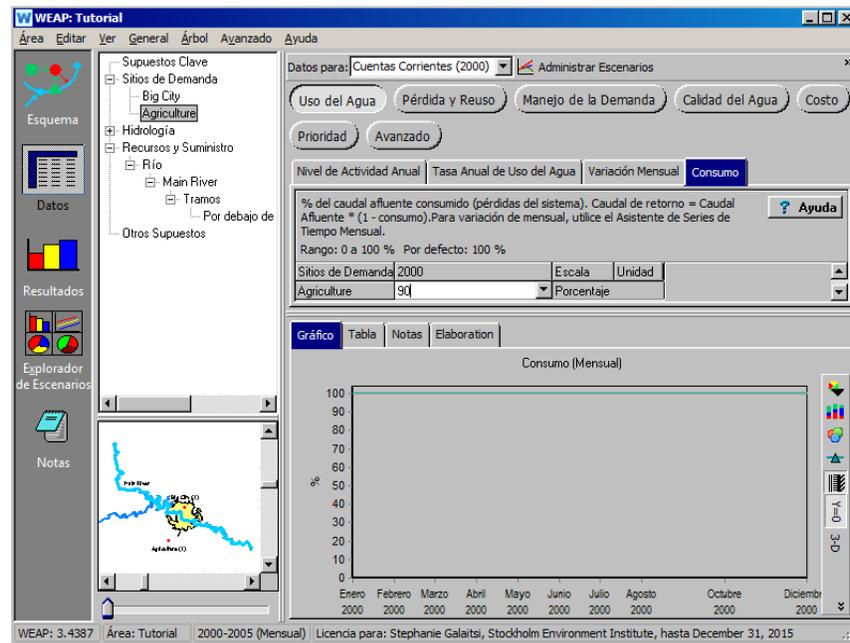
Luego, seleccione la carpeta “*Variación Mensual*”, y bajo el número 2000 haga clic. Deberán aparecer dos opciones, escoja y escoja “*Mensual Asistente para Series de Tiempo*” e ingrese los siguientes datos:

<i>Mes</i>	<i>Valor (%)</i>
<i>Enero</i>	<b>0</b>
<i>Febrero</i>	<b>0</b>
<i>Marzo</i>	<b>0</b>
<i>Abril</i>	<b>5</b>
<i>Mayo</i>	<b>10</b>
<i>Junio</i>	<b>10</b>
<i>Julio</i>	<b>20</b>
<i>Agosto</i>	<b>30</b>
<i>Setiembre</i>	<b>25</b>
<i>Octubre</i>	<b>0</b>
<i>Noviembre</i>	<b>0</b>
<i>Diciembre</i>	<b>0</b>



(Porque la unidad es porcentaje, los números deben sumar a 100%).

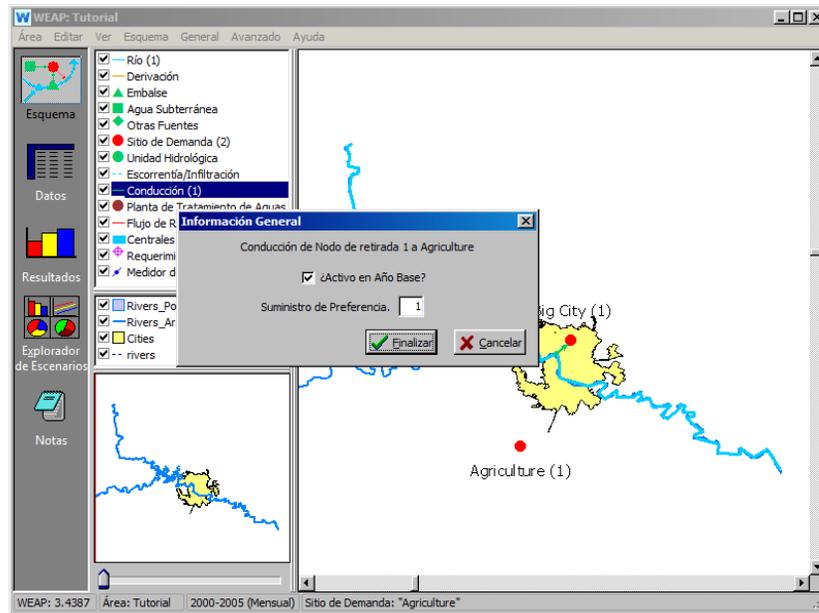
Haga clic en “*Terminar.*” Finalmente en la carpeta de “*Consumo,*” anote 90 porcentajes.



## 11. Conectar la Demanda con el Suministro

Ahora debemos decirle a WEAP cuanta demanda es satisfecha; esto se lleva a cabo conectando o relacionando el suministro del recurso a cada nodo de demanda.

*Regrese al formato "Esquema" y cree dos conducciones, una desde el río hasta Big City y otra desde el río hasta Agriculture. Haga esto arrastrando el cursor seleccionando "Conducción" primero posicionándolo sobre el río y luego soltándolo sobre el nodo. Hágalo primero para Big City Haga doble clic para finalizar la conexión. Lo mismo para Agriculture. Defina las preferencias como "1" para ambos.*

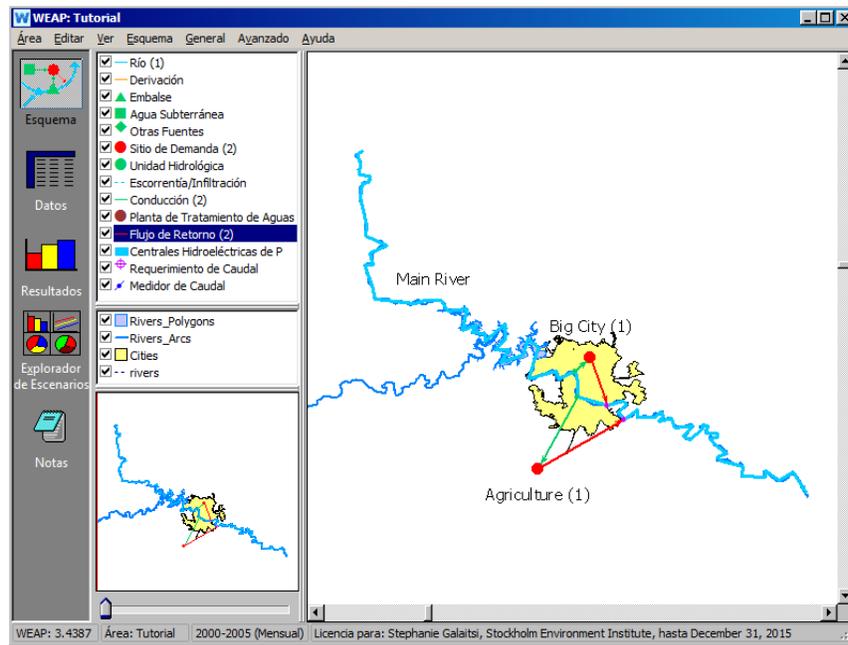


## 12. Crear Flujos de Retorno

Ahora crearemos una conexión de flujo de retorno desde la ciudad y desde el área de agricultura.

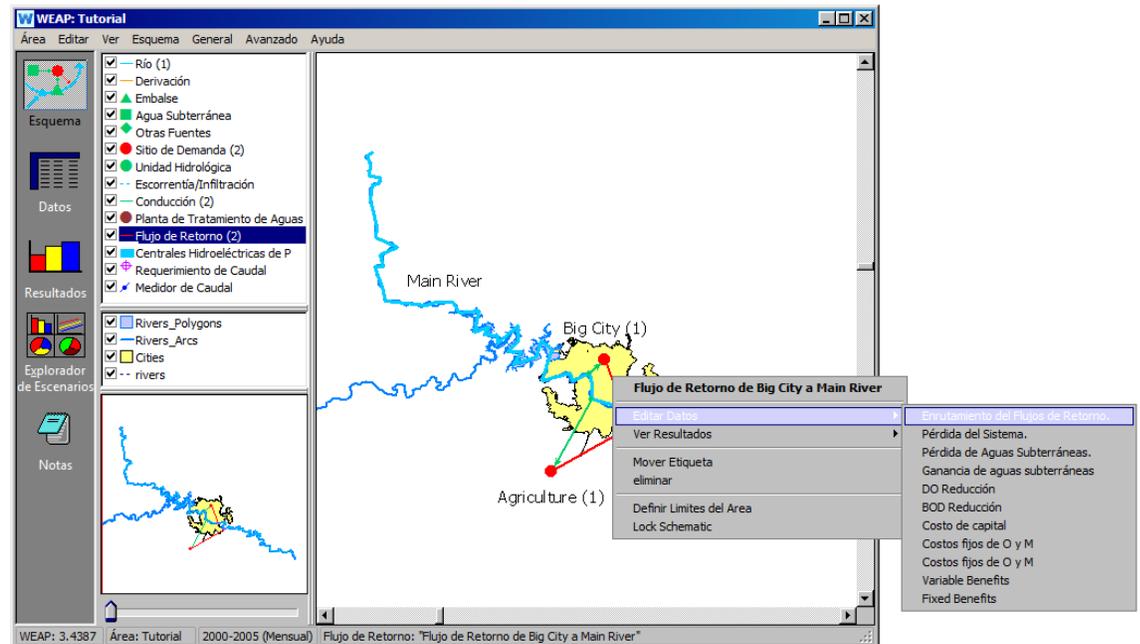
*Haga lo mismo que se realizó antes con la opción "Conducción", pero escogiendo "Flujo de Retorno."*

El retorno de la demanda urbana debe estar aguas abajo del punto de extracción de agua del nodo de agricultura. En la dirección del flujo de agua del río la secuencia debe ser: extracción de agua para la ciudad, extracción para la agricultura, retorno de agua de la ciudad, retorno del nodo de agricultura.

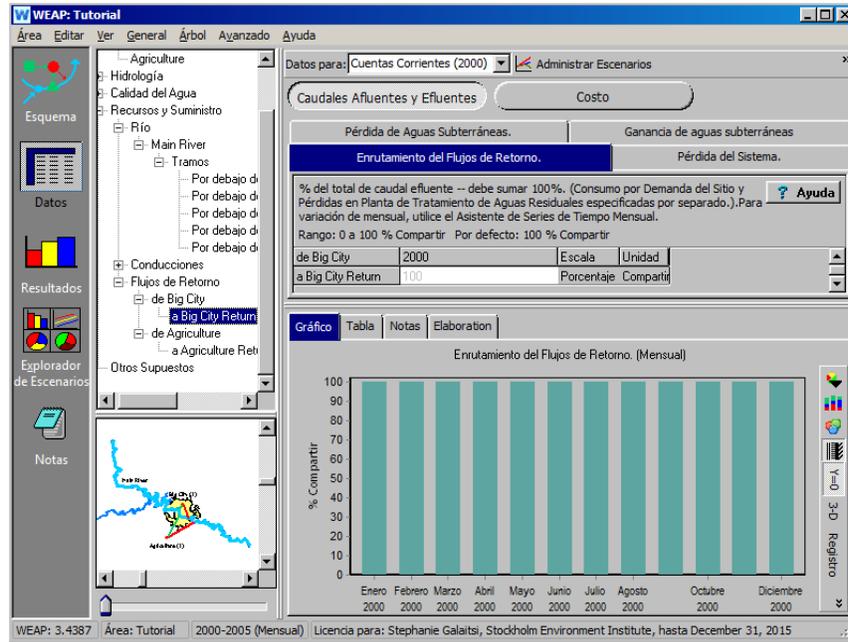


Lo siguiente es definir el “Enrutamiento de Flujos de Retorno” para la ciudad y su flujo de retorno (“Flujo de Retorno”).

*Por el flujo de retorno de Big City, haga esto presionando el botón derecho del mouse con el cursor sobre la línea de retorno y seleccionando “Editar Datos” y luego “Enrutamiento del Flujos de Retorno.”*



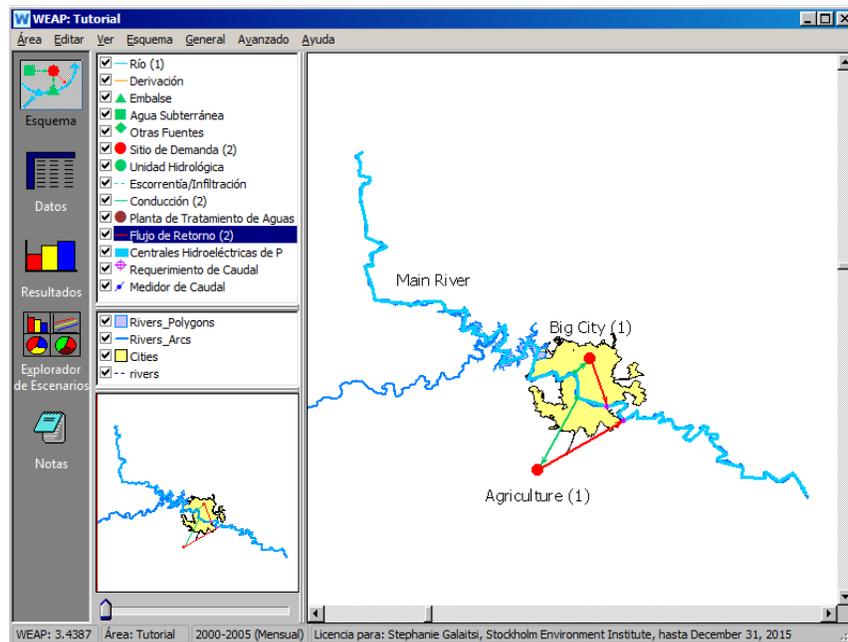
*Defina en la carpeta de “Enrutamiento de Flujos de Retorno” a 100 %.*



*Se hace lo mismo para Enrutamiento de Flujos de Retorno el nodo de agricultura (100%).*

### 13. Revisar su Modelo

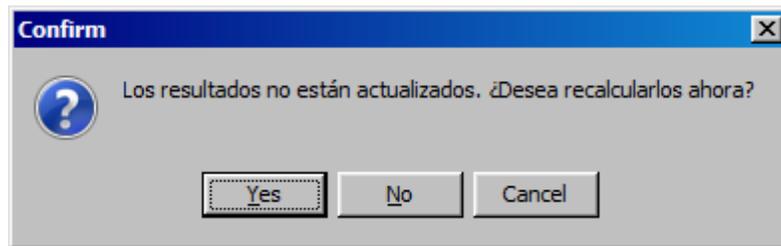
A esta altura, nuestro modelo debería verse similar a la figura siguiente:



# Los Primeros Resultados

## 14. Ejecutar el Modelo

*En la barra vertical a la izquierda de la pantalla, presione sobre el símbolo de "Resultados" para comenzar a computar los datos. Cuando aparezca la ventana consultando si se desea recalcular, clic en "Yes."*



Esto permite computar todo el modelo. Cuando está listo, una tabla de resultados aparecerá en pantalla.

## 15. Revisar los Resultados

*En la barra en la parte superior izquierda de la pantalla, clic en "Tabla" y seleccione "Demanda" y en este seleccione "Demanda de Agua."*

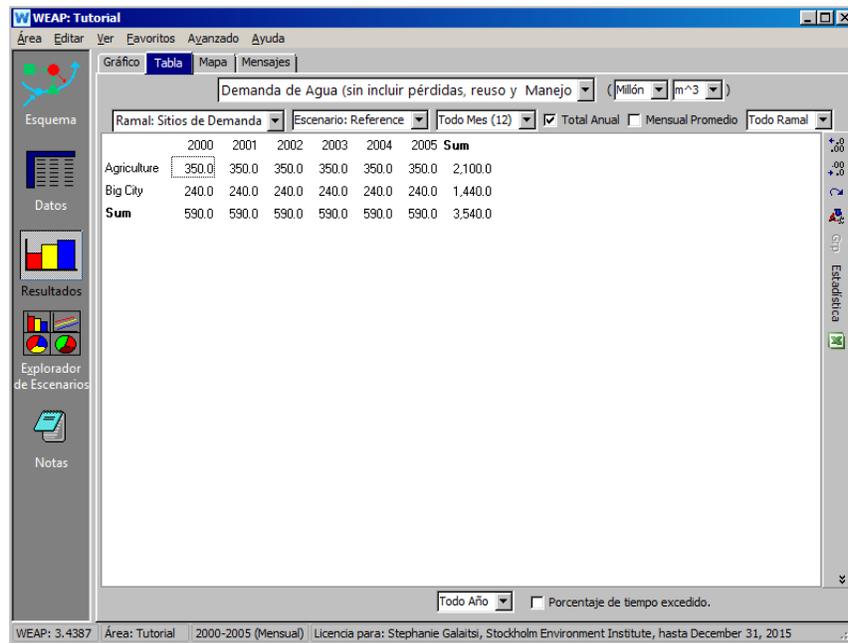
Demanda de Agua (sin incluir pérdidas, reuso y Manejo)		Millón m <sup>3</sup>				
		Total Anual	Mensual Promedio			
			Junio 2000	Julio 2000	Agosto 2000	Setiembre
Ramal: Sitios de Demanda	Demanda de Agua					
	Requerimiento de Suministro					
	Suministro Entregado					
Agriculture	Demanda no Cubierta	0	35.0	70.0	105.0	
	Cobertura	4	19.7	20.4	20.4	
Big City	Confiabilidad	4	54.7	90.4	125.4	
	Caudales Afluentes y Efluentes del Sitio de Demanda					
	Requerimiento de Caudal de Corriente					
	Requerimiento de Caudal de Corriente Entregado					
	Requerimiento de Caudal de Corriente Insatisfecho					
	Cobertura Requerida del Caudal de Corriente					
	Confiabilidad del Requerimiento de Flujo					
	<b>Sum</b>					

*También, a la parte superior central-derecha de la pantalla, seleccione la casilla de "Total Anual."*

Si se ingresaron todos los datos correctamente, Ud. deberá ver los siguientes datos iguales para el periodo 2000 – 2005:

***Demanda anual para Agriculture 350 M m<sup>3</sup>***

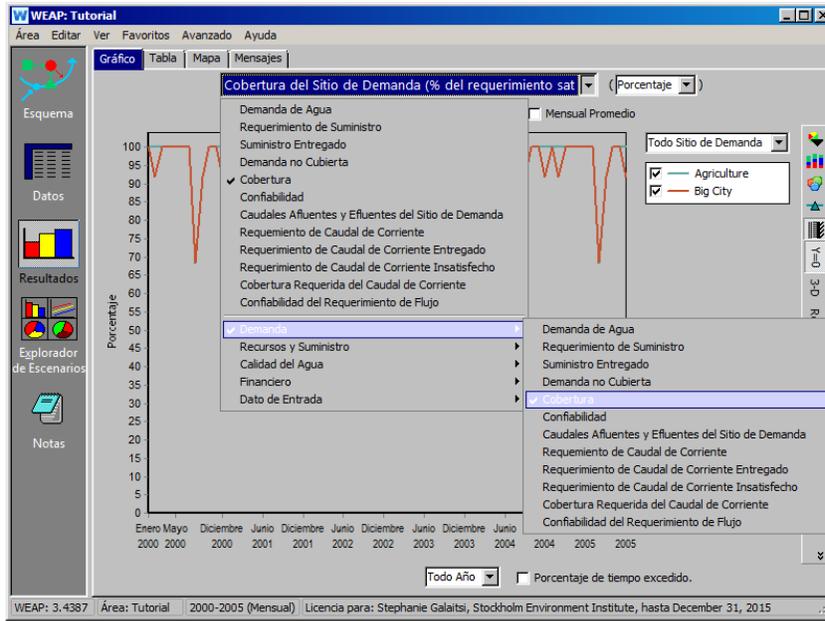
***Demanda anual para Big City 240 M m<sup>3</sup>***



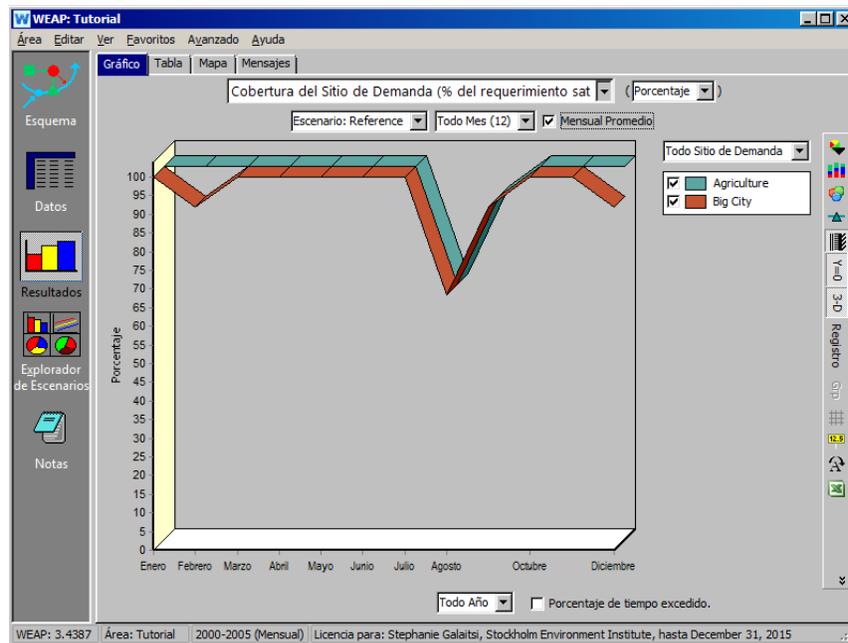
Nota: si no tiene los mismos resultados, vuelva atrás y revise que todos los datos estén correctos. Si al correr los resultados el programa le muestra una ventana con advertencia, lea cuidadosamente el mensaje pues en él puede estar indicado el lugar del error.

## 16. Revisar Resultados Adicionales

*Clic en "Gráfico" en la barra superior. En el menú, veamos la Demanda/Cubertura en forma gráfica.*



*Elija el formato del gráfico seleccionando la opción 3-D al lado derecho de la pantalla. Asegúrese que “Todo Mes” esta seleccionado del menú. Mantenga la opción “Mensual Promedio” seleccionada. El gráfico debería verse como el siguiente:*



---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Herramientas Básicas

*Un tutorial para*

*Crear y Usar Supuestos Claves .....40*

*Utilizar el Editor de Ecuaciones .....44*

**noviembre de 2023**



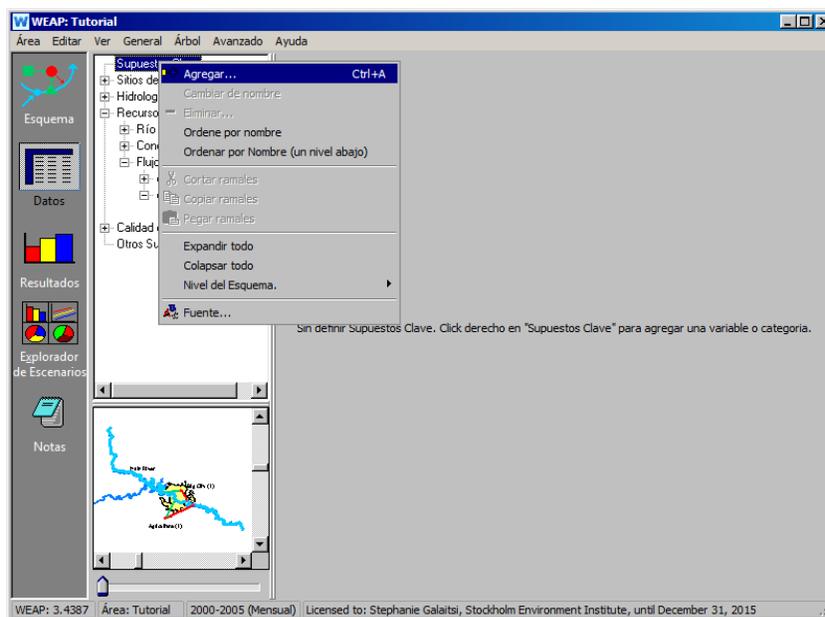
**Note:**

Para comenzar esta lección, en el menú principal seleccionar “Regresar al Versión Previa” y escoja la versión llamada “Starting Point for ‘Basic Tools’ module.”

# Crear y Usar Supuestos Claves

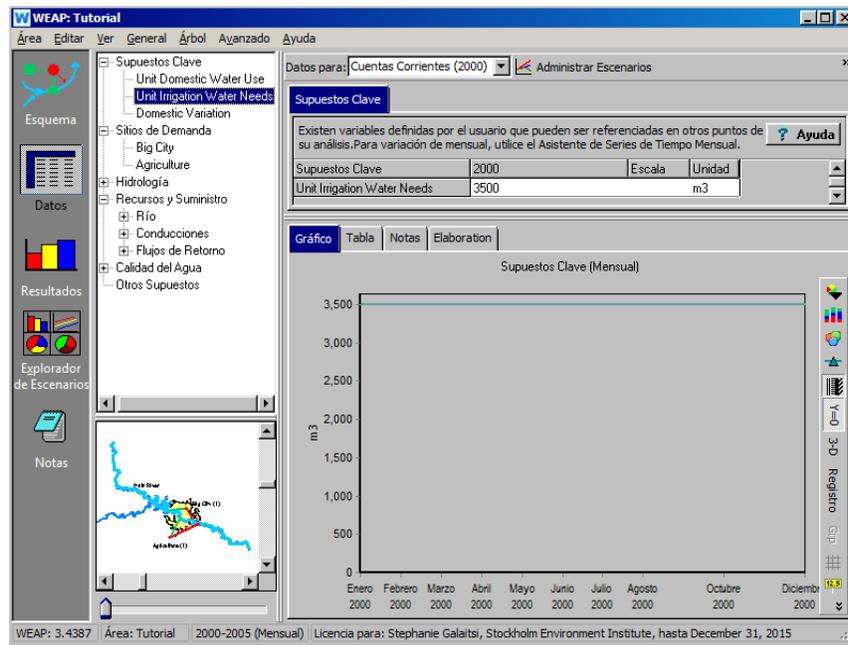
## 1. Utilizar Supuestos Claves

Para crear supuestos clave, clic en el símbolo “Data” y luego presione el botón derecho del mouse en la opción “Supuestos Clave” localizado en el árbol de opciones correspondiente. Seleccionar “Agregar.”



Crear y nombrar los siguientes supuestos. Asegúrese de que las unidades estén correctas ( $m^3$  es baja “volumen”). Los nombres son en inglés para la consistencia con otras versiones en la tutorial.

<i>Nombre</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
<i>Unit Domestic Water Use</i>	<i>300</i>	<i><math>m^3</math></i>
<i>Unit Irrigation Water Needs</i>	<i>3500</i>	<i><math>m^3</math></i>

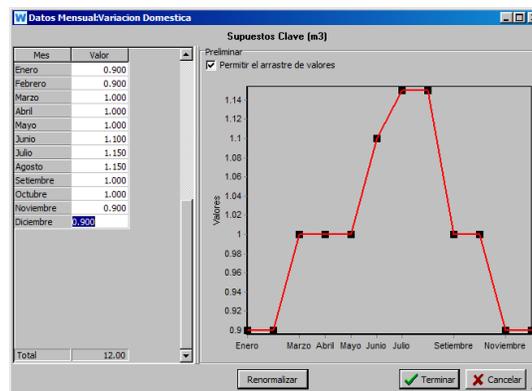


Con “Supuestos Clave,” es importante que las unidades designadas a cada supuesto sean las mismas que las definidas a lo en otra parte del árbol de datos.

*Cree un tercero supuesto, “Domestic Variation.” Esta no tiene unidades (“sin unidad” en el menú). Utilice la opción “Mensual Asistente para Series de Tiempo” para ingresar los datos:*

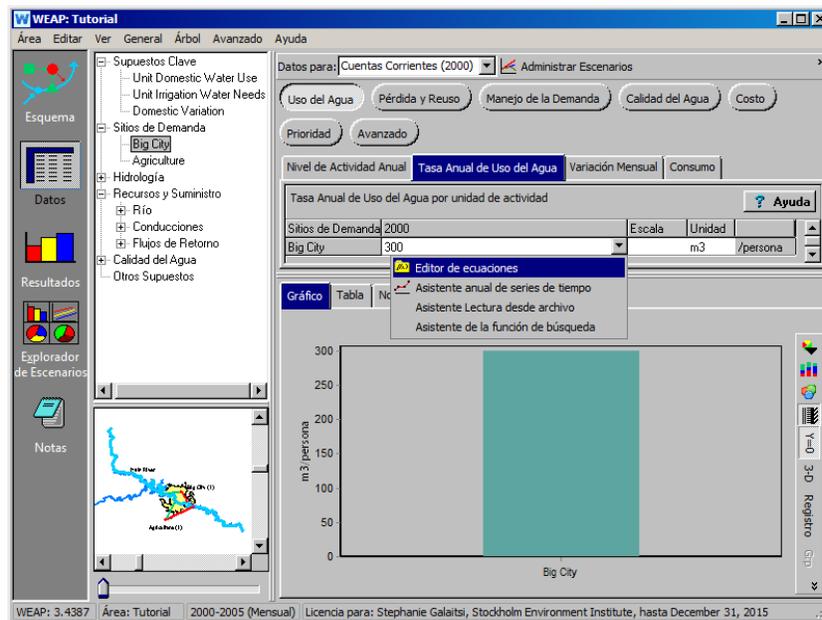
*Aparecerá una ventana. Utilice esta ventana para ingresar los siguientes datos:*

<i>Mes</i>	<i>Valor</i>
<i>Enero</i>	<i>0.9</i>
<i>Febrero</i>	<i>0.9</i>
<i>Marzo</i>	<i>1.0</i>
<i>Abril</i>	<i>1.0</i>
<i>Mayo</i>	<i>1.0</i>
<i>Junio</i>	<i>1.1</i>
<i>Julio</i>	<i>1.15</i>
<i>Agosto</i>	<i>1.15</i>
<i>Setiembre</i>	<i>1.0</i>
<i>Octubre</i>	<i>1.0</i>
<i>Noviembre</i>	<i>0.9</i>
<i>Diciembre</i>	<i>0.9</i>

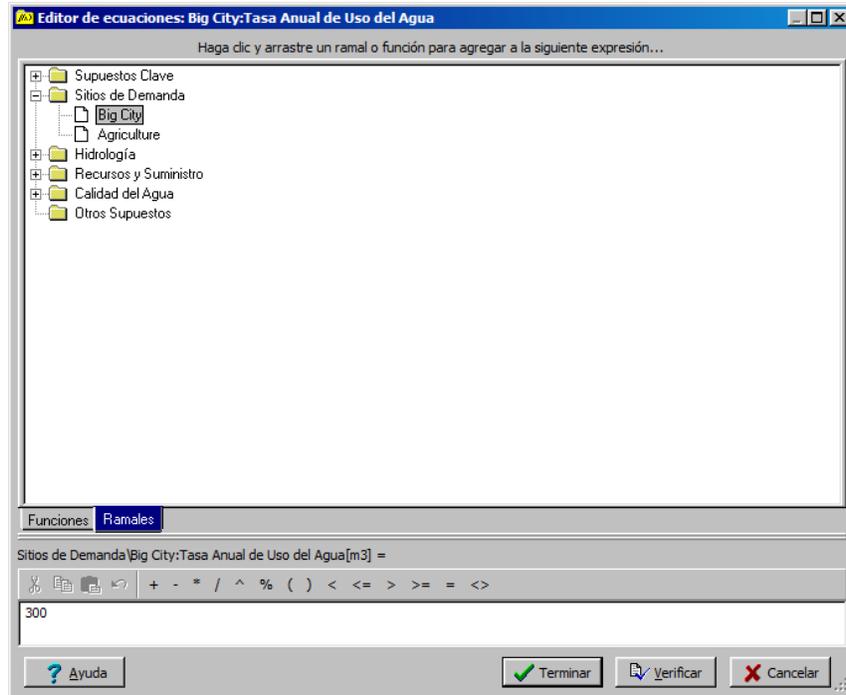


## 2. Crear Referencias a los Supuestos Clave

Crear una referencia a los supuestos clave para “Tasa Anual de Uso del Agua” en Big City. Para hacer esto, vaya a “Tasa Anual de Uso del Agua” y debajo del año 2000 haga clic y seleccionar Editor de ecuaciones.



Dentro de este, clic sobre la carpeta “ramales” en la barra hacia la parte inferior de la pantalla.



Aparecerá un árbol de opciones en la parte superior.

*Expanda todo si es necesario. En la opción "Supuestos Clave," arrastre la suposición "Unit Domestic Water Use" y llévela hasta el cuadro inferior. Si el número 300 sigue ahí, bórralo. Solo debe quedar "Key\Unit Domestic Water Use." Clic en "Terminar."*

*Repita para la rama de Agriculture. Reemplace el valor 3500 en "Tasa Anual de Uso del Agua" con "Key\Unit Irrigation Water Needs." Clic "Terminar." Presione en el símbolo "Resultados" y escoja "Yes" en la ventana que aparezca. Haga clic en "Tabla" y el menú Demanda/Demanda de Agua, y el "Total Anual," como antes. Deberá tener los mismos resultados de cada año que antes.*

***Annual demand for agriculture    350 M m3***

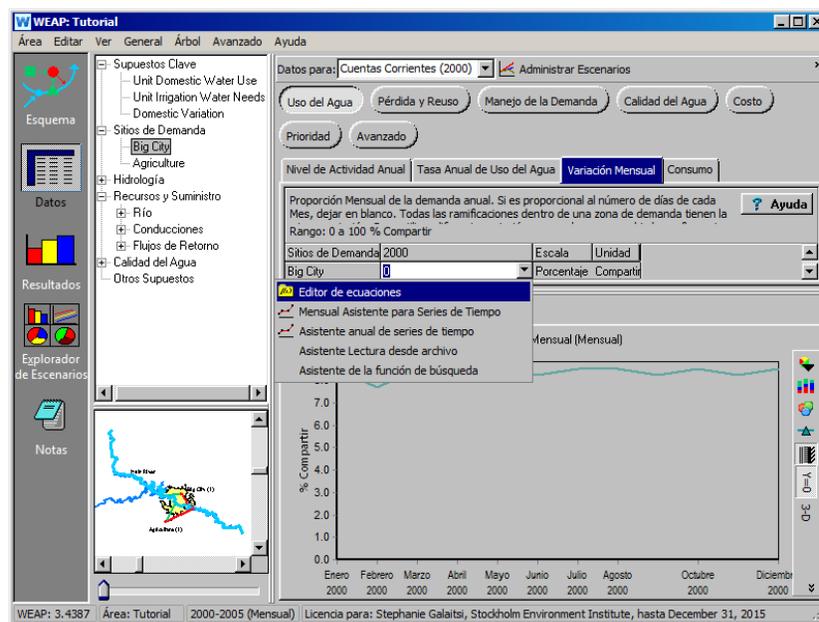
***Annual demand for urban area    240 M m3***

# Utilizar el Editor de Ecuaciones

## 3. Crear Ecuaciones Matemáticas

Ahora alteraremos la variación mensual en la demanda de agua para *Big City* usando una expresión matemática.

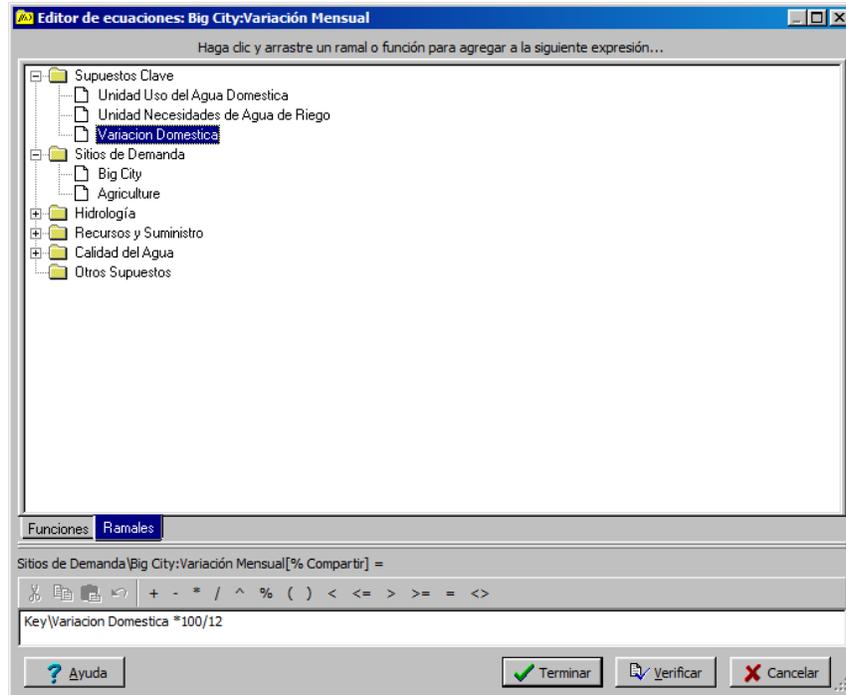
*En “Datos”, haga clic en “Variación Mensual” dentro de Big City y escoja la opción Editor de ecuaciones en la celda debajo del número 2000.*



*En la ventana de Editor de Ecuaciones, clic en la carpeta “Ramales”, expanda los Supuestos Claves, y clic y arrastre la opción “Variación Domestica” hasta el recuadro inferior. Agregue a continuación “\*100/12”. El recuadro deberá contener la siguiente expresión:*

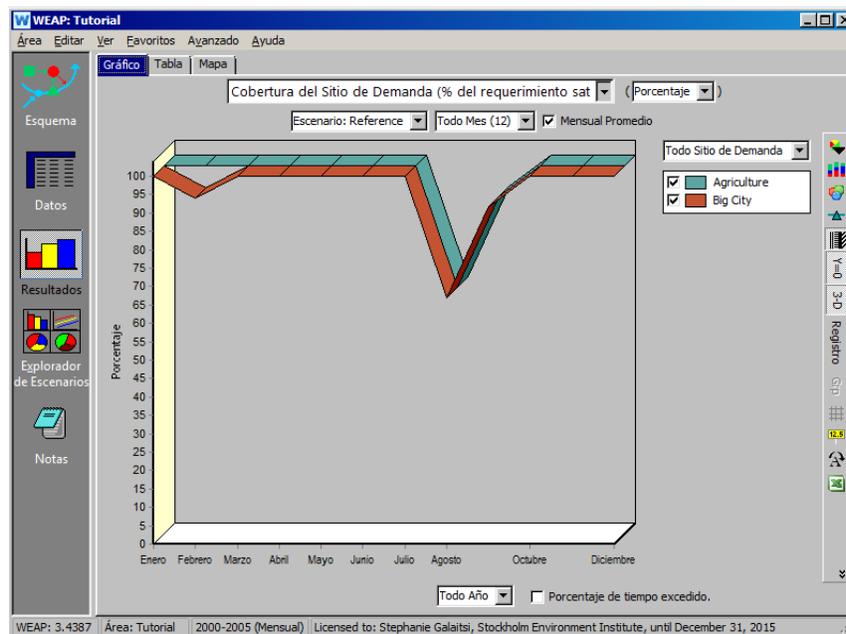
$$\text{Domestic Variation} * 100 / 12$$

*Si aparece un error, vuelva a teclear lo mismo, pero ahora escoja “Verificar” y luego “Terminar.”*



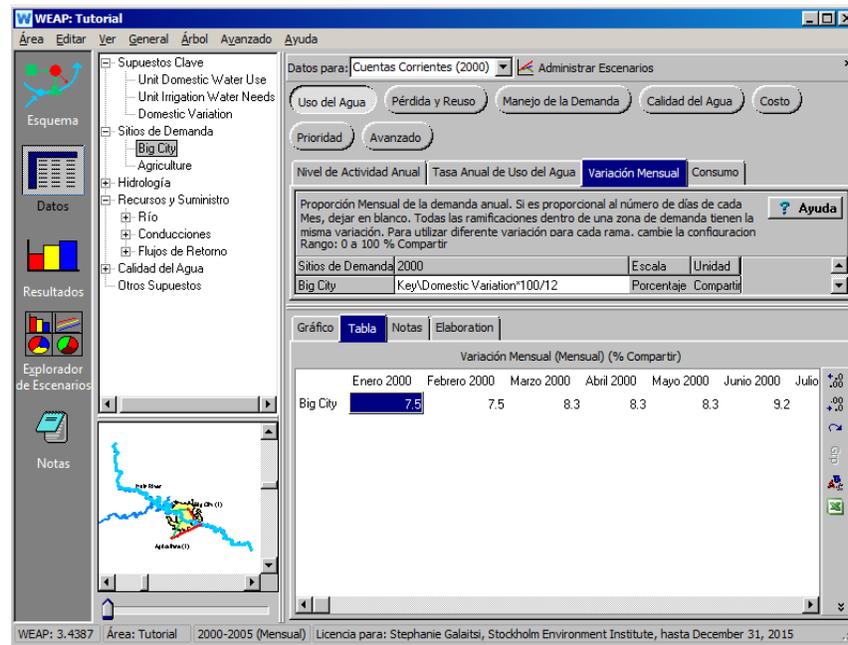
Observe los nuevos resultados después de efectuar estos cambios.

*Clic en el símbolo “Resultados” y “Yes” para re-calcular. (En “Gráfico”, Demanda/Cobertura, y “Mensual Promedio”). Deberá tener los siguientes resultados:*



Note que ahora no hay demandas no cumplidas en diciembre para *Big City* porque la fracción para demanda en diciembre decreció de 8.5% (derivado de la cantidad de

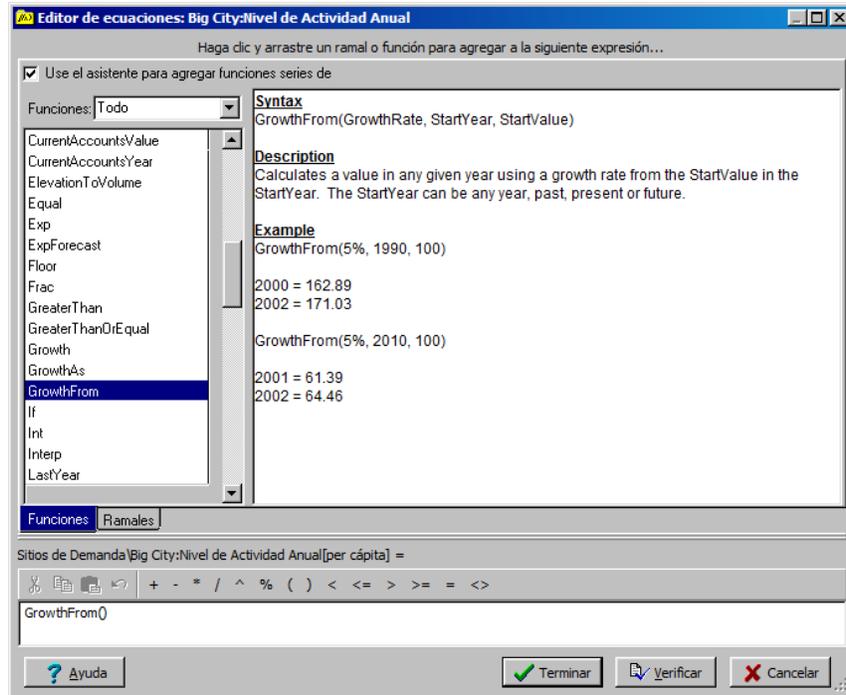
días en el mes) a 7.5% (basada en la expresión utilizando en la supuesta clave “Domestic Variation”). Ud. puede revisar valores numéricos calculados en “Variación Mensual” en la expresión matemática seleccionando “Tabla” en el ingreso de datos en la parte inferior de la ventana.



## 4. Utilizar Funciones Integradas en el Programa

Asumiremos que la población de “Big” no es conocida (en el año 2000), pero si para el último censo y su crecimiento estimado. Usando una función predefinida, tal como “GrowthFrom” (“creciendo desde”), se puede calcular la población actual.

*Se hace esto seleccionando Big City y luego “Nivel de Actividad Anual” y dentro de esta, escoger Editor de ecuaciones bajo el numero 2000 (Deberá aparecer un valor fijo 800000). En la carpeta “Funciones” del Editor de ecuaciones, escoger “GrowthFrom.” Aquí aparecerán una descripción y ejemplos. Elimine el valor 800000 y de clic en “GrowthFrom” y arrástrelo hasta el recuadro inferior.*



Ingrese los siguientes datos en la expresión utilizando el formato definido en la descripción:

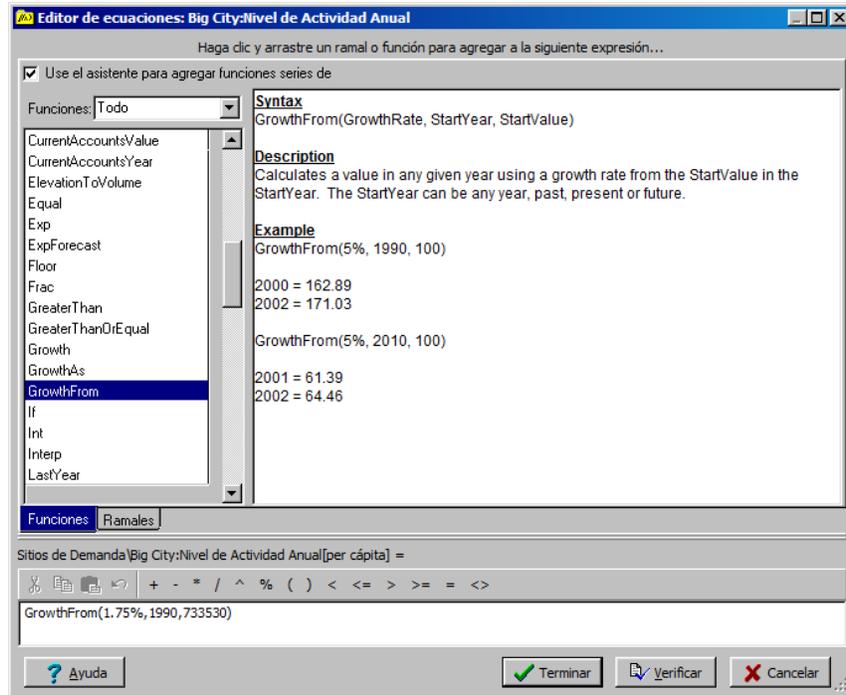
<b>Año del último censo</b>	<b>1990</b>
<b>Populación del último censo</b>	<b>733,530</b>
<b>Tasa de crecimiento (estimada)</b>	<b>1.75%</b>

Teclee los datos siguiendo el formato de la expresión:

***GrowthFrom(1.75%, 1990, 733530)***

Si usted tiene problemas con la expresión GrowthFrom, es probable que sea debido a diferencias de sintaxis de números internacionales. Usted puede intentar las siguientes opciones:

1. utilizar 2% o 175/100% en vez de 1.75%,
2. utilizar GrowthFrom(1,75%; 1990; 733350) o GrowthFrom(1.75%; 1990; 733350)
3. en el Area del tutorial, abrir la versión "Answer Key for Basic Tools Module" para revisar el sintaxis de la expresión
4. escribir la expresión matemática :  $733530 * (1 + 175/10000)^{(Year-1990)}$
5. en settings de su computadora, cambiar la representación de decimales y separación de listas



*Presione "Terminar."*

---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Escenarios

*Un tutorial para*

*Preparando el Terreno Para los Escenarios .....50*

*Crear Escenarios de Referencia.....52*

*Crear y Ejecutar Escenarios.....57*

*Usar el Método Año-Agua.....61*

**noviembre de 2023**



**Note:**

Para comenzar este módulo, desde al menú principal seleccionar “Regresar a Versión Previa” y escoger la versión llamada “Starting Point for ‘Scenarios’ module.”

# Preparando el Terreno Para los Escenarios

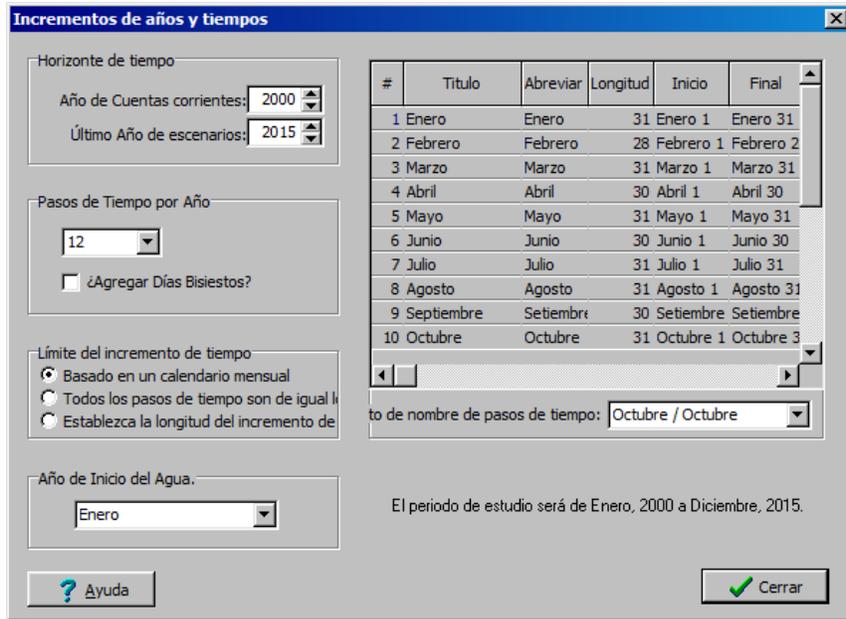
## 1. La Estructura de Escenarios en WEAP

En WEAP, el típico escenario de modelación consiste en tres pasos. Primero, “Cuentas Corrientes” o años concurrentes son escogidos para servir de año base del modelo; se han ingresado en las lecciones anteriores en los modelos previos en “Cuentas Corrientes.” Una “Referencia” o escenario de referencia, es establecida de “Cuentas Corrientes” para simular evoluciones del sistema sin intervenir. Finalmente, escenarios que piden “que va a ocurrir si..?” pueden ser creados para alterar el escenario de referencia y evaluar los efectos de los cambios en políticas y tecnologías.

## 2. Cambios en el Horizonte de Tiempo para el Área

*Bajo el menú “General” a la barra, selecciona “Años y Pasos de Tiempo.” Cambie “Horizonte de tiempo” del área:*

<i>Año de Cuentas corrientes</i>	<b>2000</b>	<i>(sin</i>	<i>cambio)</i>
<i>Último Año de escenarios</i>	<b>2015</b>		

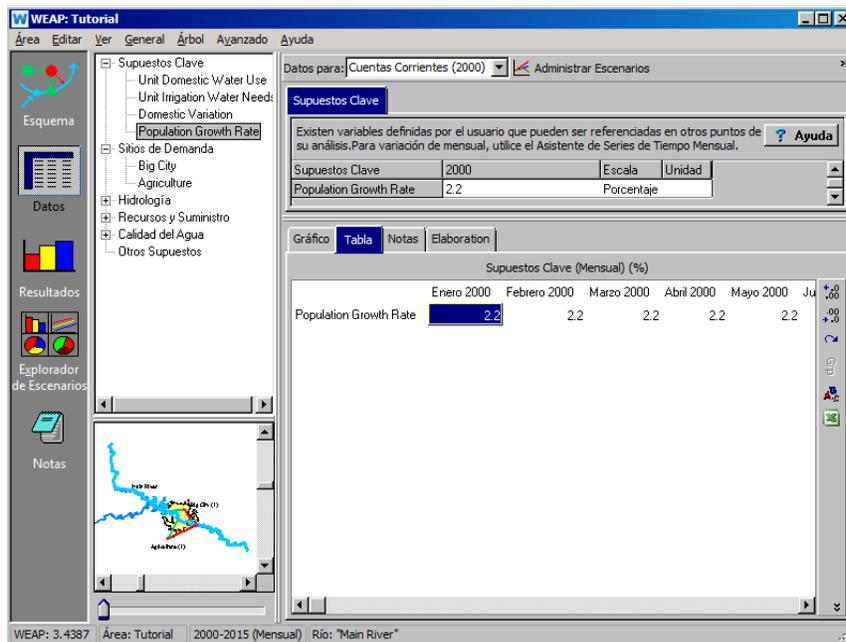


### 3. Crear un Supuesto Clave Adicional

Creemos la siguiente suposición clave:

**Population Growth Rate [Tasa de Crecimiento de Población] 2.2%**

Esta suposición no tiene unidades, pero no olvide modificar en la columna "Escala" y definirla como porcentaje.

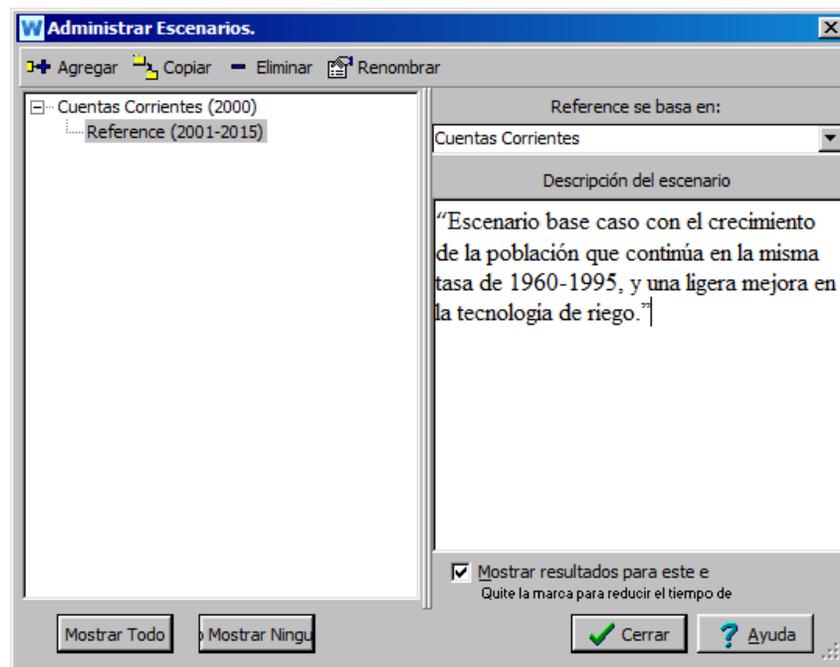


# Crear Escenarios de Referencia

## 4. Describir el Escenario de Referencia

El escenario de referencia siempre existe. Se puede notar que se debe estar en el modo “Datos” o en “Esquema” para ver y acceder a “Administrar Escenarios” en la opción dentro de “Área.” Puede cambiar la descripción del escenario de referencia en “Administrar Escenarios” para reflejar su rol actual.

Por ejemplo, “Escenario base caso con el crecimiento de la población que continúa en la misma tasa de 1960-1995, y una ligera mejora en la tecnología de riego.”

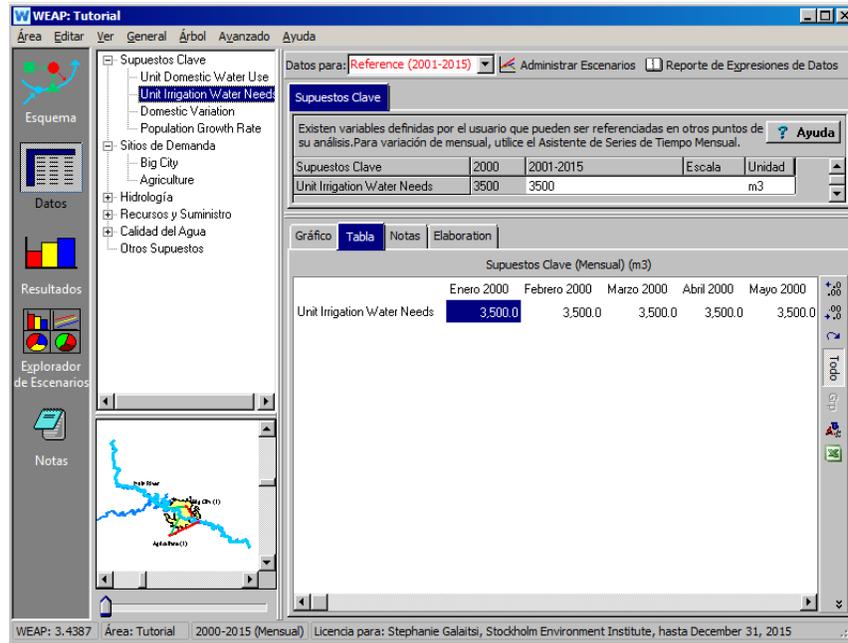


Presione “Cerrar.”

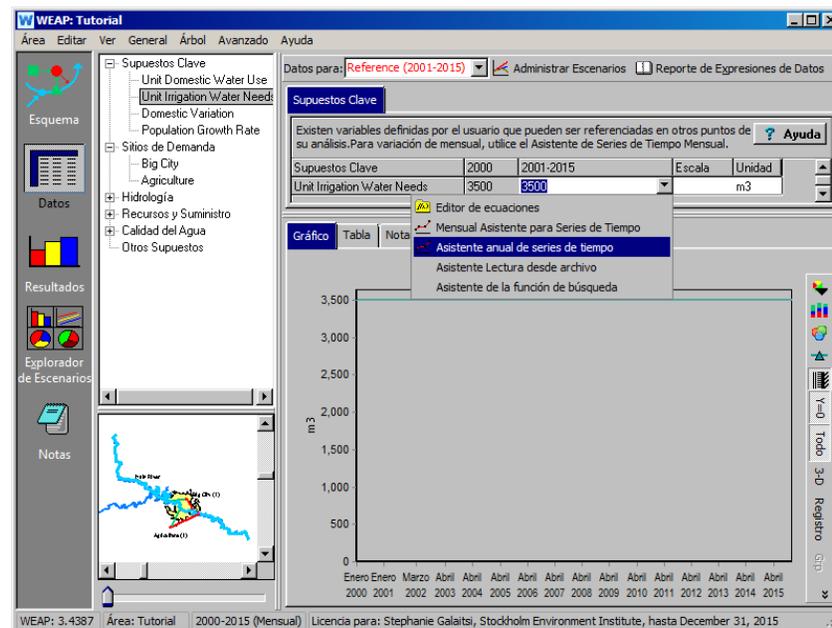
## 5. Cambiar la Unidad de Uso de Agua en Irrigación

Dentro del modo “Data”, se debe cambiar la suposición “Unit Irrigation Water Needs” a un nuevo patrón anual para el periodo 2000 – 2015 después del año de “Cuentas Corrientes.”

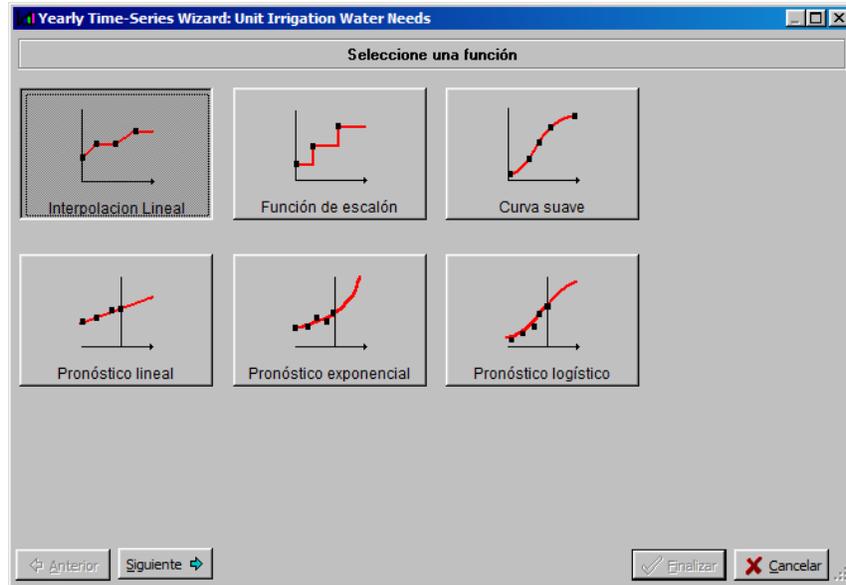
Para hacer esto, hay que seleccionar “Reference” escenario desde el menú se encuentra en la parte superior de la pantalla. El nombre del escenario aparecerá en rojo para recordar que va a editar los datos de un escenario.



Use “Asistente Anual de series de tiempo” para construir la serie de tiempo.



Primero escoja la función “Interpolación lineal”, luego presione “Siguiente.”



Clic en “Ingrese datos” en la ventana que aparezca. Presione “Siguiete.” Ahora clic en “Agregar” para agregar lo siguiente a la serie de tiempo:

**Datos:**

2000 3500

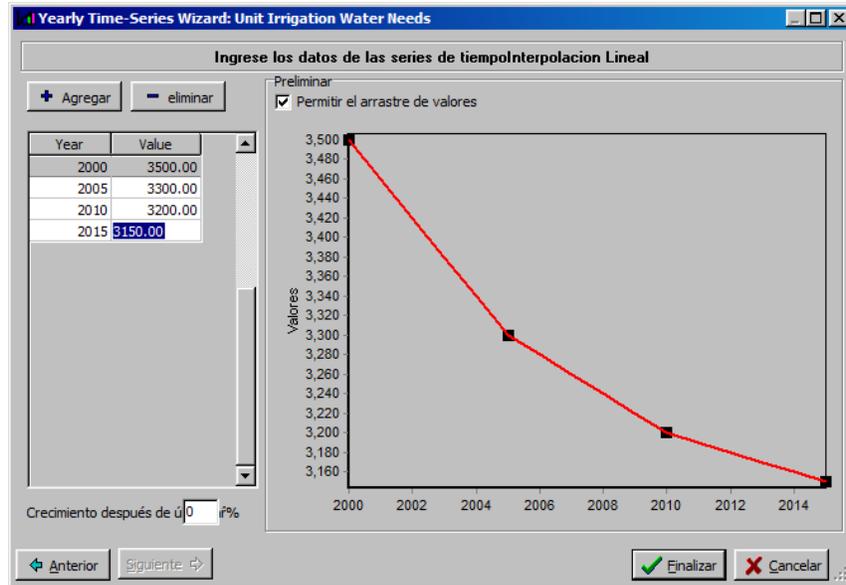
2005 3300

2010 3200

2015 3150

**Crecimiento después de último año: 0%**

Note que el primer punto, para el año 2000, deberá estar ya listado porque ya ha sido ingresado cuando “Unit Irrigation Water Needs” fue creado.



Presione "Finalizar."

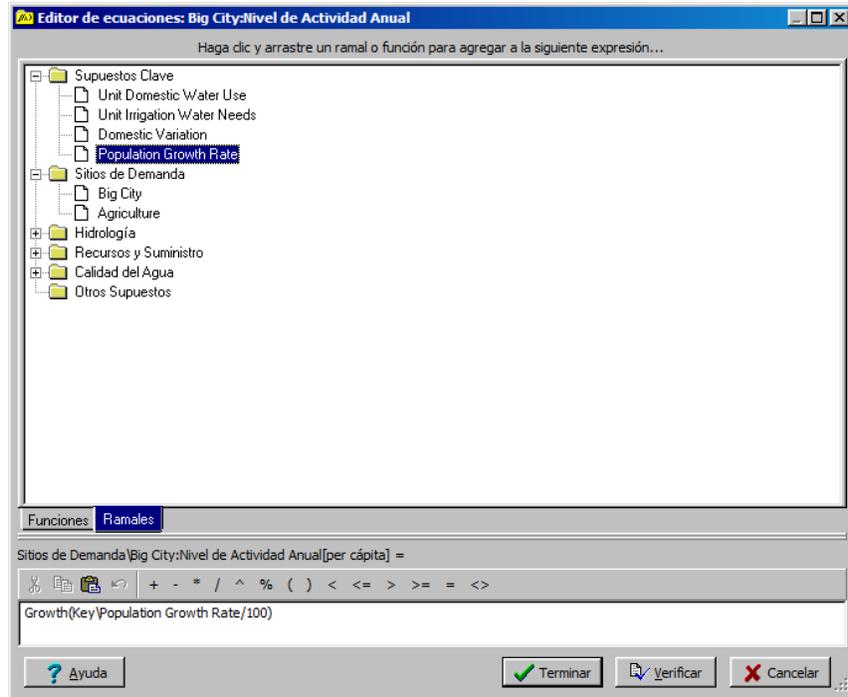
## 6. Definir el Crecimiento de Poblacional

Se debe definir el crecimiento con un porcentaje o tasa definido por "Population Growth Rate" lo que se hizo al comienzo del ejercicio.

*Aquí de nuevo Ud. deberá seleccionar "Reference (2001-2015)" desde el menú principal estando en modo "Datos."*

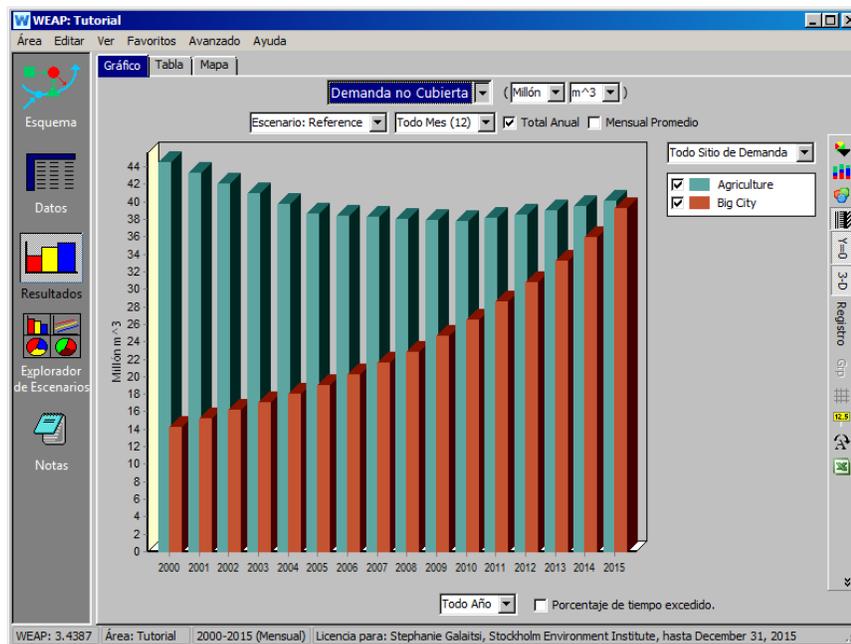
*Asegúrese de tener seleccionado Big City y "Nivel de Actividad Anual." Elimine la expresión debajo del periodo 2001 – 2015 y abra el Editor de ecuaciones. Seleccione la función "Growth." Haga clic en "Ramales." Aquí arrastre la opción "Population Growth Rate" de los supuestos clave al cuadro inferior. Debe que dividir la expresión de 100 por que WEAP vera el valor de 2.2 en los supuestos clave como 0.022 en la calculación. La función final deberá verse de la siguiente forma:*

$$\text{Growth}(\text{key} \setminus \text{population growth rate}/100)$$

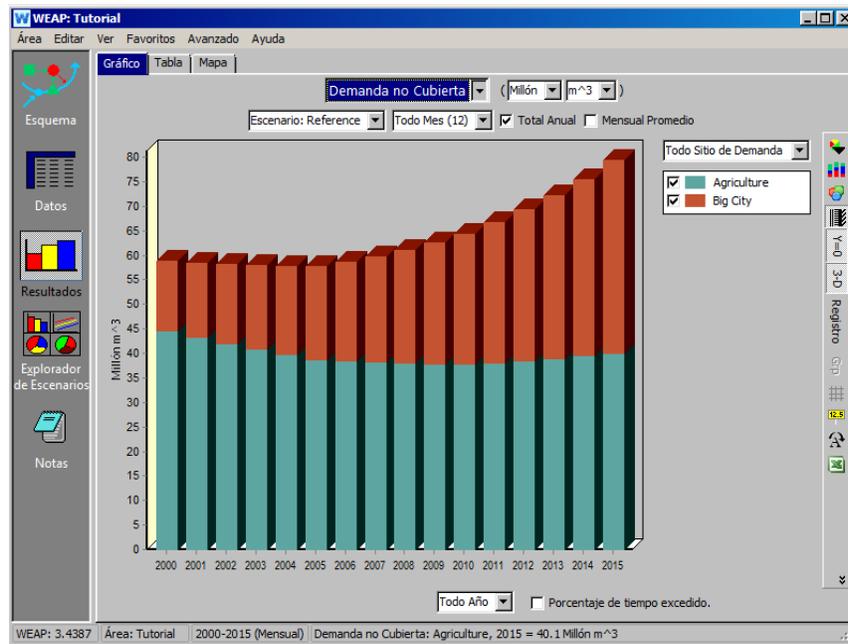


## 7. Ejecutar el Escenario de Referencia

*Ejecuta el escenario haciendo clic en el símbolo "Resultados." Vea el gráfico Demanda/Demanda no Cubierta, (seleccionando "Total Anual") para ambos sitios o nodos. Puede elegir a apilar las columnas.*



Deberá verse similar a las figuras que siguen.



¿Cómo evoluciona la demanda comparados en el gráfico “Demanda no Cubierta?”

¿Porque el total de “Demanda no Cubierta” decrece primero y luego crece?

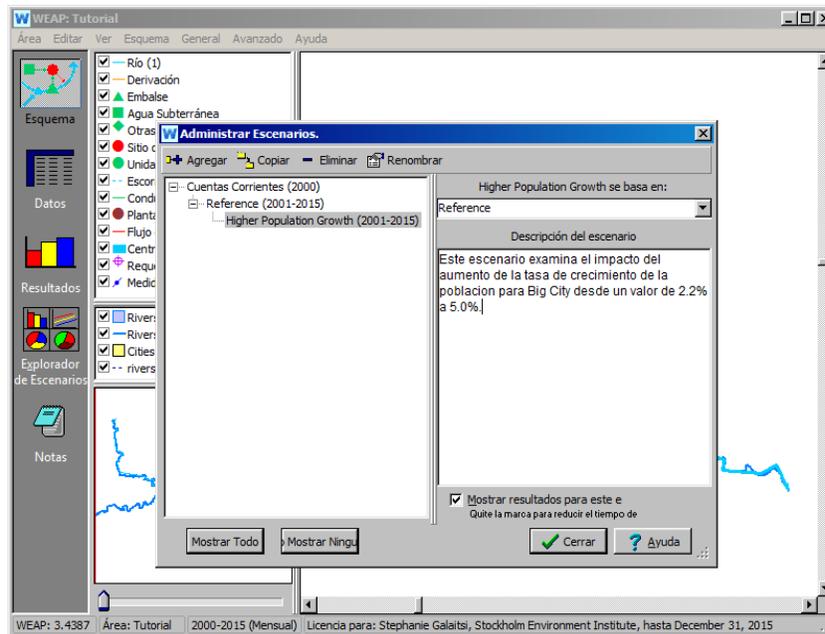
## Crear y Ejecutar Escenarios

### 8. Crear un Nuevo Escenario para Modelar una Mayor Tasa de Crecimiento Poblacional

Crear un nuevo escenario para evaluar el impacto del crecimiento de la población mayor que 2% para la ciudad *Big City* para el periodo 2001 – 2015.

Vaya a “Área”\ “Administrar Escenarios” y haga clic en el botón derecho estando sobre “Reference” y luego de las opciones escoja “Agregar.” Nombre este escenario “Higher Population Growth” y escriba el siguiente comentario:

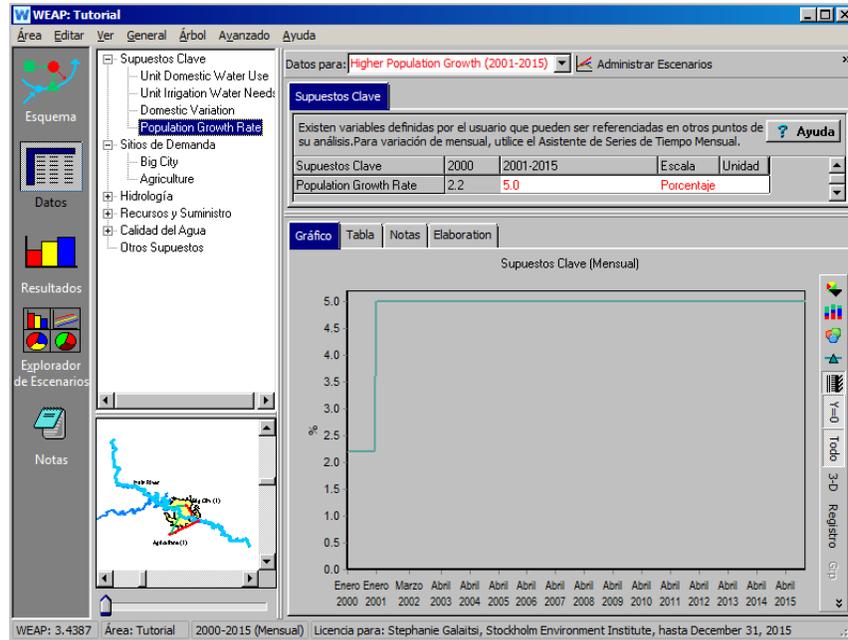
“Este escenario examina el impacto del aumento de la tasa de crecimiento de la población para *Big City* desde un valor de 2.2% a 5.0%”



## 9. Ingresar Datos para Este Escenario

Haga los siguientes cambios dentro de la pantalla “Datos” una vez que haya escogido el escenario nuevo, “Higher Population Growth.”

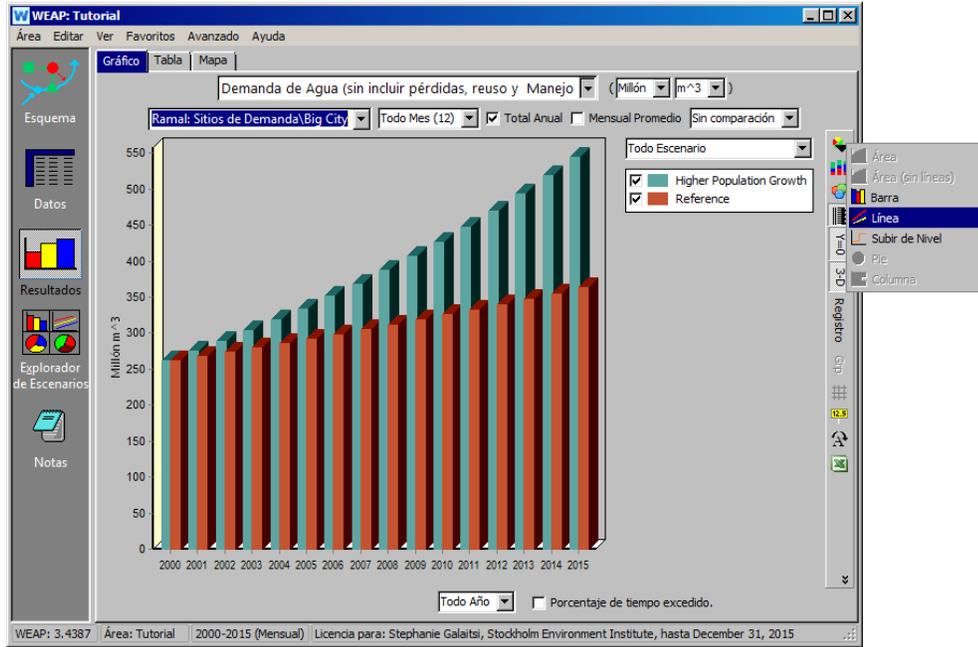
*Seleccione dentro de los “Supuestos Clave” el con nombre “Population Growth Rate” y cambie el valor bajo el periodo 2001 – 2015 a 5.0. Notara que el color del texto en los campos cambiara de color a rojo. Esto ocurre para cualquier valor que cambia o se desvié del escenario de referencia (debe clic en otro lugar y luego volver para ver la roja).*



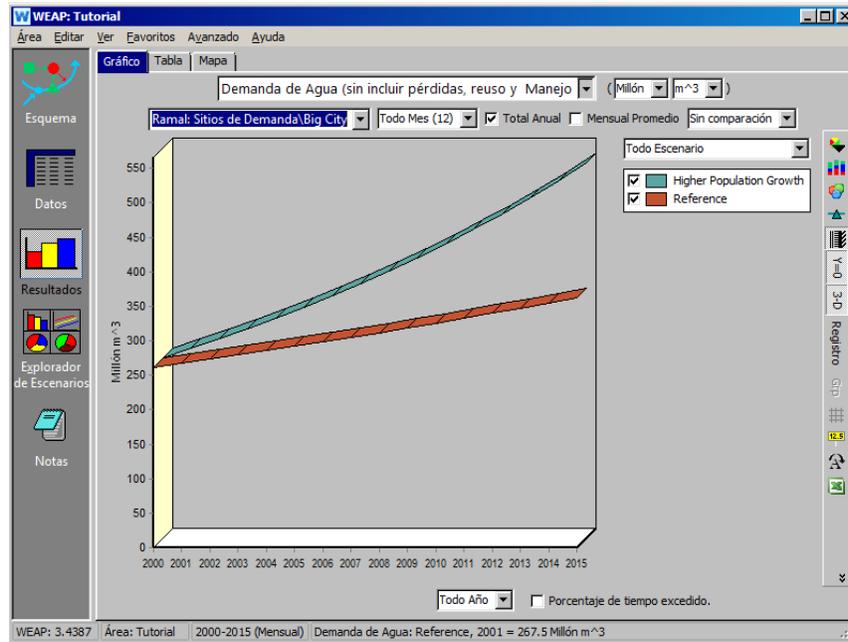
## 10. Comparar Resultados para la Referencia y un Crecimiento de Población Mayor

Comparemos gráficamente los resultados de estos dos escenarios, el de “Reference” y el de “Higher Population Growth.”

*Por ejemplo, en Resultados, seleccione Demanda/Demanda de Agua en el menú principal. Seleccione “Todo Escenario” en el menú a la derecha del gráfico. Escoja Big City en el menú donde se lee “Ramal: Sitios de Demanda.” Escoja “Línea” en la barra a la derecha para ver la información como línea.*

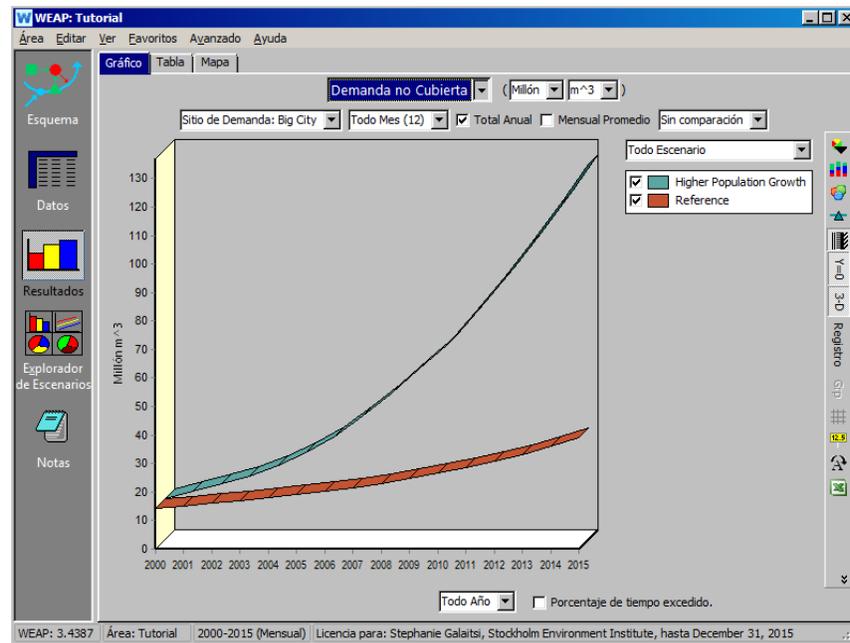


El gráfico deberá verse como el siguiente:



Note que hay mayor demanda de agua para la ciudad en el escenario “Higher Population Growth” que en el de referencia.

*Ahora comparemos “Demanda no Cubierta.” Solo debe cambiar en el menú principal y escoger Demanda/Demanda no Cubierta.*



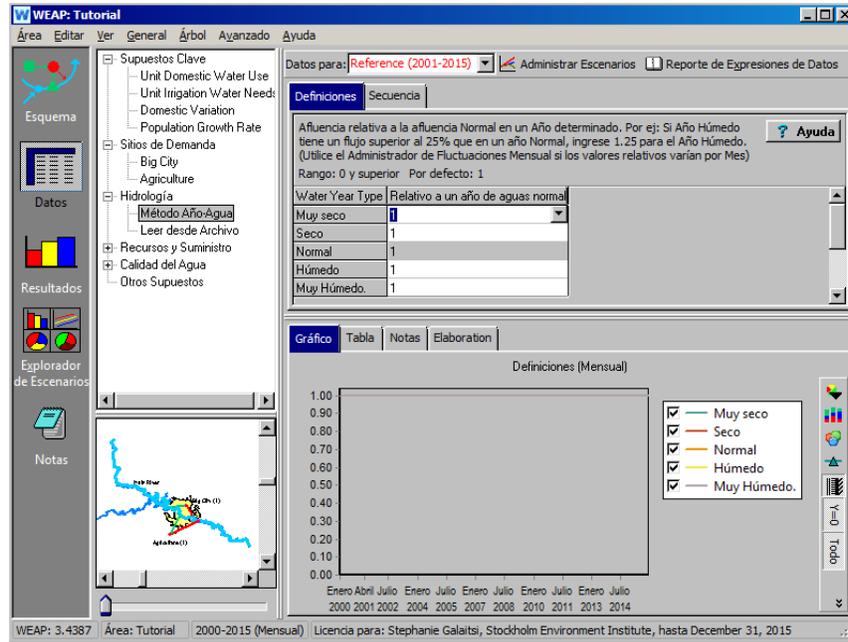
Nuevamente se presentó mas falta de agua para el segundo caso, “Higher Population Growth.”

## Usar el Método Año-Agua

### 11. Crear las Definiciones de Año-Agua

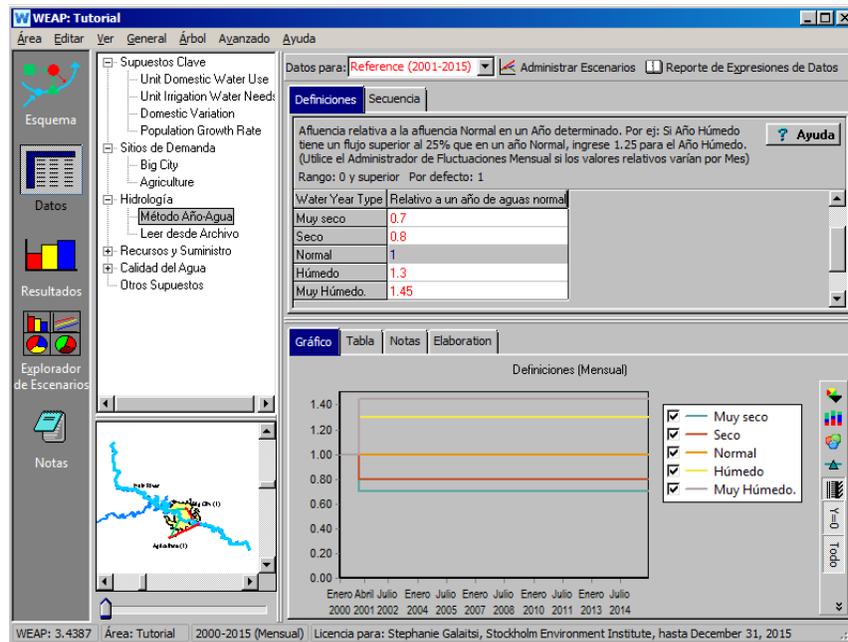
En el ejercicio previo, se varió la demanda de agua; ahora variaremos suministro. Queremos ver como la variación natural en el clima se puede ingresar a WEAP a través de escenarios. Utilizaremos “Método Año-Agua” como ejemplo. Este es un simple método para representar variaciones de clima tales como flujos de agua, lluvia y agua subterráneas. El método primero define como cambia el clima. Un año normal tiene un valor 1; un año seco menor a 1 y una año lluvioso mayor a 1.

*Con el escenario “Reference’ escogido, expanda el árbol y haga clic sobre “Método Año-Agua” la que está en Datos bajo la rama “Hidrología.”*



Seleccione "Definiciones" e ingrese lo siguiente:

<i>Muy seco</i>	<b>0.7</b>
<i>Seco</i>	<b>0.8</b>
<i>Normal</i>	<b>1.0</b>
<i>Húmedo</i>	<b>1.3</b>
<i>Muy Húmedo</i>	<b>1.45</b>

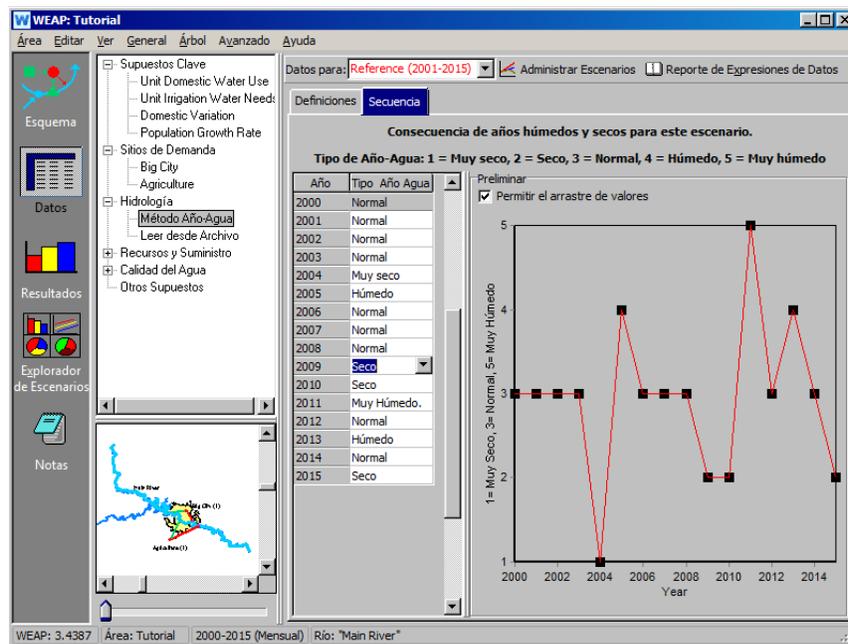


## 12. Crear Secuencias de Años

El siguiente paso en el uso del “Método Año-Agua” es crear una secuencia climática para el periodo. Seleccione “Secuencia” en “Método Año-Agua” e ingrese:

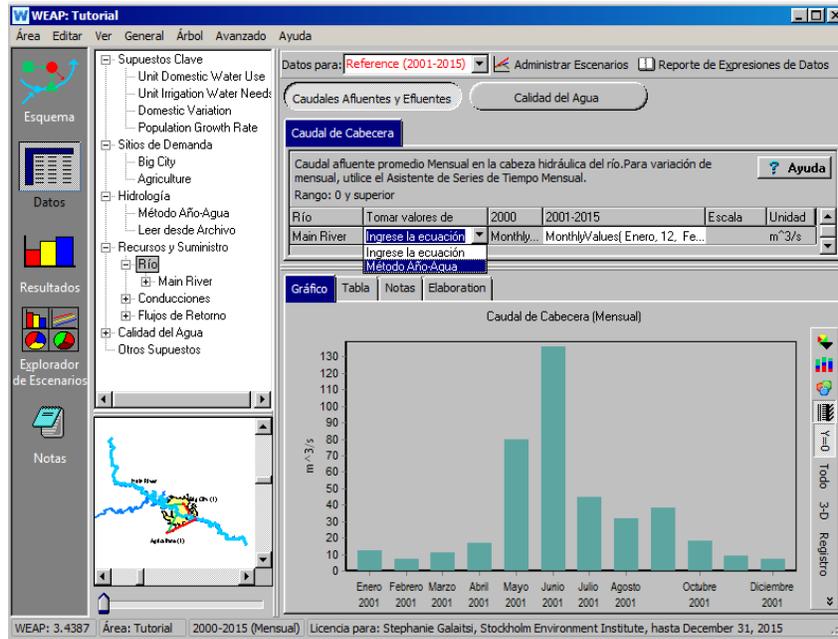
<b>2001-2003</b>	<b>Normal</b>
<b>2004</b>	<b>Muy seco</b>
<b>2005</b>	<b>Húmedo</b>
<b>2006-2008</b>	<b>Normal</b>
<b>2009-2010</b>	<b>Seco</b>
<b>2011</b>	<b>Muy Húmedo</b>
<b>2012</b>	<b>Normal</b>
<b>2013</b>	<b>Húmedo</b>
<b>2014</b>	<b>Normal</b>
<b>2015</b>	<b>Seco</b>

Note: no puede cambiar el año 2000 porque está en el escenario de “Reference” que hereda la data de las “Cuentas Corrientes.” Si quiere cambiar el año 2000, debe que cambiar el escenario en el menú al parte superior de pantalla a “Cuentas Corrientes.”



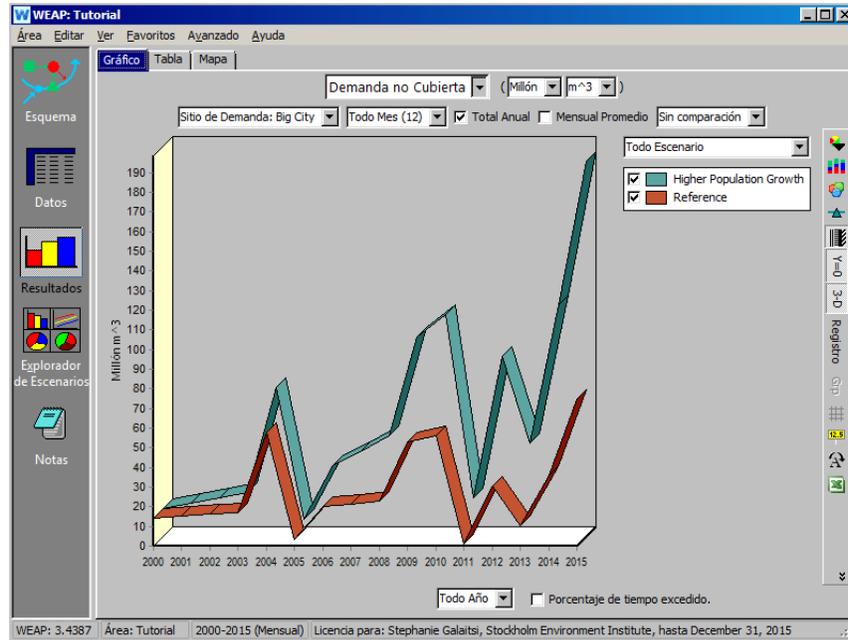
## 13. Configurar el Modelo para Usar el “Método Año-Agua”

En el árbol, cambie “Caudal de Cabecera” dentro de “Río” y bajo Main River (haga clic sobre este último). Dentro de la carpeta “Caudal de Cabecera” debajo de “Tomar valores de”, seleccione del menú “Método Año-Agua.”



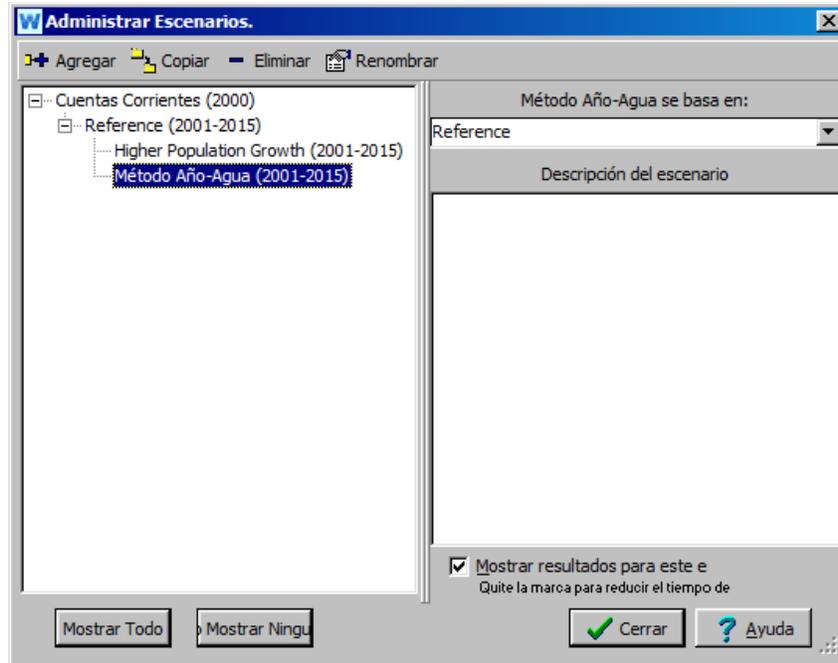
## 14. Volver a Ejecutar El Modelo

Presione sobre “Resultados” a la izquierda de la pantalla y seleccione “Yes.” Observe el gráfico y compare para “Reference” y para “Higher Population Growth.”



Note que el caso de la demanda no satisfecha, “Demanda no Cubierta”, es mucho más errática usando este método que el caso anterior, asumiendo un flujo constante en el río.

Si hubiera querido comparar en el mismo gráfico los resultados para “Método Año-Agua” para aquellos asumiendo clima constante para el periodo de tiempo, Ud. puede crear un nuevo escenario que use el método en vez de cambiar información dentro del de referencia (“Reference” escenario). El nuevo escenario se vería de la siguiente forma:

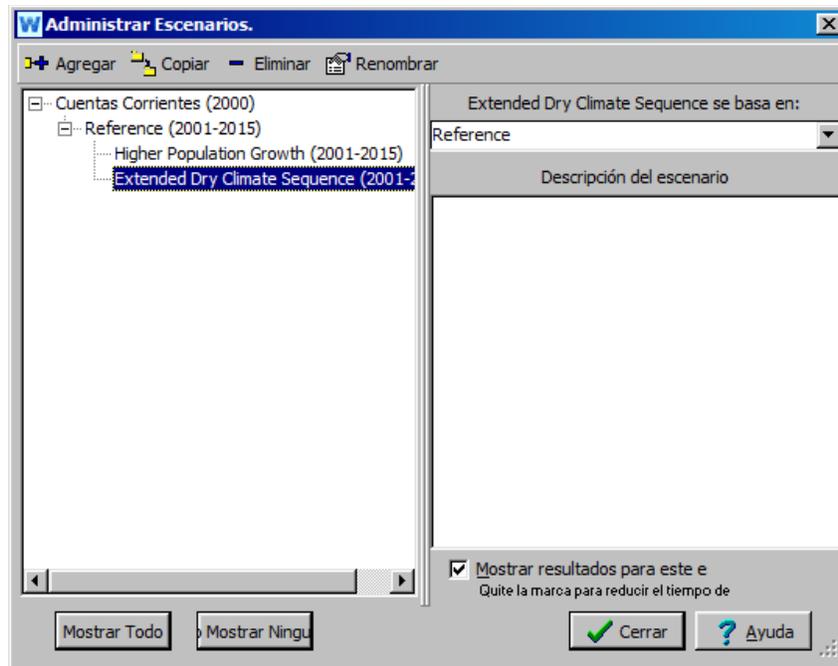


Note que el caso de “Referencia” (clima constante) y el “Método Año-Agua” (clima variable) usaran el dato de crecimiento de 2.2% de la suposición “Population Growth Rate” para *Big City*.

## 15. Cambiar la Herencia de un Escenario

El siguiente ejemplo mostrara la utilidad de cambiar la herencia del escenario dentro de WEAP.

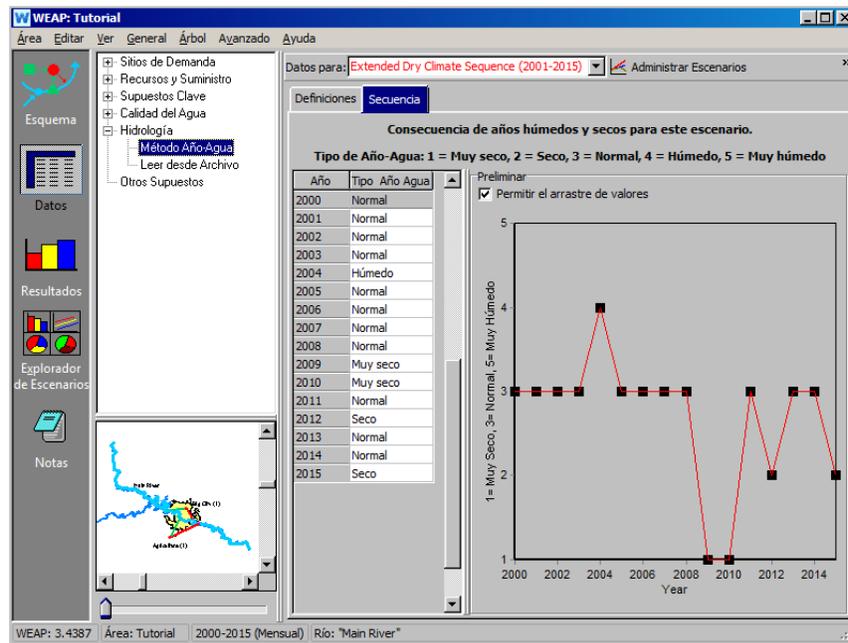
*Crear un nuevo escenario heredado de “Reference” y nómbrelo “Extended Dry Climate Sequence.” El árbol de escenarios se deberá ver así.*



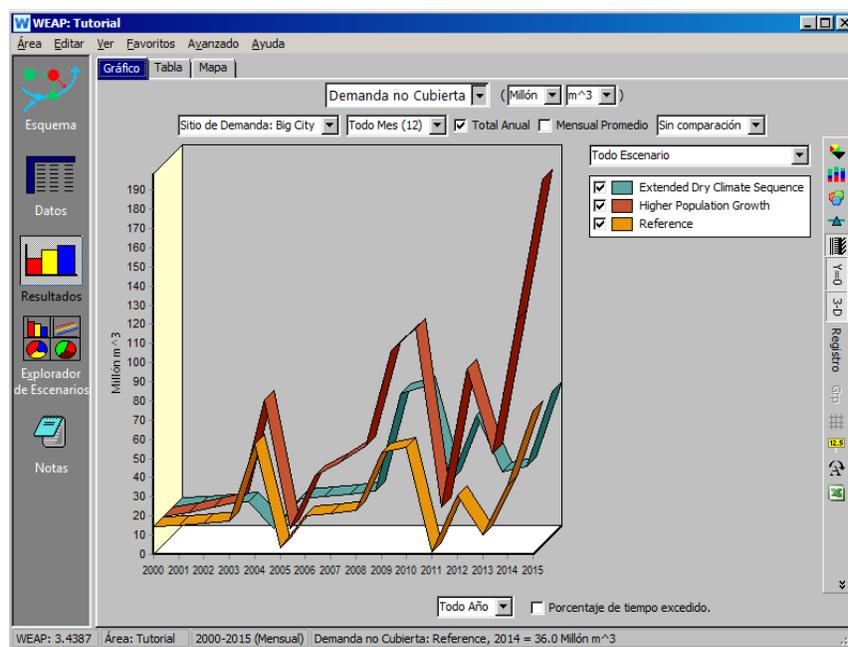
En el ambiente “Datos,” seleccione este nuevo escenario para editarlo. Bajo “Hidrología” haga clic en “Método Año-Agua” y edite lo siguiente en “Secuencia”:

<b>2001-2003</b>	<b>Normal</b>
<b>2004</b>	<b>Húmedo</b>
<b>2005-2008</b>	<b>Normal</b>
<b>2009-2010</b>	<b>Muy seco</b>
<b>2011</b>	<b>Normal</b>
<b>2012</b>	<b>Seco</b>
<b>2013-2014</b>	<b>Normal</b>
<b>2015</b>	<b>Seco</b>

Ingrese esta información donde corresponda (tiene la certeza que edita el escenario “Extended Dry Climate Sequence.”)

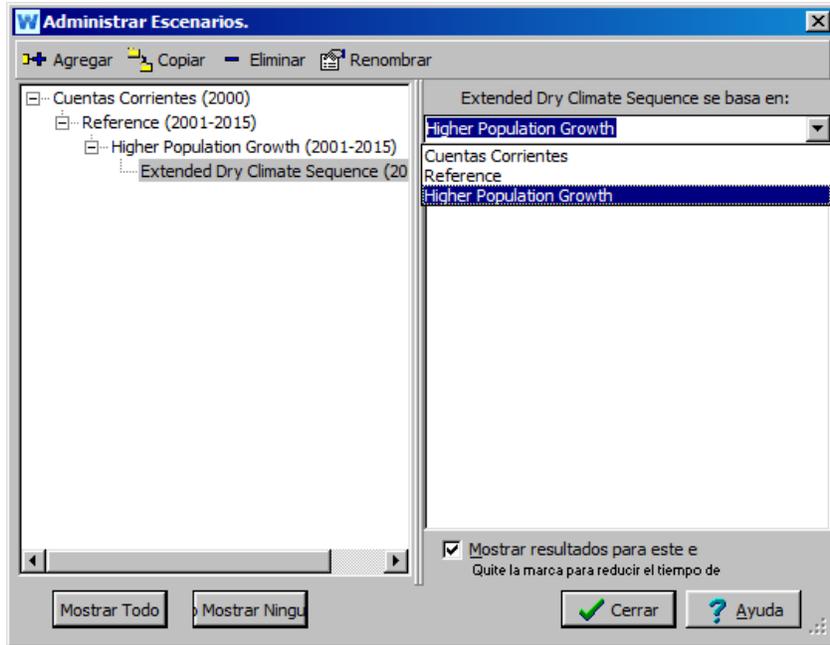


Los siguientes resultados corresponden a correr el programa con esta nueva información.

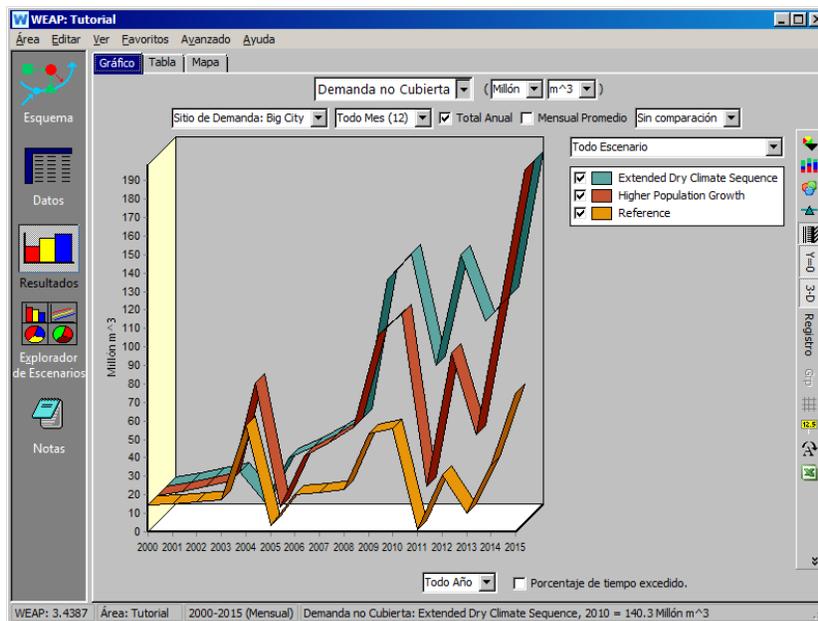


Ahora cambiaremos el lugar del escenario “Extended Dry Climate Sequence” colocándolo debajo de “Higher Population Growth Rate” para que herede la tasa de 5% de crecimiento.

En el “Administrar Escenario”, seleccione “Extended Dry Climate Sequence”, haga clic en el menú a la derecha debajo del texto “Extended Dry Climate Sequence se basa en:” y seleccione “Higher Population Growth” como rama madre.



Recalcule los datos y vea el gráfico “Unmet Demand” para la ciudad. Que cambios nota en este gráfico para “Extended Dry Climate Sequence?”





---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Refinando el Análisis de la Demanda

*Un tutorial para*

<i>Desagregar la demanda.....</i>	<i>72</i>
<i>Modelar el manejo de demanda, perdidas y reuso.....</i>	<i>79</i>
<i>Fijar prioridades de demanda de asignación.....</i>	<i>91</i>

**noviembre de 2023**



**Nota:**

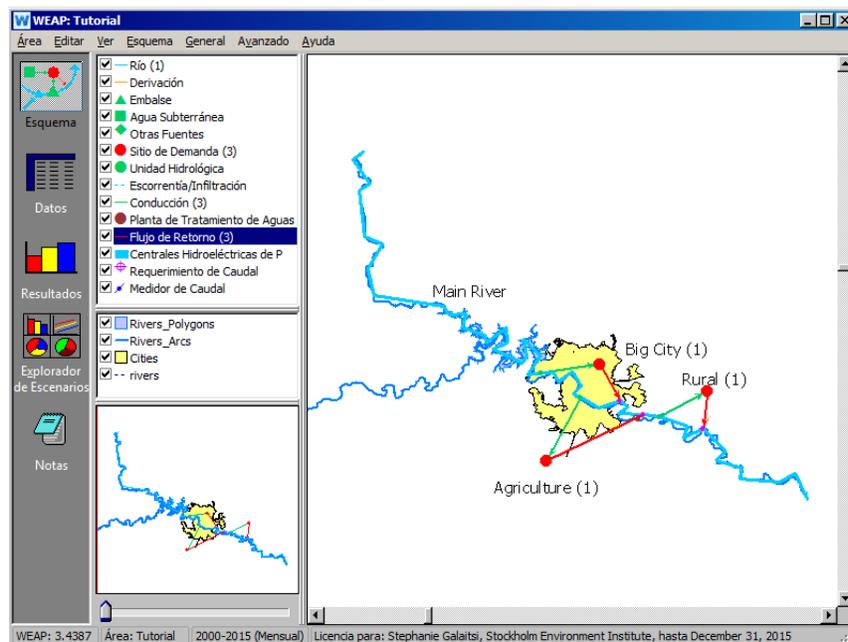
*Para comenzar este módulo, desde el menú principal seleccionar “Regresar a Versión Previa” y escoger la versión llamada “Starting point for all modules after ‘Scenarios’ module.”*

# Desagregar la demanda

## 1. Crear un nuevo sitio de demanda

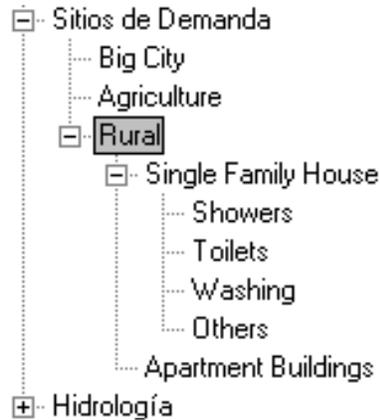
*En “Cuentas Corrientes”, cree un Sitio de Demanda nueva río abajo de Big City para simular la demanda rural. Denomine este nodo Rural y dele una Prioridad de la Demanda = 1. Proporcione una “Conducción” desde Main River posicionados río abajo de los retornos de flujos de Big City y Agriculture. La Preferencia del Suministro debe ser fijada en 1. Proporcione también un Flujo del Retorno para Rural que es posicionado aún más río abajo.*

Su área debiera verse así:



## 2. Crear una estructura de datos para el nodo de demanda Rural

Para crear esta estructura, en la vista de “Datos,” clic derecho en la demanda Rural en el árbol de data, y seleccionar “Agregar” para implementar la siguiente estructura (los nombres están en Inglés para que coincida con la clave de respuestas).



No ingrese datos aun. Note que “Showers,” “Toilets,” “Washing,” y “Others” (todos tipos de usos domesticas de agua) se agregaron en sub-ramas bajo “Single Family Houses.”

Sitios de Demanda	2000	Escala	Unidad
Rural	N/D		N/D
Apartment Buildings	N/D		N/D

### 3. Ingresar datos en “Nivel de Actividad Anual”

Ingresar lo siguiente en “Rural,” y en la pestaña “Nivel de Actividad Anual”:

<b>Rural</b>	<b>120,000 Familias (“domestico” en el menú)</b>
<b>Single Family Houses</b>	<b>70% Porción</b>
<b>Showers</b>	<b>80% Saturación</b>
<b>Toilets</b>	<b>90% Saturación</b>
<b>Washing</b>	<b>55% Saturación</b>
<b>Others</b>	<b>35% Saturación</b>

The screenshot shows the WEAP Tutorial software interface. The 'Nivel de Actividad Anual' (Annual Activity Level) settings are displayed for the 'Rural' demand site. The data entry table is as follows:

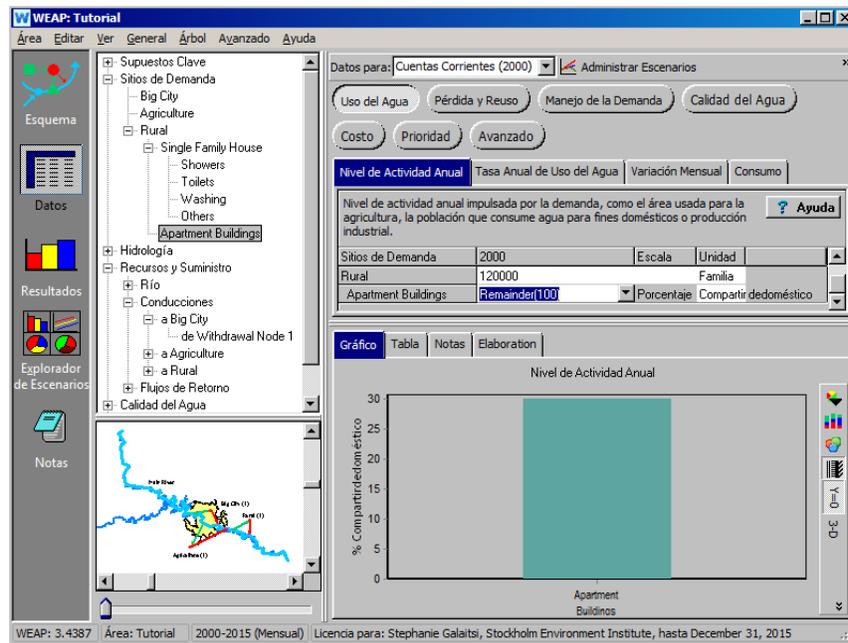
Sitios de Demanda	2000	Escala	Unidad
Rural	120000		Familia
Single Family House	70	Porcentaje	Compartir dedoméstico
Showers	80	Porcentaje	saturac... dedoméstico
Toilets	90	Porcentaje	saturac... dedoméstico
Washing	55	Porcentaje	saturac... dedoméstico
Others	35	Porcentaje	saturac... dedoméstico

Below the table, a bar chart titled 'Nivel de Actividad Anual' displays the percentage saturation for each activity: Showers (80%), Toilets (90%), Washing (55%), and Others (35%).

Para “Apartment Buildings,” seleccione la unidad “compartir” y use el Editor de ecuaciones para ecuación “Remainder” y escribí

**Remainder(100)**

El “Remainder” función se explica a continuación.



**Porción (partes) vs. Saturación:** a pesar de que ambos tipos de porcentajes son tratadas matemáticamente el mismo por WEAP, son conceptualmente diferentes. En un nivel dado del árbol, las partes siempre deben sumar hasta el 100%. También permiten el uso de la función “Remainder.” Saturación indica la tasa de penetración de un dispositivo en particular y es independiente de la tasa de penetración de otros dispositivos (por ejemplo, las tasas de saturación para todas las sub-ramas de una rama determinada no tienen que sumar a 100).

#### 4. Ingresar datos en “Tasa Anual de Uso de Agua” y “Consumo”

*Ingrese lo siguiente bajo Rural sitio de demanda, y en la carpeta “Tasa Anual de Uso de Agua”:*

##### **Rural**

##### **Single Family Houses**

<b>Showers</b>	<b>80 m<sup>3</sup>/doméstico</b>
<b>Toilets</b>	<b>120 m<sup>3</sup>/doméstico</b>
<b>Washing</b>	<b>60 m<sup>3</sup>/doméstico</b>
<b>Others</b>	<b>40 m<sup>3</sup>/doméstico</b>

##### **Apartment Buildings**

**220 m<sup>3</sup>/doméstico**

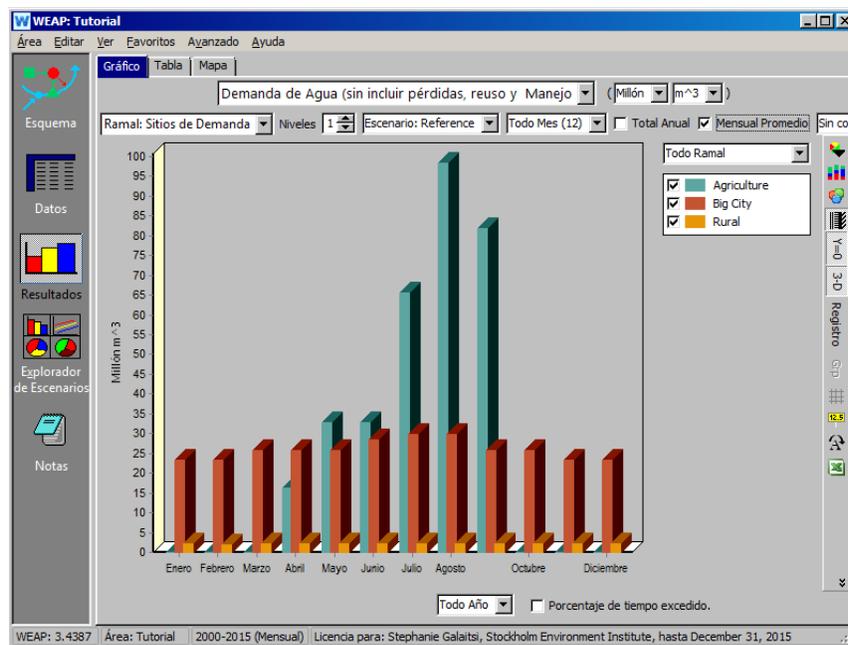
*En la carpeta “Consumo,” ingrese 80%.*

Note que valores en “Consumo” están ingresados *por la totalidad de Rural demand node, y no para las subramas.*

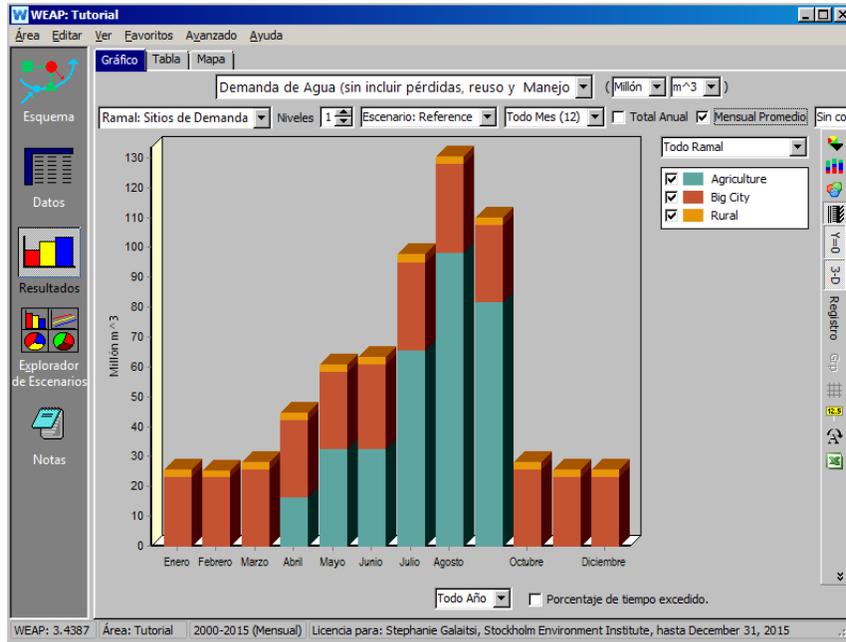
## 5. Chequear los resultados

Calcule de nuevo sus resultados.

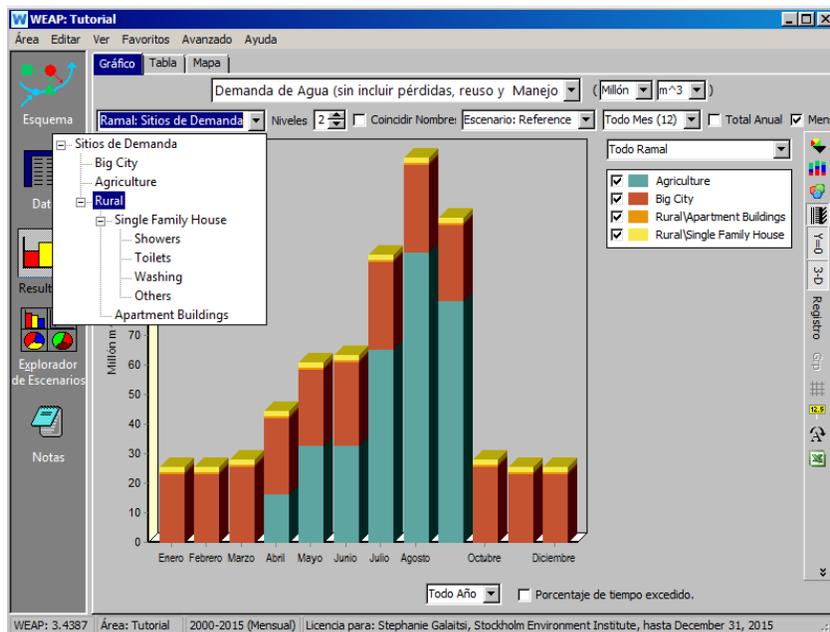
En el ambiente “Resultados,” escoge “Demanda de Agua” como la variable primaria del menú. Escoja “Todo Ramal” del menú justo encima de la leyenda de gráfico. Escoja 3 D y el gráfico de barras como él (vea el primero y el segundo ejemplo de pantalla abajo). Presione “Mensual Promedio.” Escoja el nodo Rural de la demanda del menú encima del gráfico (vea la tercera grafica de pantalla abajo).



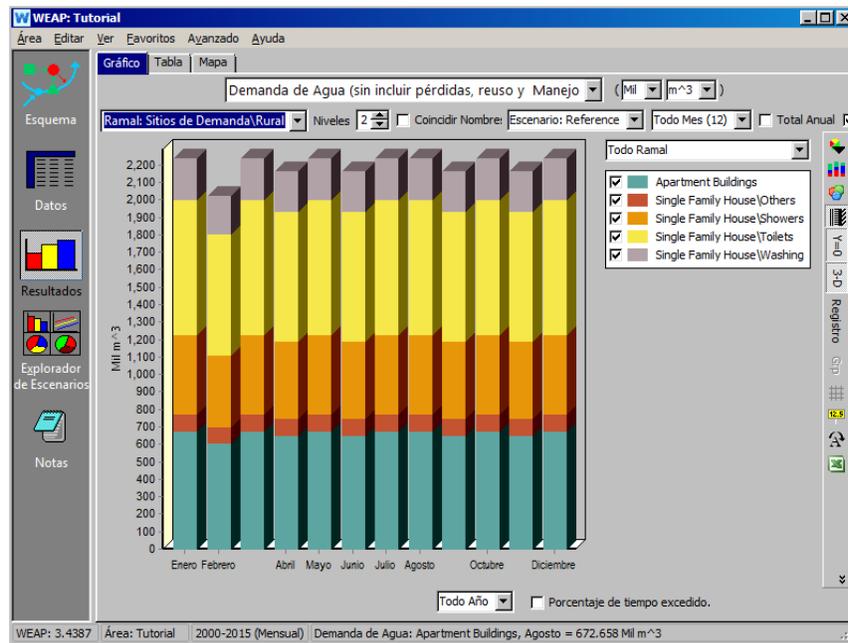
Escoja las barras apiladas.



Para ver los resultados de la Demanda de Agua para todas las sub-ramas Rurales (por ejemplo, single family houses \ showers; apartments), en el campo de “levels” seleccione 2 (justo encima del centro del gráfico).



El gráfico resultante debe parecerse al uno abajo:

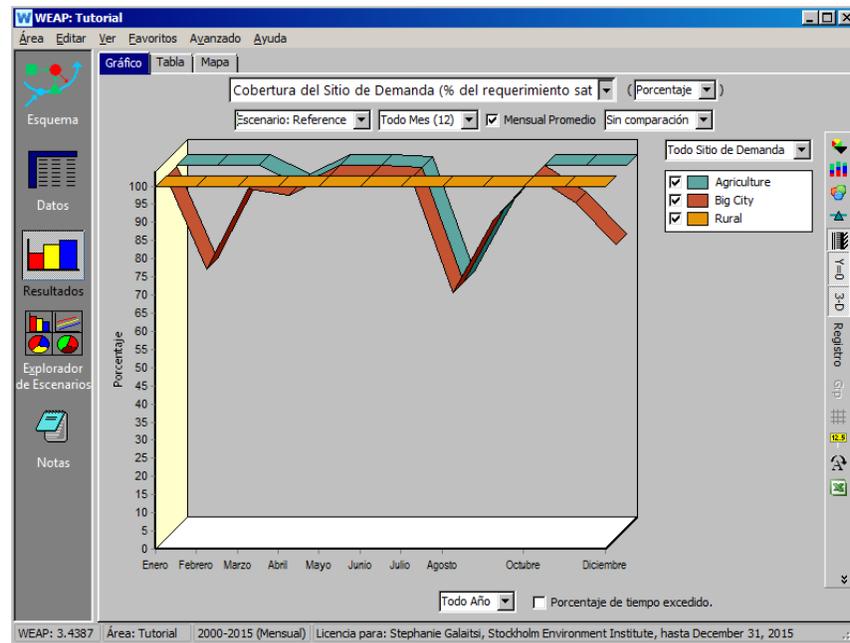


¿Entiende por qué la demanda rural varía durante el año sin que hayamos ingresado alguna variación?



La variación de la demanda rural se debe al hecho de que WEAP asume una demanda diaria constante por día (sin demanda mensual especificado por el usuario), y por lo los meses que tienen menos días (como febrero) tienen una menor demanda de los meses que tienen más días (como enero).

*Ahora cree un gráfico en 3-D de "Cobertura" para los sitios de demanda y seleccione "Todo Sitio de Demanda" para la presentación.*



¿Entiende porque la cobertura de Rural es 100% pero no para la ciudad ni la agricultura, aun cuando están definidas las prioridades?



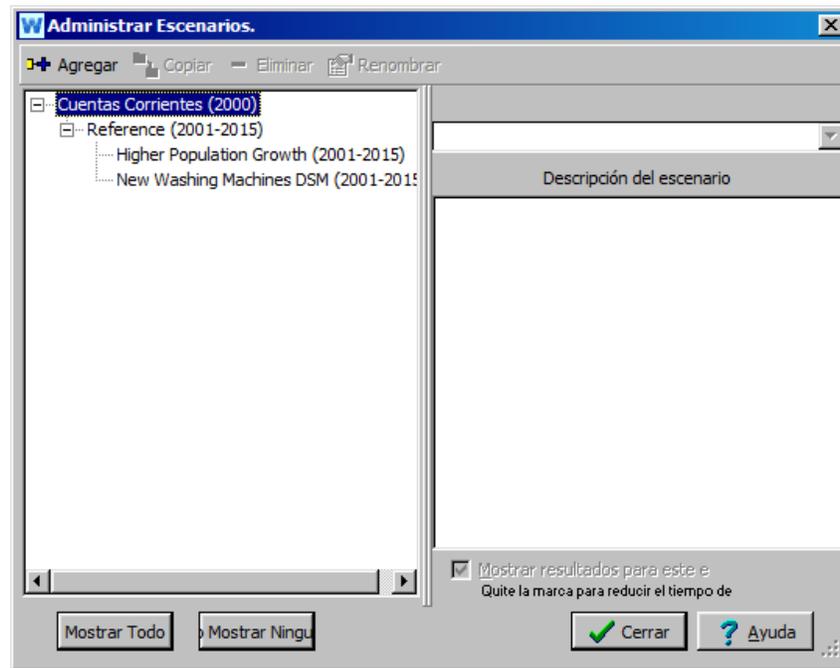
El punto de extracción Rural es aguas abajo del punto de retorno para *Big City* and *Agriculture*, y por eso hay un volumen adicional de agua disponible en el río. Este flujo de retorno puede cubrir fácilmente el más pequeño demanda del sitio Rural.

## Modelar el manejo de demanda, perdidas y reuso

### 6. Implementar el manejo de demanda – con información desagregada

*Ahora crearemos un escenario nuevo que explora una estrategia de la administración del lado de la demanda. Llame este escenario “New Washing Machines DSM” (DSM = Demand Side Management). Deberá ser heredado del “Reference” y el escenario tendrá el mismo clima y la tasa de crecimiento de*

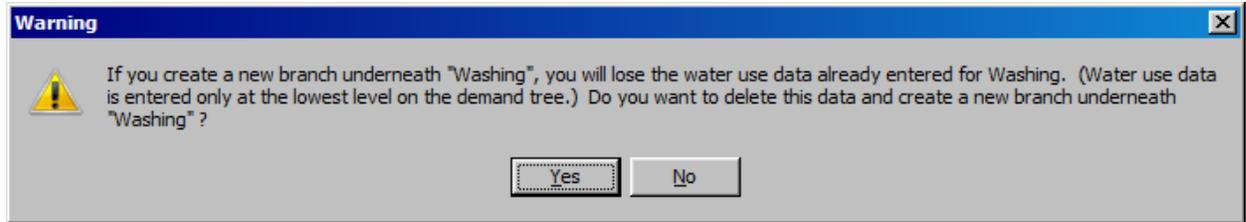
*población de Big City como el de "Reference." El árbol del escenario en "Administrar Escenarios" debe parecerse a esto:*



Asumiremos que un tipo nuevo de lavadoras permite un 2/3 en reducción (66.7 %) al lavar en el consumo de agua. Este escenario nuevo evaluará el impacto de esta medida de la Administración del Lado de la Demanda si 50% de las casas se puede convencer a comprar la máquina que ahorra agua.

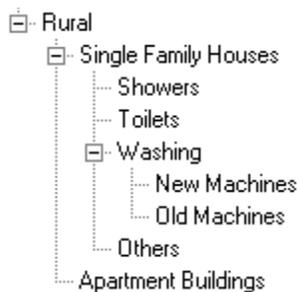
*Primero, vuelve a "Cuentas Corrientes" en el ambiente "Datos", donde usted creará dos nueva ramas ("Old machines" y "New machines") en la estructura de datos Rurales. Efectivamente, usted está desagregando "washing" la variable que ahora incluye dos subcategorías nuevas. Note que usted debe volver a "Cuentas Corrientes" porque todas estructuras nuevas de datos se tiene que entrar en esta, incluso si la variable no deberá ser activada (es decir, los niveles no cero de la actividad) en "Cuentas Corrientes" y en el escenario "Reference."*

*Cuando vaya a agregar la primera sub-rama en "Washing", aparecerá el siguiente mensaje:*



[Dice que: "Si quiere crear un nuevo rama bajo "Washing", perderá los datos de uso de agua ya introducidos. (Datos de uso de agua esta introducidos solamente al nivel inferior de árbol de demanda). Quiere suprimir estos datos y crear una nueva rama bajo "Washing"?]

Clic "yes," y agregue la estructura siguiente:



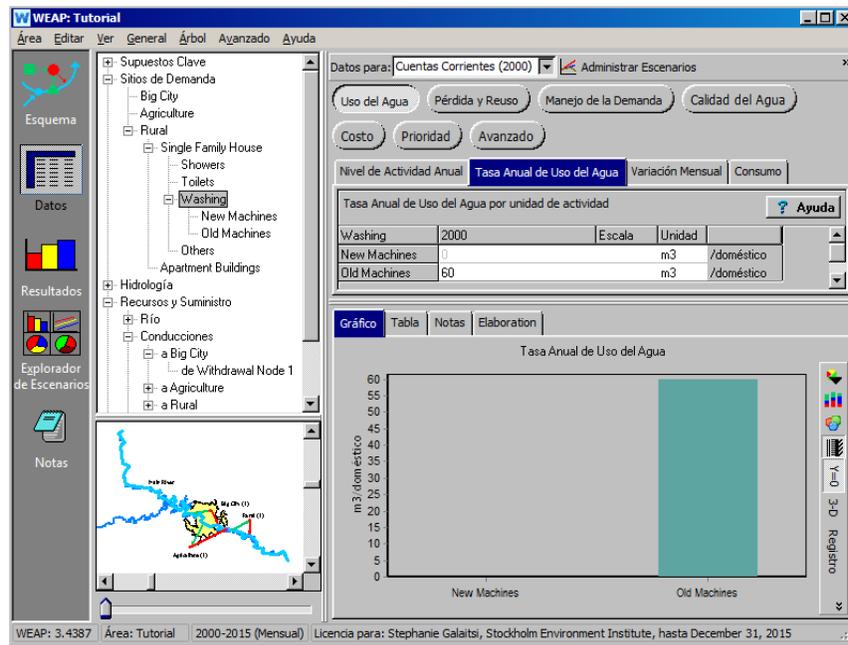
*En la carpeta "Nivel de Actividad Anual," cambie las unidades para "Old Machines" y "New Machines" a "Compartir." Ingrese un valor de 100% para el "Old Machines." Deje en blanco el nivel para "New Machines" - esto es igual que ingresando un cero.*

The screenshot shows the WEAP software interface with the 'Nivel de Actividad Anual' (Annual Activity Level) settings. The interface includes a tree view on the left, a data table, and a graph. The table shows activity levels for various demand sites, with 'Old Machines' set to 100%.

Sitios de Demanda	2000	Escala	Unidad
Rural	120000		Familia
Single Family House	70	Porcentaje	Compartir dedoméstico
Washing	55	Porcentaje	saturac... dedoméstico
New Machines	0	Porcentaje	Compartir dedoméstico
Old Machines	100		Compartir dedoméstico

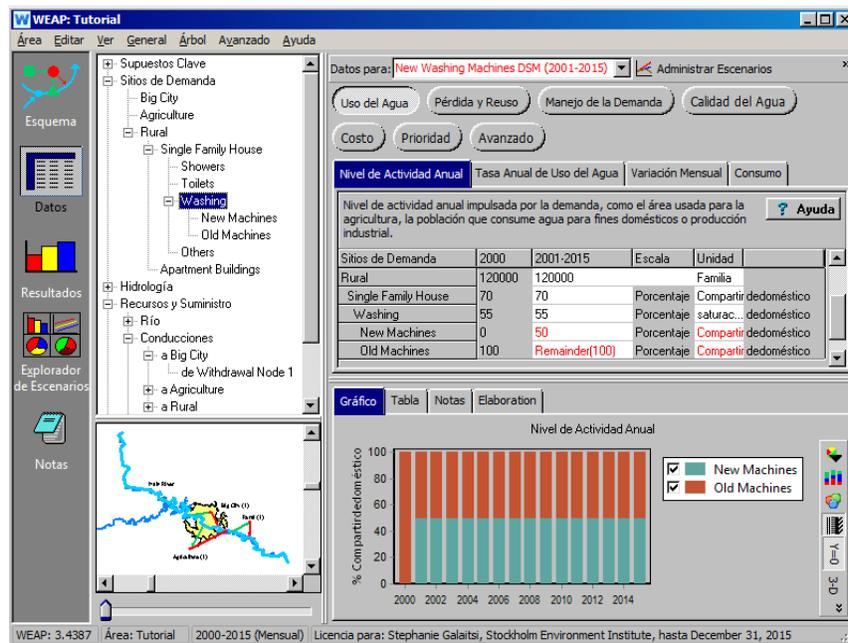
Recuerde, usted ingresa éstos en “Cuentas Corrientes”, así usted quiere sólo “Old Machines” a ser activo en el escenario de “Reference.” Esto recrea el mismo efecto teniendo como la variable agregada “Washing” en las “Cuentas Corrientes” originales y en “Reference.” La variable “New Machines” se activará en el escenario “New Washing Machines DSM” (ver abajo).

*Vuelva a la carpeta “Tasa Anual de Uso de Agua” y por los “Old Machines” ingresa 60 m<sup>3</sup>/domestico, como era el valor para la variable original más alto en “Washing.”*



Ahora, Cambie al escenario “New Washing Machines DSM.”

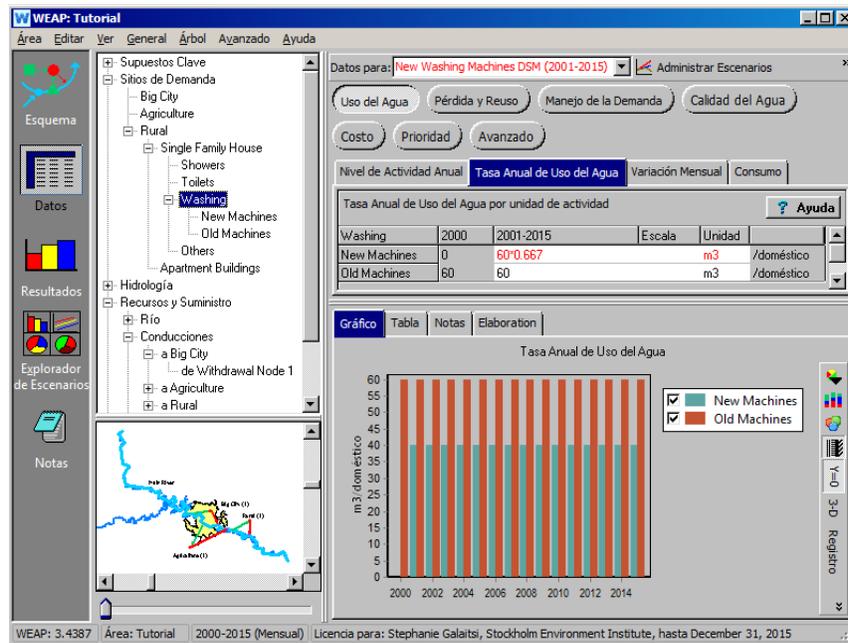
En la carpeta “Nivel de Actividad Anual,” ingrese el valor de 50 para New Machines (50% de todas las maquinas serán de esta nueva variedad) y use el Editor de ecuaciones para escribir Remainder(100) para “Old Machines.”



En la carpeta “Tasa Anual de Uso del Agua,” tendrá que ingresar el original tasa de para los “Old Machines” (60 m<sup>3</sup>/domestica). La tasa nueva para “New Machines” refleja el ahorro de agua (66%).

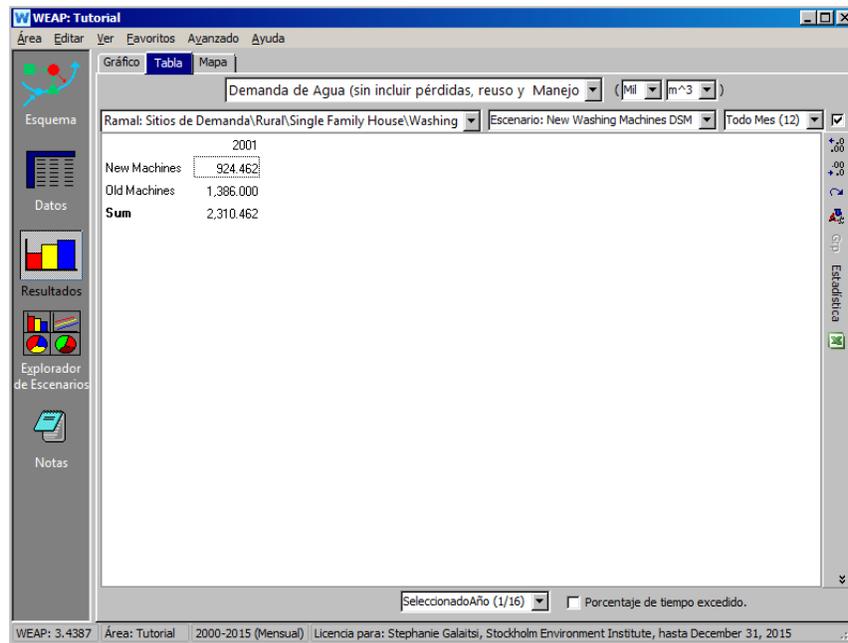
**Old Machines**            **60 m<sup>3</sup>/household**

**New Machines**        **60\*0.667 m<sup>3</sup>/household**



Ahora compare los resultados numéricos de la Demanda de Agua para la rama “Washing” del sitio Rural en el escenario “Reference” y el escenario “New Washing Machines DSM.”

En la vista de Resultados, clic sobre “Tabla” y escoja la variable de la Demanda de Agua. Escoja también “Total Anual” en vez de “Mensual Promedio” y a la parte inferior de pantalla, use el menú para selecciona el año 2001 (usted puede sólo ve los resultados numéricos por un año individual al comparar a la vez los escenarios en la carpeta “tabla”, pero en esto no presenta una dificultad para este ejemplo, como nosotros no tratamos de modelar ningún crecimiento con tiempo para la variable washing). Escoja Demand Site\Rural\single family houses \washing de la izquierda superior en el menú y “Todo Rama” a la derecha y arriba. Escoja el “Reference” y “New Washing Machines DSM” del menú en el fondo de la ventana. Cambie la unidad desde Millón m<sup>3</sup> hasta Mil m<sup>3</sup>. La tabla debe parecerse a lo siguiente:



Note que el uso de nuevas máquinas en 2001 (y años subsecuentes en “New Washing Machines DSM”) resulta en alrededor de 460 Mil m<sup>3</sup> de agua menos demandada que si solo se tienen “Old Machines” (el escenario de “Reference.”)



“DSM” refiere a “Demand-side management” en inglés – la gestión de la demanda de los consumidores de agua. Se refiere a las medidas que los consumidores pueden tomar para cambiar la dosis o frecuencia de consumo de agua. En comparación, se puede trabajar al lado de la empresa de servicios públicos o la oferta para gestionar los recursos hídricos.

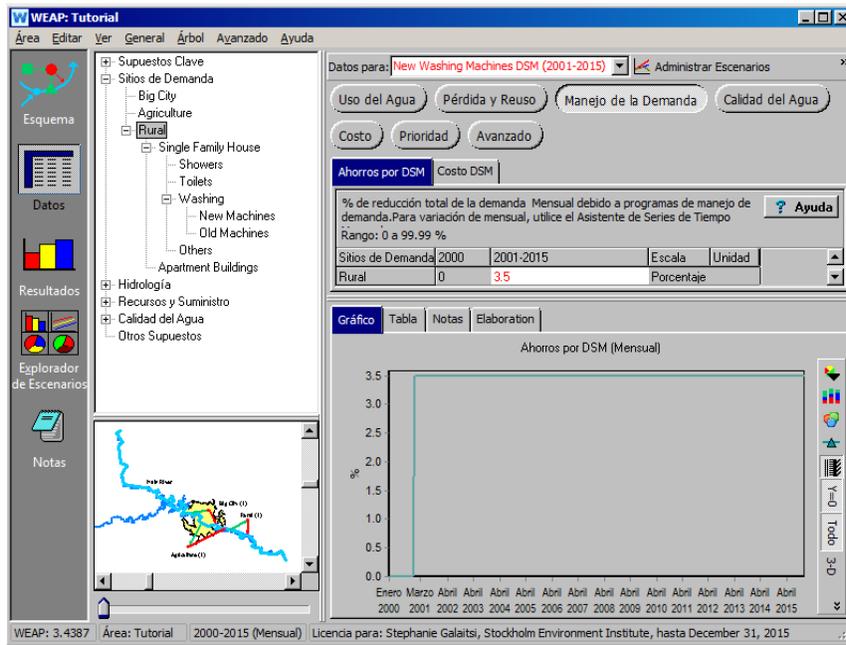
Otro método para modelar “DSM” desagregado es reducir el consume unitario para la categoría afectada (en esto ejemplo, el lavado). No hay una sola manera correcta o incorrecta de modelar “DSM.”

## 7. Implementar el manejo de la demanda – el enfoque agregado

Si los datos desagregados no están disponibles, un valor equivalente de DSM (manejo de demanda) se puede computar. Este ejemplo asuma que tuvimos ningún demanda de agua desagregada en Rural, pero nosotros podríamos llegar al mismo resultado utilizando el “la Administración de la Demanda” (“demand management”) la opción para este Sitio de la Demanda en los Datos. En este caso la reducción ascendería a:

- Contribución original de lavadoras (washing machines): 2,772/26,316 = 10.5%
- Proporción de Maquinas Nuevas (New Machines): 50%
- Reducción de Maquinas Nuevas: 66.6%
- El múltiple de estos dos porcentajes: 3.5%

*Este valor puede ser ingresado a la carpeta "Manejo de la Demanda" para la rama Rural en un escenario. Use la sub-carpeta "Ahorros por DSM."*

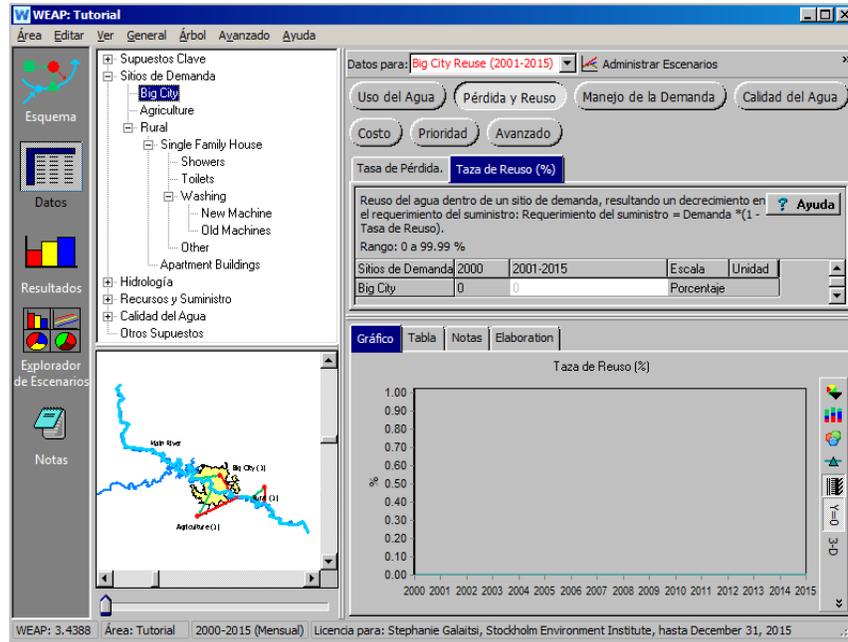


**Para ver el efecto de una acción de DSM, observa Requerimiento de Suministro el en Resultados**

## 8. Modelar el Reuso

Otra estrategia de la conservación del agua que se podría estudiar con escenarios es reuso del agua.

*Cree un escenario nuevo heredado del "Reference" y denomínelo "Big City Reuse." Cerciórese está en este escenario y el clic en la rama Big City Haga clic en "Pérdida y Reuso" y haga clic la carpeta "Tasa de Reuso (%)."*



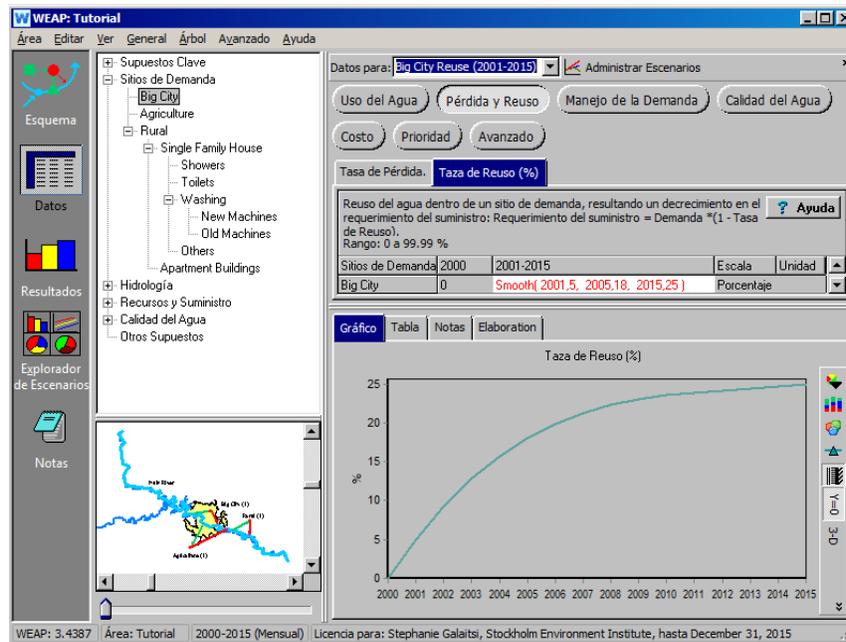
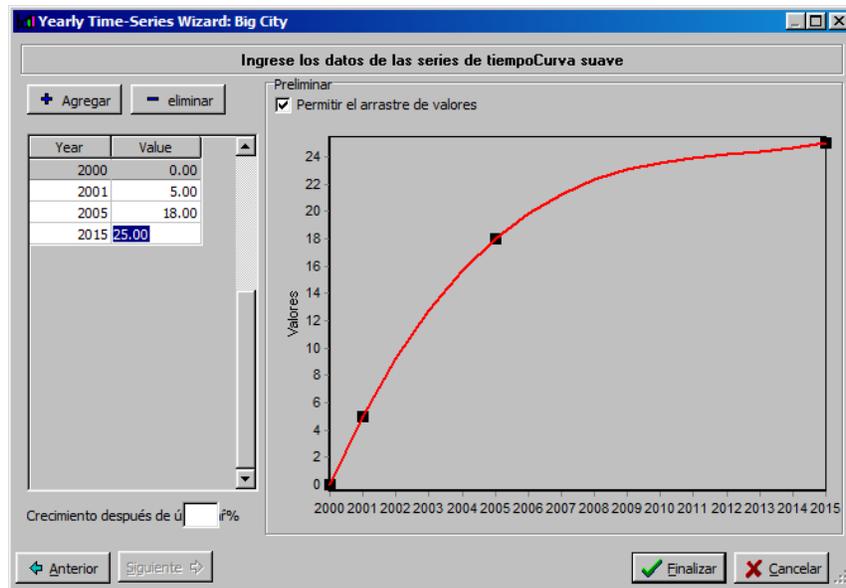
Ingrese la siguiente expresión en el campo 2001-2015 usando el Editor de ecuaciones para seleccione la ecuación “Smooth.”

$$\text{Smooth}(2001,5, 2005,18, 2015,25)$$

O, para hacer la misma acción en el “Asistente Anual de Series de Tiempo,” ábralo y seleccione la función “Curva suave” dentro la ventana. Clic “Siguiente” y “Ingrese Datos” y “Siguiente” de nueva. Ingrese los valores.

<u>Año</u>	<u>Valor</u>
2000	0
2001	5
2005	18
2015	25

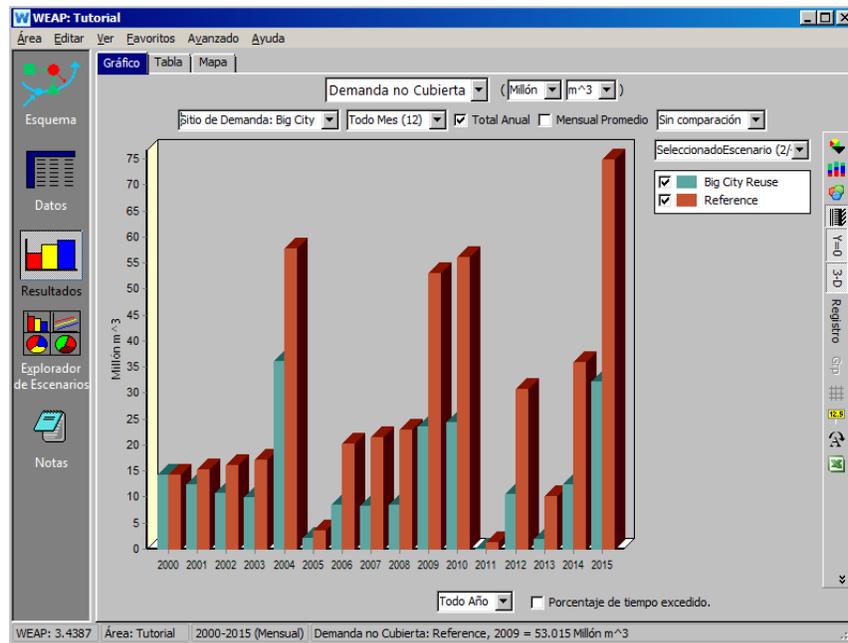
Debería tener un gráfico como el de más abajo. Note que “Tasa de Reuso” en “Cuentas Corrientes” (año 2000) se mantiene cero. Clic “Finalizar.”



*En el ambiente "Resultados", compare "Demanda no Cubierta" (en el menú principal) para Big City antes en el escenario de "Reference" y el escenario "Big City Reuse" para examinar como el reuso de agua puede conservar de agua.*

Queremos ver la información para "Todo Año" y Sitio de Demanda/Big City y "Seleccionado Escenario": "Reference" y "Big City Reuse."

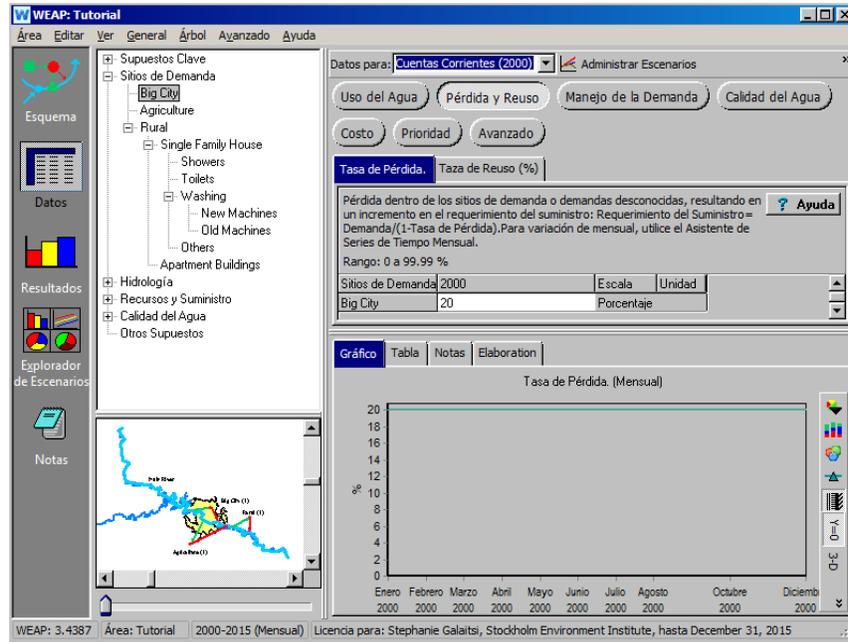
Debería tener el gráfico de abajo, el cual muestra reducciones substanciales en "Demanda no Cubierta" para Big City cuando se usa la estrategia de reuso de agua.



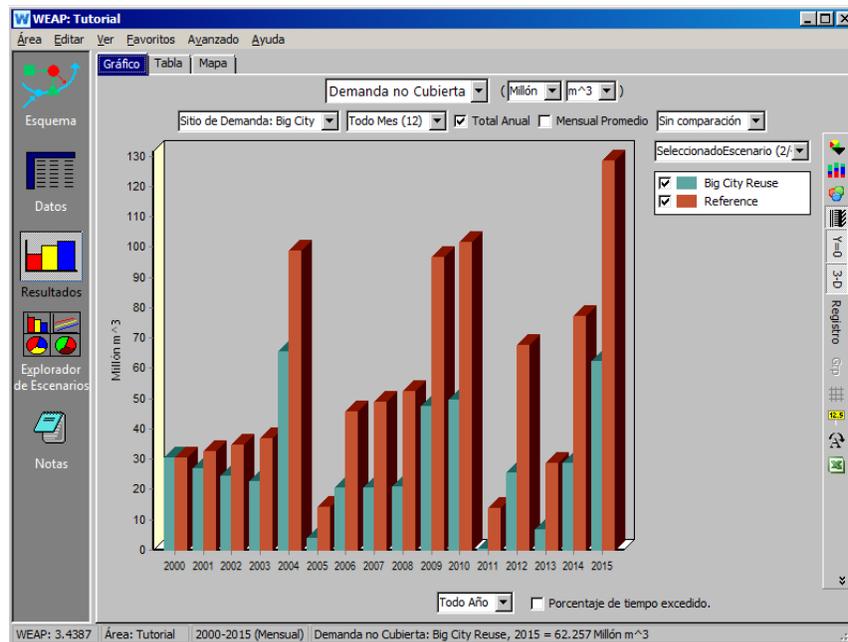
## 9. Modelar pérdidas

Reedite el modelo para tener en cuenta el hecho que hay un 20% de tasa de pérdida en la red de *Big City*.

*En la carpeta "Tasa de Perdida," haga este cambio para las Cuentas Corrientes para que se llevara con el escenario "Reference," y como resultado de la característica de herencia, a través de todos escenarios.*



¿Cómo cambia la Demanda no Cubierta de *Big City* tanto en el escenario “Reference” y en “Big City Reuse” en comparación con el ejercicio anterior, sin pérdidas?





---

Las pérdidas del agua pueden ocurrir en los enlaces de transmisión, en el Sitio de Demanda o en Flujos de Retorno. Las pérdidas de transmisión afectaran el suministro al Sitio de Demanda. Las pérdidas en el Sitio de Demanda afectaran los Requerimientos de Suministro del Sitio de Demanda. Las pérdidas en los Flujos de Retorno solo afectaran los flujos que devuelve al río.

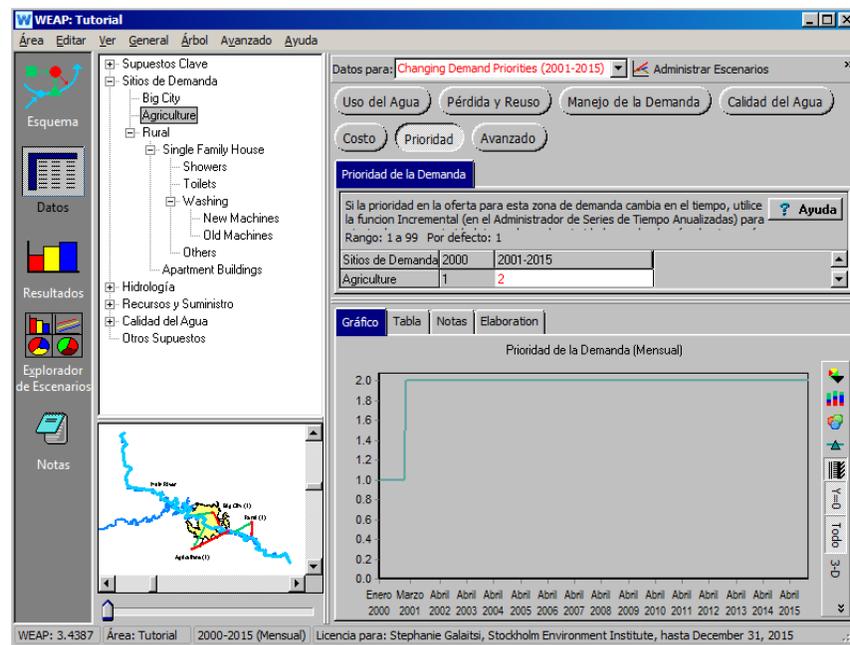
---

## Fijar prioridades de demanda de asignación

### 10. Editar la Prioridad de uno Sitio de Demanda

*Cree un escenario nuevo, heredado del “la Reference” y denomínelo “Changing Demand Priorities.” Cambie la Prioridad de la Demanda del Sitio de la Demanda de la Agricultura en el ambiente “Datos” haciendo clic en la rama de la Agricultura y entonces haciendo clic en el botón de la Prioridad, o haciendo clic en botón derecho del mouse en el nodo en la ambiente “Esquema” y escogiendo “Información general.”*

*Cambiar la Prioridad de la Demanda de 1 a 2 para el escenario “Changing Demand Priorities.”*



Una Prioridad de la Demanda puede ser cualquier numero entero entre 1 y 99 (1 es el valor predeterminado para un Sitio de Demanda y 99 es el valor predeterminado para el agua que llene a un embalse). Las Prioridades de la Demanda permiten el usuario a especificar el orden que quiere satisfacer las necesidades de agua de los sitios de demanda. WEAP intentara satisfacer el Requerimiento de Suministro de agua de un Sitio de Demanda con una Prioridades de la Demanda de 1 antes de suministrar agua a un Sitio de Demanda con una Prioridad de la Demanda de 2 o mayor. Si dos Sitios de Demanda tiene la misma prioridad, WEAP intentara satisfacer sus Requerimientos de Suministro igualmente. Los valores absolutos no tienen importancia para los niveles de prioridad; solo importa el orden relativo. Por ejemplo, con dos Sitios de Demanda, se producirá el mismo resultados si las Prioridades dela Demanda están 1 y 2 o 1 y 99.



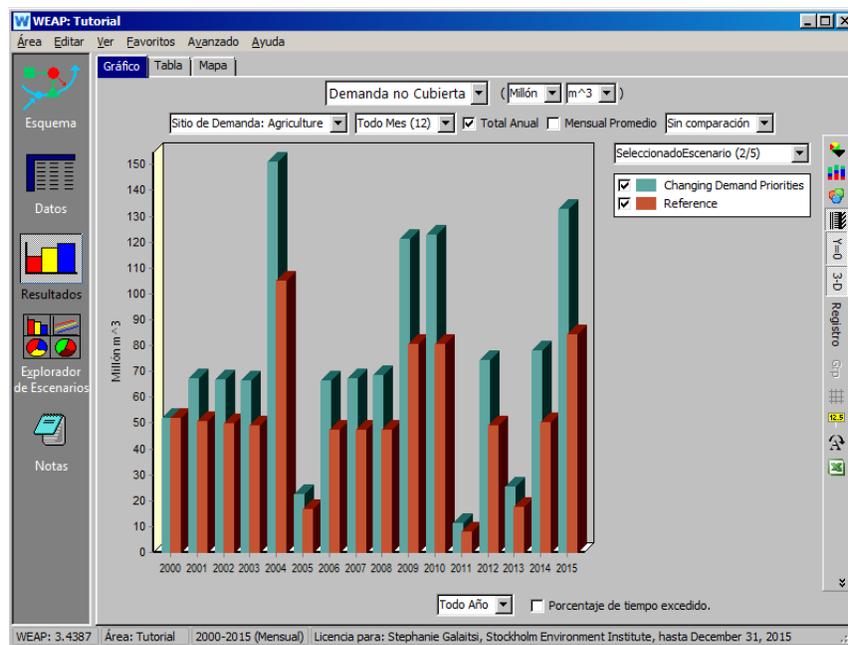
Prioridades de la Demanda permiten los usuarios a representar la asignación del agua en WEAP como ocurre en su sistema. Por ejemplo, un agricultor de agua abajo un Sitio de Demanda puede tener derechos históricos al agua del rio, y la demanda de otro sitio situado aguas arriba podría extraer tanta agua del rio, todo que desea, dejando al agricultor poco agua en ausencia de sus derechos de agua. El establecimiento de prioridades de la demanda permite al usuario de WEAP establecer la prioridad de los agricultores. Las Prioridades de la Demanda también pueden cambiar con el tiempo o un usuario puede cambiarlas en un escenario. Este documento va a tratar este proceso más adelante.

Se puede también cambiar las Prioridades de la Demanda en el ambiente "Datos", y pues el elemento en Sitios de Demanda (o Recursos y Suministros/Embalses) y la carpeta Prioridad.

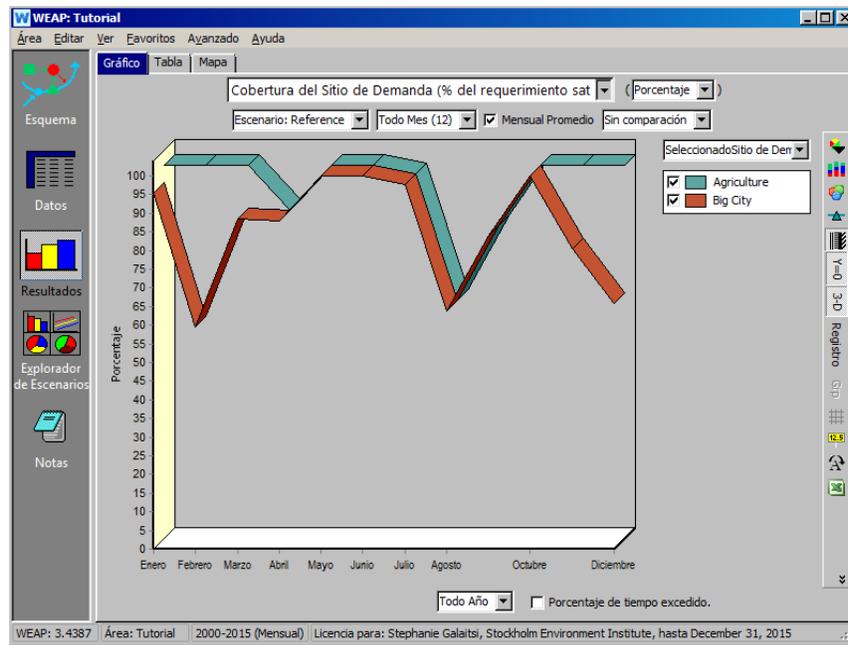
## 11. Comparar Resultados

Despliegue gráficamente “Demanda no Cubierta” para el sitio de demanda Agriculture para los escenarios “Reference” y “Changing Demand Priorities.”

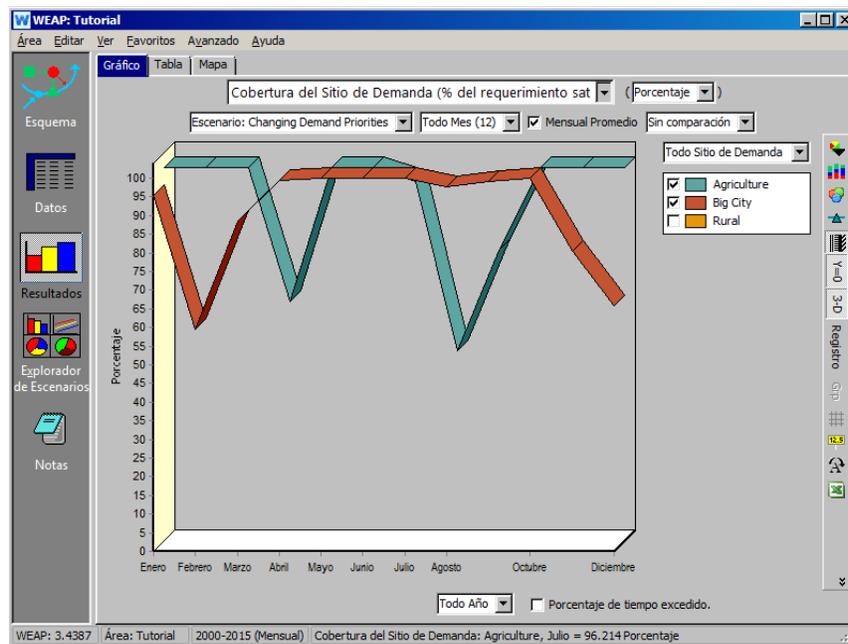
El gráfico debe parecerse a lo siguiente:



Note que la “Demanda no Cubierta” para Agriculture se incrementa cuando la prioridad es aumentada a 2. Esto es porque Big City ahora tiene la mayor preferencia: sus demandas son satisfechas primero. Evidencia de esto puede verse generando un gráfico de “Cobertura” para Big City y Agriculture, (Mensual Promedio) a través de los años del escenario de referencia.



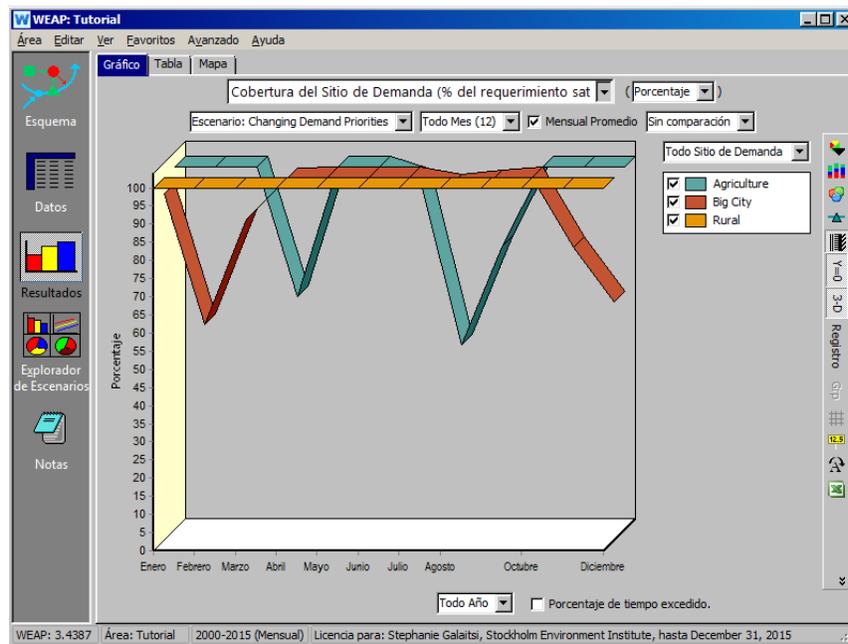
*Ahora compare los resultados al mismo gráfico generado por el escenario “Changing Demand Priorities.”*



Note que en el escenario “Reference,” para la primavera y tarde meses de verano, tanto *Big City* como *Agriculture* no obtienen el alcance repleto de su demanda porque los dos compiten igualmente para flujo de Main River. Cuándo *Big City* se da la preferencia para satisfacer su demanda (cambiando el guion de Prioridades de

Demanda), sin embargo, su cobertura mejora relativo al sitio de demanda *Agriculture*. A veces, el cobertura es 100% para la *Agriculture*, pero no para *Big City* - eso es porque en ese mes no hay la demanda de la *Agriculture* (principalmente observado para los meses de invierno).

El mismo grafico abajo incluye el sitio de demanda Rural. Note que el cobertura de la demanda para el sitio rural de la demanda es siempre 100% - esto es porque los flujos del regreso para *Big City* y *Agriculture* satisfacen la demanda de agua creada por el sitio Rural de la demanda.





# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Refinando el Suministro

*Un tutorial para*

*Cambiar las prioridades de suministro .....98*

*Modelar Embalses .....102*

*Agregar requerimientos de caudal o flujo .....109*

*Modelar recursos de aguas subterráneas .....114*

**noviembre de 2023**

**Note:**

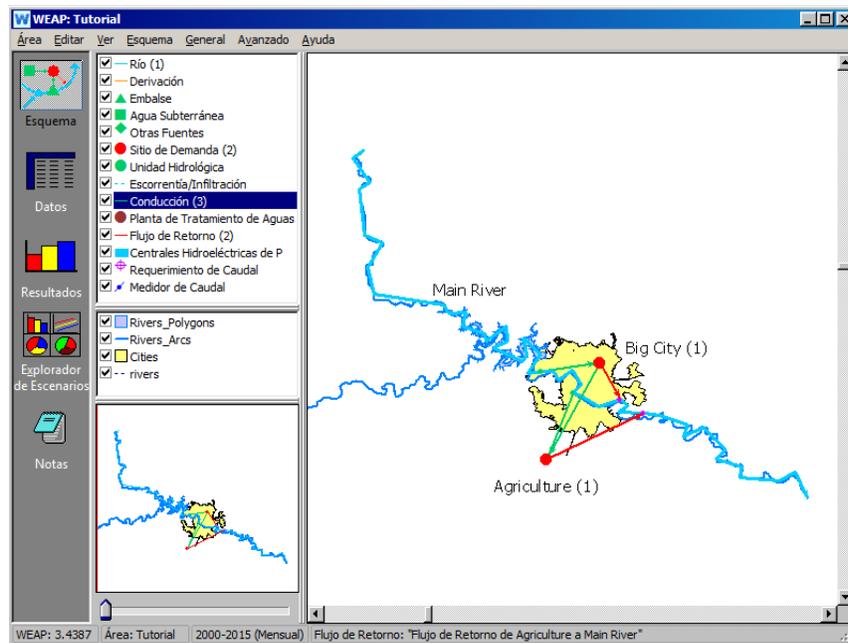
Para comenzar este módulo, desde el menú principal seleccionar “Regresar a Versión Previa” y escoger la versión llamada “Starting point for all modules after ‘Scenarios’ module.”

## Cambiar las prioridades de suministro

### 1. Crear una nueva conducción para el reuso de agua

*Crear una nueva conducción comenzando en el sitio de demanda Big City y terminando en Agriculture. Este es un modelo conceptual de reuso de aguas servidas de una zona urbana para propósitos agrícolas. Fije el “Suministro de Preferencia” en esta Conducción en 2.*

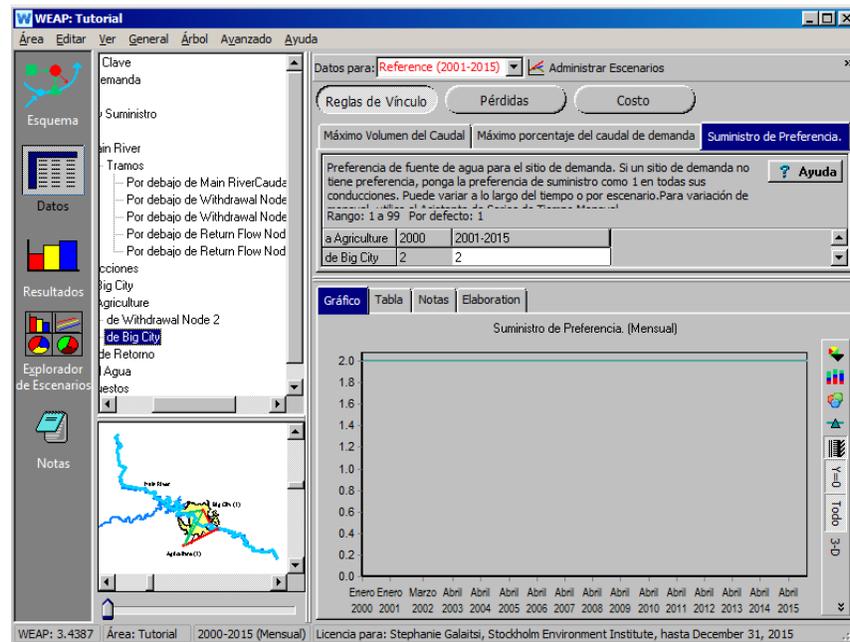
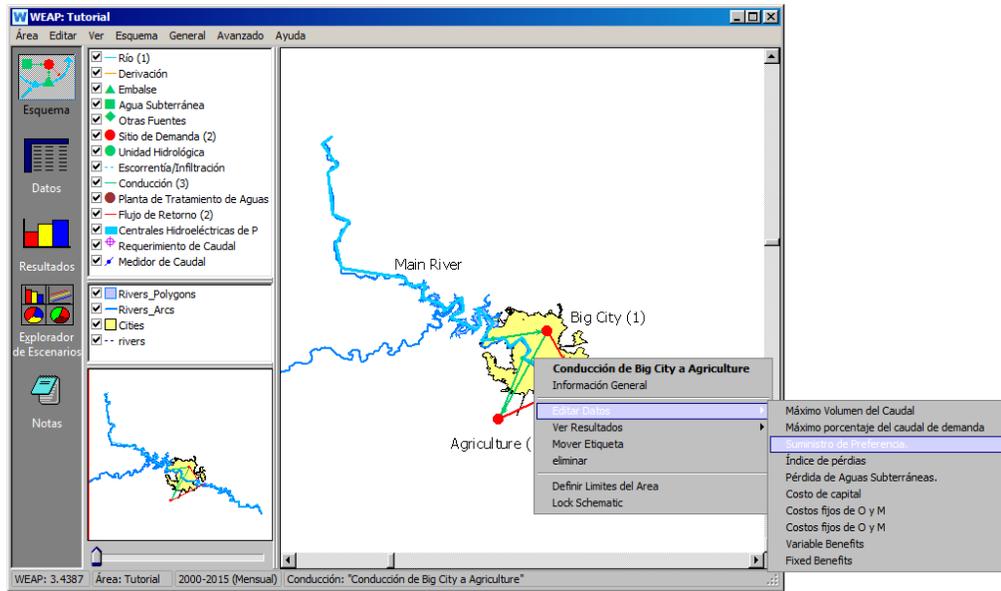
**Suministro de Preferencia                      2**



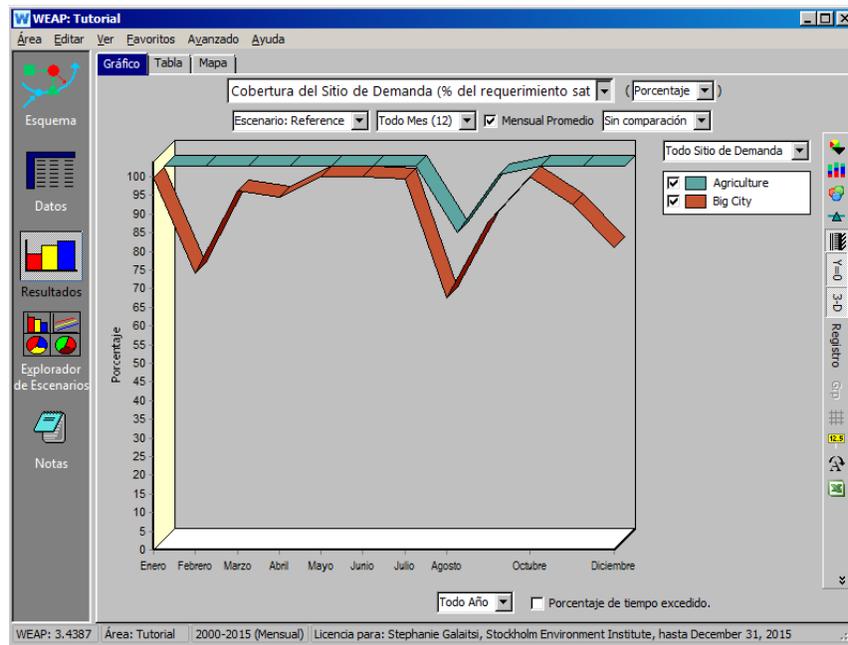
Si se preocupa con la calidad del agua, se podría haber añadido una planta de tratamiento de aguas residuales para el agua de Big City, antes que Agriculture lo reciba. Tener la planta de tratamiento en el esquema permitiría simular los cambios en la calidad del agua antes y después del tratamiento.

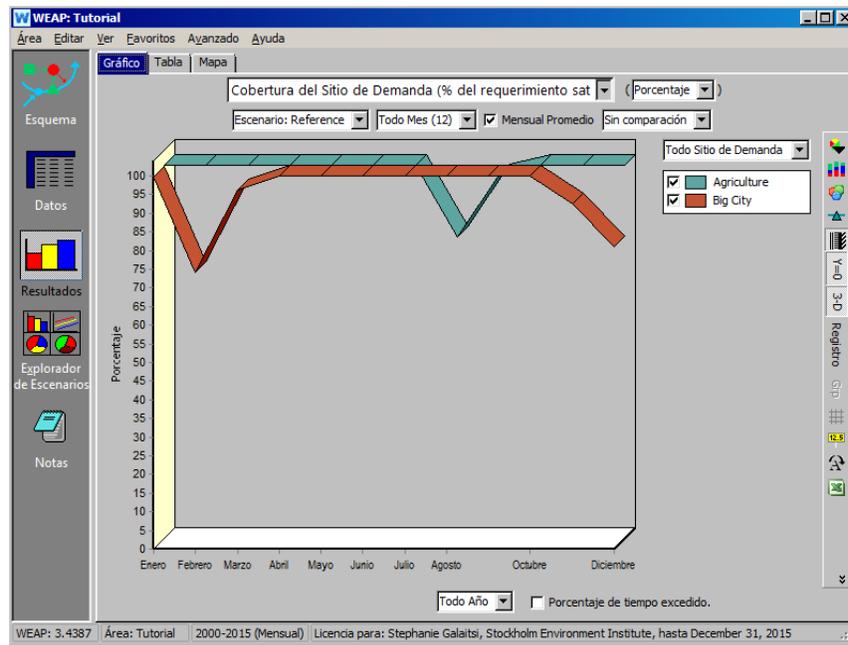
## 2. Resultados cuando se cambian las preferencias de suministro

Trate de cambiar las preferencias de suministros en las dos conducciones que ahora suministran a Agriculture y vea “Cobertura” para los sitios de demanda en el ambiente Resultados. Para cambiar las prioridades, haga clic en el botón derecho sobre el “conducción” en el ambiente “Esquema.”



Trate las siguientes combinaciones:

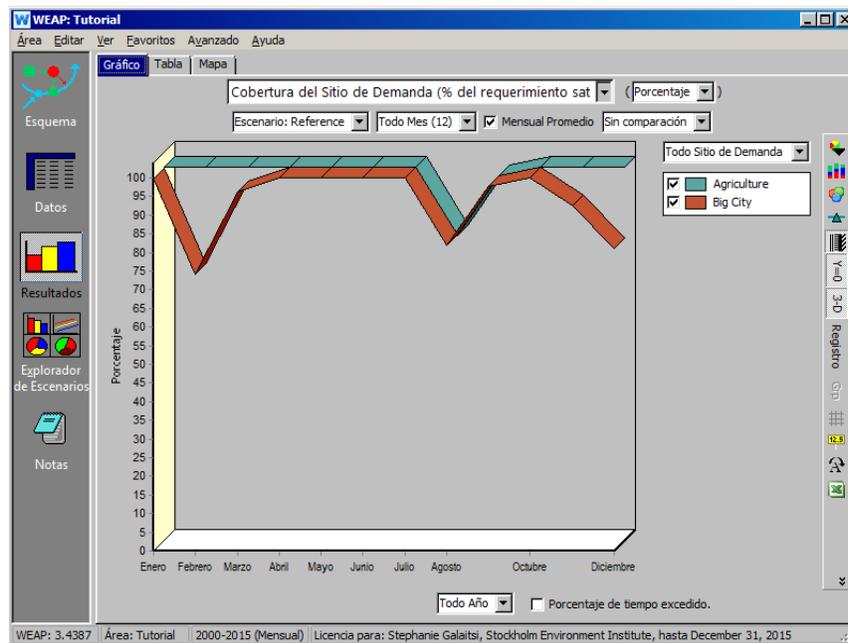
***Suministro de Preferencia:******1 para conducción de Main River,******2 para la conducción de Big City******Suministro de Preferencia:******2 para conducción de Main River,******1 para la conducción de Big City***



**Suministro de Preferencia:**

**1 para conducción de Main River,**

**1 para la conducción de Big City**



¿Entiende porque cambian las demandas cuando las preferencias cambian?



Se puede modificar el visualización de preferencias en el Esquema en el menú Esquema/Cambiar Vista Prioritaria. La opción “Ver orden de asignación” mostrara el orden de prioridad real que WEAP utiliza para calcular el suministro. Esta es una función de la preferencia de suministro de la conexión y la prioridad de demanda del sitio.

Tenga en cuenta que se puede estudiar el impacto de los cambios en las preferencias de suministro, como las prioridades de demanda, en la creación de escenarios alternativos.

### 3. Regresar al modelo original

Puede hacer esto escogiendo “Regresar a Versión Previa” dentro de Área en el menú principal.

*Escoja “Starting point for all modules after scenarios module” como lo hizo para comenzar ejercicio.*

## Modelar Embalses

### 4. Crear un embalse e ingresar los datos respectivos

*Primero cree un nuevo escenario heredado de “Reference” y nómbrelo “Reservoir Added.” Entonces agregue al objeto “Embalse” en Main River río arriba de Big City, y llámelo Main River Reservoir asegúrese de desbloquear la opción donde pregunta si es “¿Activo en Cuentas Corrientes?”*

*Deja la Prioridad de Demanda en 99 (default).*

**Información General**

Embalse

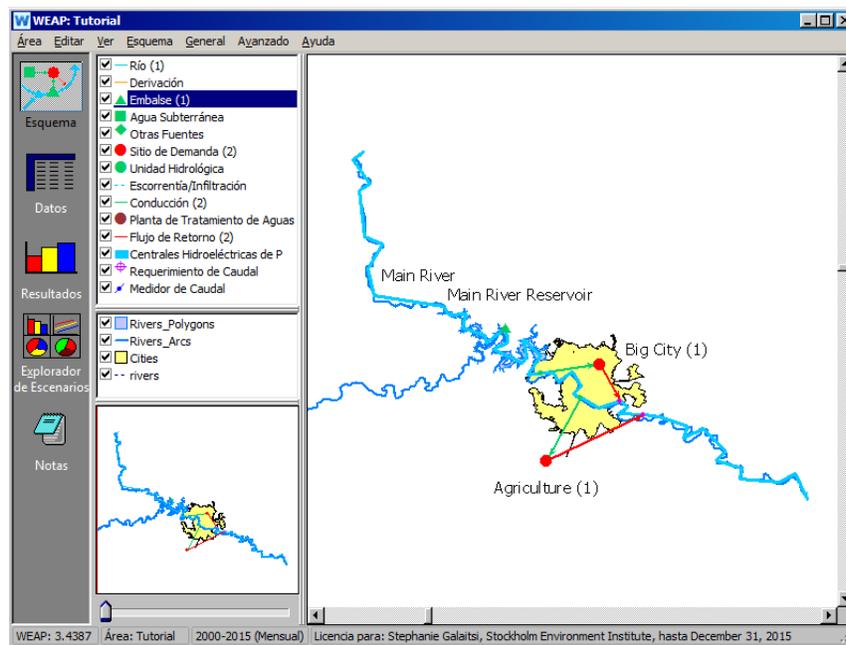
Nombre:

Etiqueta opcional para un esquema (Utilice ; para los de línea):

¿Activo en Cuentas Corrientes?

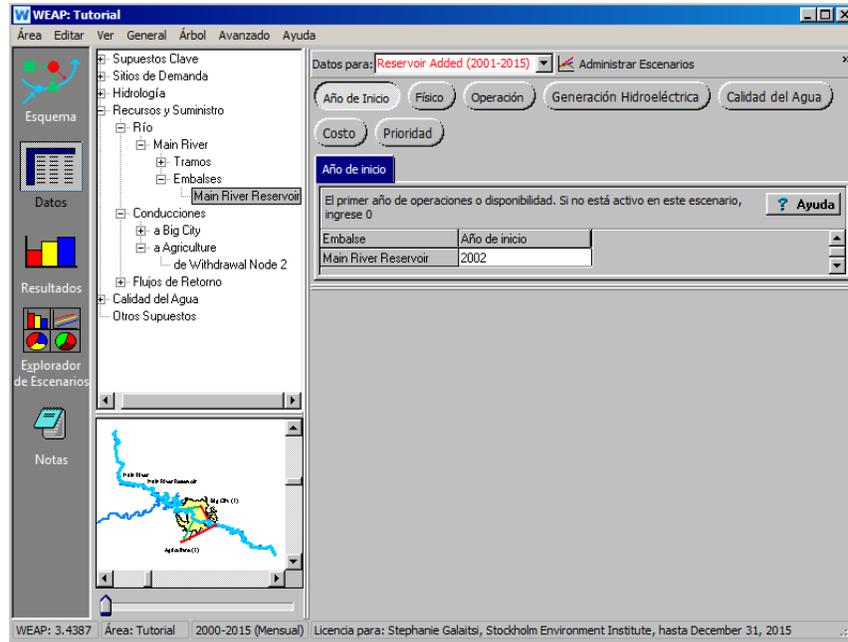
Prioridad de la Demanda:  (for filling reservoir)

Nota: 1 es la prioridad más alta, 99 es la prioridad más baja.



*Clic en botón derecho sobre Main River Reservoir y seleccione "Editar Datos." Seleccione la variable "Capacidad de almacenamiento" e ingrese al ambiente "Datos" (asegúrese de que el escenario "Reservoir Added" este seleccionado). Clic en "Año de Inicio" antes de alterar otros parámetros.*

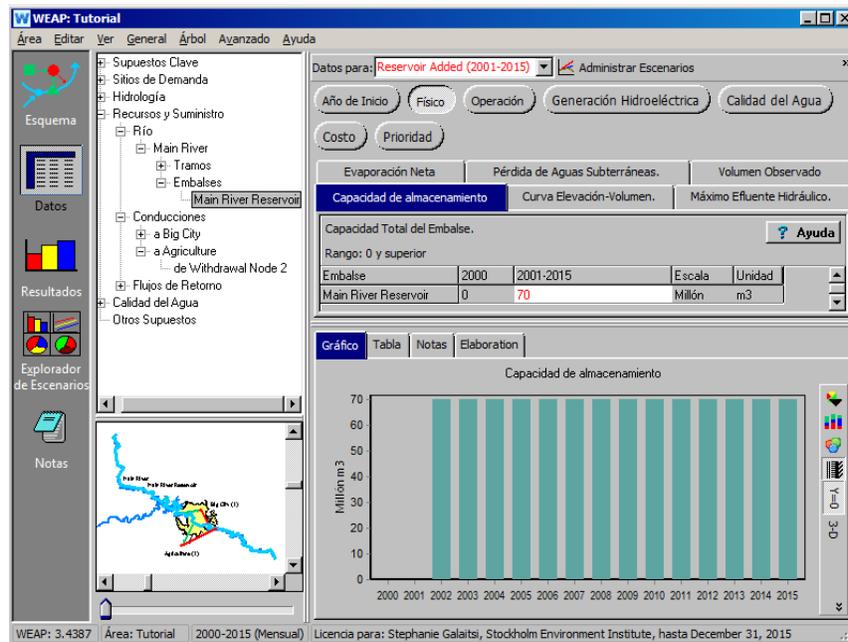
*Escoja 2002 como inauguración para Main River Reservoir.*



Clic en la carpeta “Físico” y cambie lo siguiente:

**Capacidad de almacenamiento**                      **70 M m<sup>3</sup>**

Note que la escala se fija en Millón.



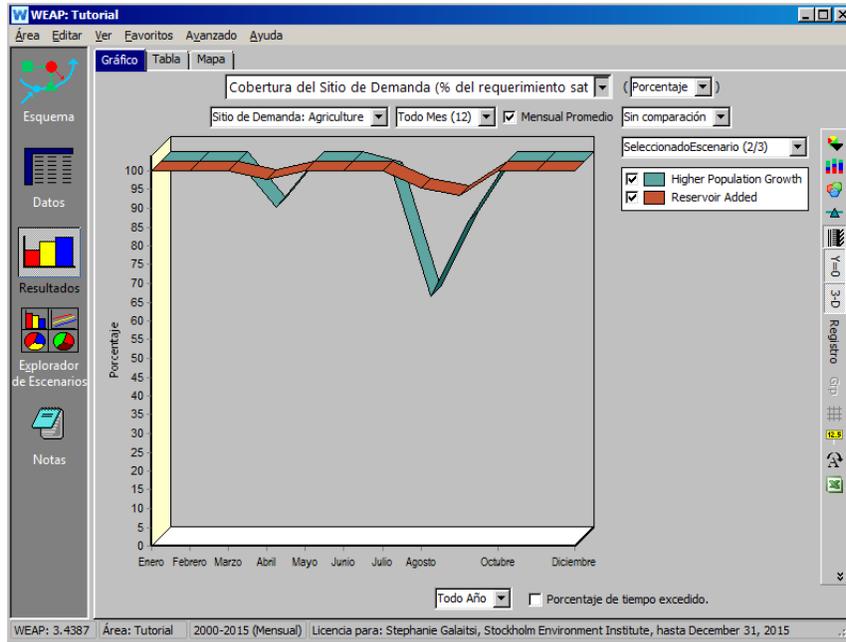
*Vaya a Operación/Parte Superior de Conservación. Este variable de referencia interna es erróneamente todavía en Inglés. Necesitamos cambiarlo en español. Haga clic derecha sobre la pestaña “Parte Superior de Conservación” y haga clic en “Editar.” Cambie “Storage Capacity” en la parte inferior a “Capacidad de almacenamiento.”*



Más detalles sobre el funcionamiento de embalses y la producción de energía hidroeléctrica se proporcionan en la sección “Embalses y Generación Hidroeléctrica.”

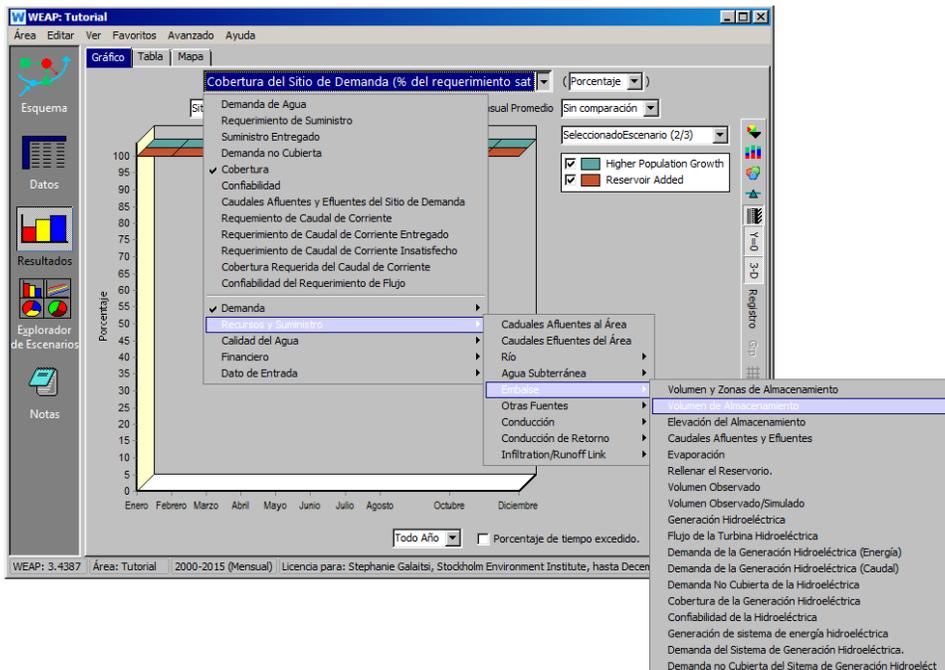
## 5. Ejecutar el Modelo y Evaluar los Resultados

*Compare “Cubertura” para el sitio de demanda Agriculture en los escenarios “Reference” y “Reservoir Added.”*

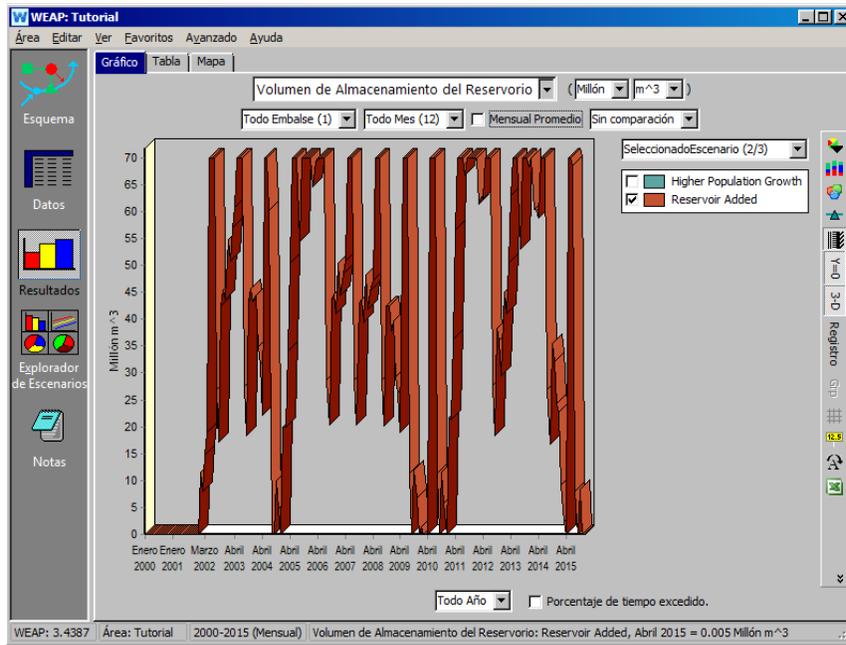


Cobertura de Demanda: ¿porque la agricultura posee mayor cobertura con la reserva en el lugar?

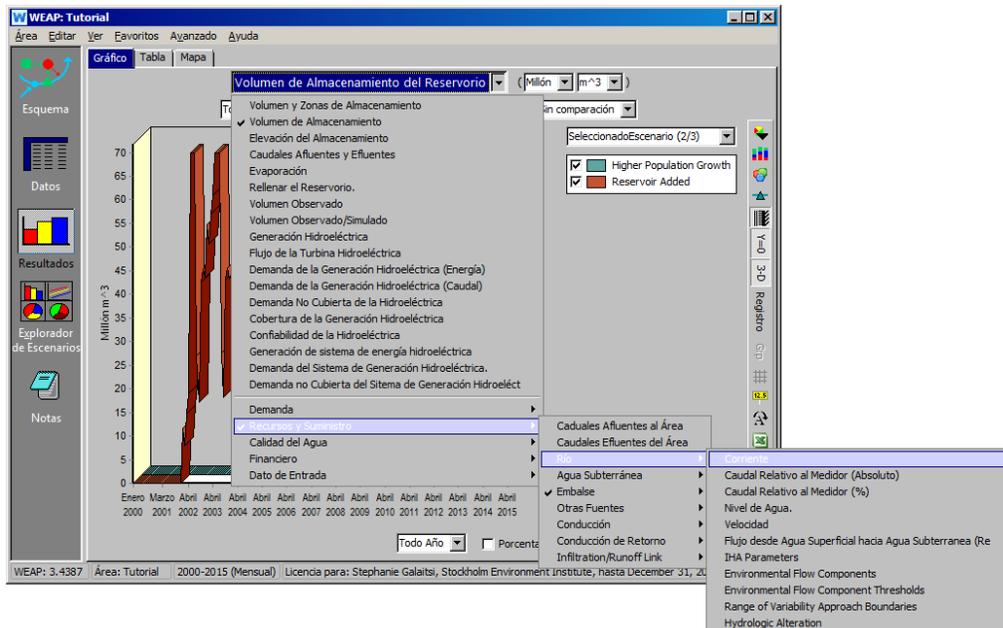
Use el menú principal en para seleccionar “Volumen de Almacenamiento (bajo Recursos y Suministro\Embalse), y seleccione “Todo Año” a los pies del gráfico. Deseleccione “Mensual Promedio.”

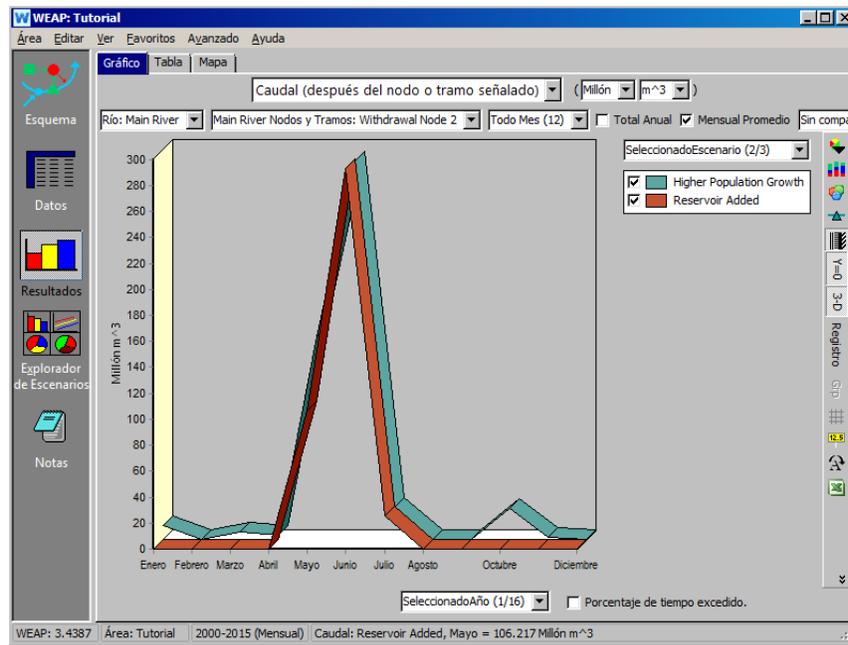


Volumen de Almacenamiento del Reservorio: ¿Aparenta ser sustentable la construcción de una reserva?



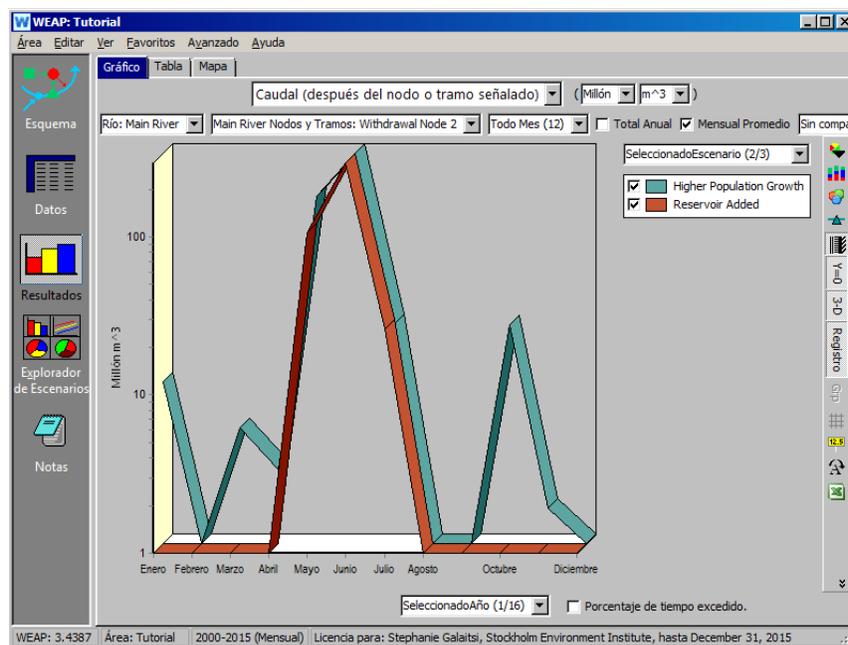
Seleccione “Caudal” (bajo Recursos y Suministros/Río) del menú principal y clic en “Mensual Promedio.” Escoja 2002 desde “Seleccionado Años” y en el menú “Main River Nodos y Tramos” debajo el menú principal, escoja “Withdrawal Node 2” para comparación.



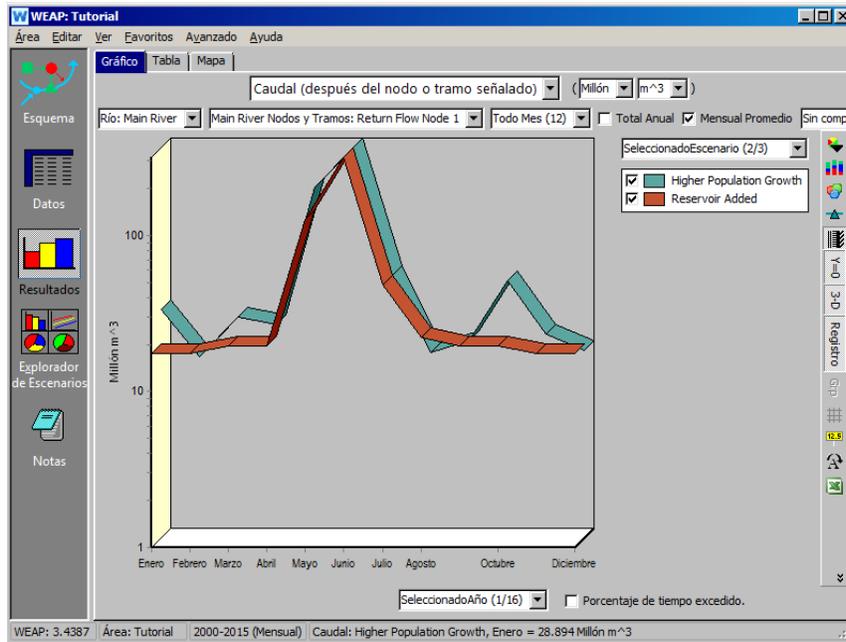


Caudal en el río: ¿Cómo cambian los flujos o caudales río abajo de la reserve en el río principal?

*Escojamos escala logarítmica (el botón “Registro” ubicada en la barra vertical a la derecha) par haber más claramente las diferencias río arriba y río debajo de Main River Reservoir.*



*Seleccione "Return Flow Node 1" para comparación.*



¿Porque es que "Caudal" en este tramos es más parecido en ambos escenarios?

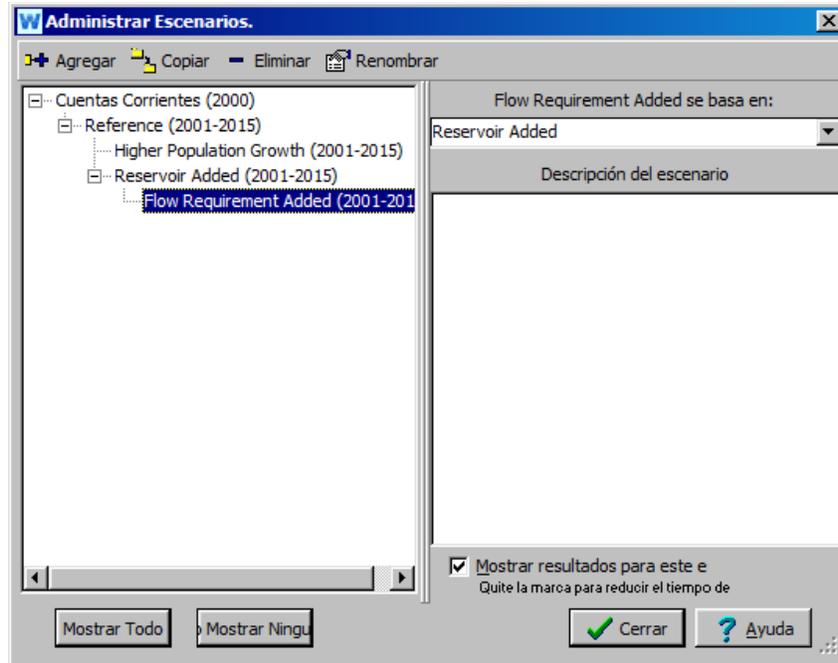


La creación de un gran embalse permite el almacenamiento de agua "exceso" durante los periodos de alto flujo para cubrir la demanda de agua durante los periodos de bajo flujo. Eso puede potencialmente impactar el régimen hidrológico del rio aguas abajo del embalse. Los Flujos de Retorno de Big City y Agriculture proporcionan el caudal en el Main River durante los meses de primavera y de invierno. Los variables de operación de un embalse y los requisitos de flujos pueden ser utilizados para mitigar el impacto aguas abajo del embalse.

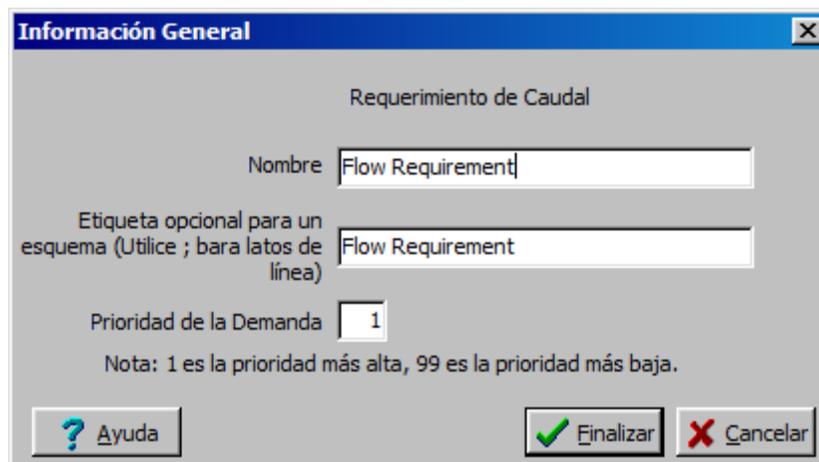
## Agregar requerimientos de caudal o flujo

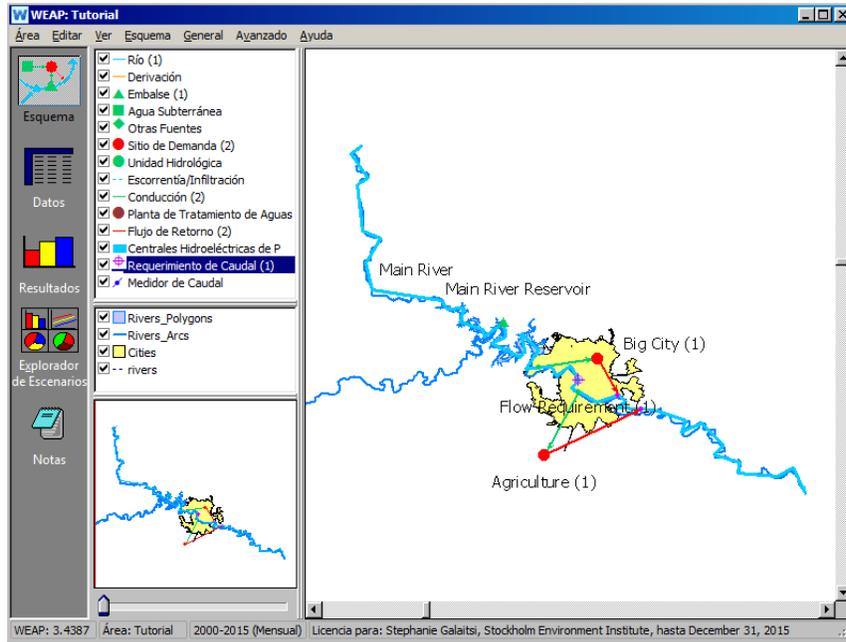
### 6. Crear requerimientos de Caudal

*Crear un nuevo escenario: "Flow Requirement Added." Este es heredado de "Reservoir Added." El árbol de escenarios debe verse así:*



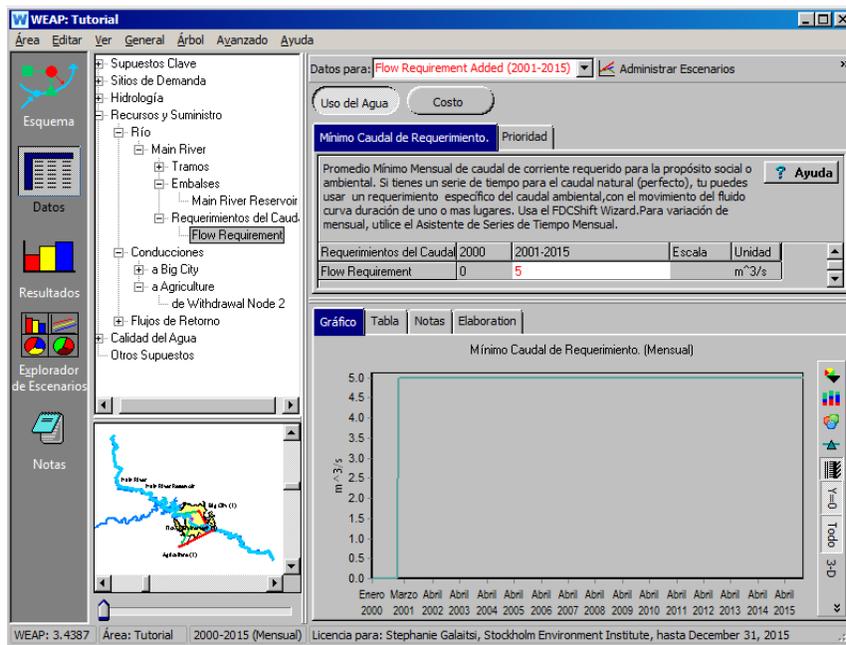
*Ahora agregue un “Requerimiento de Caudal” en el ambiente “Esquema” debajo de “Withdrawal Node” para Big City (la conducción del río a Big City), pero aguas arriba de “Withdrawal Node” para Agriculture (la conducción del río a Agriculture). Nómbrelo “Flow Requirement.”*





*Clic derecho en “Flow Requirement” y seleccione Editar Datos \Mínimo Caudal de Requerimiento. Asegúrese de que aún está en el escenario “Flow Requirement Added” y agregue el valor:*

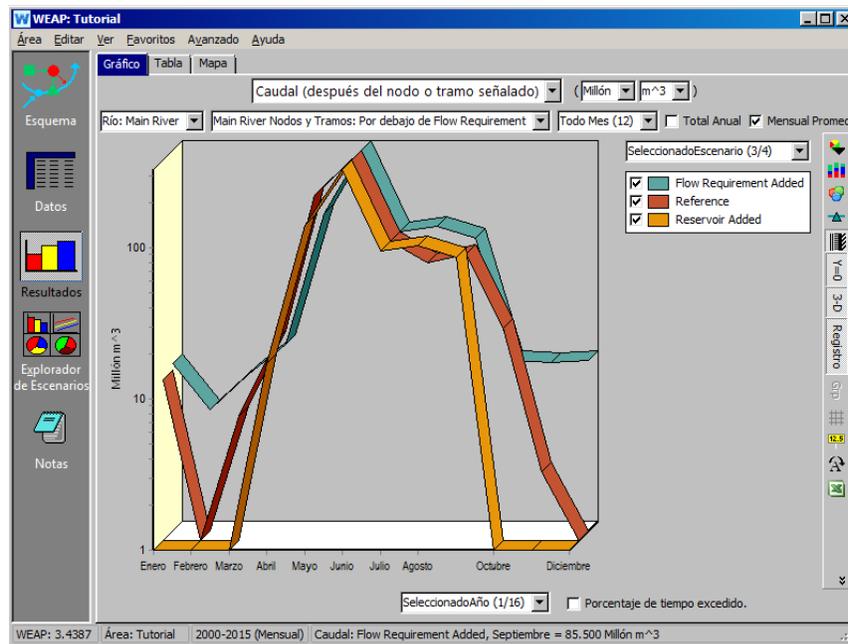
**Requisito de caudal mínimo:            5 m<sup>3</sup>/s**



## 7. Ejecutar el Modelo y evaluar los Resultados

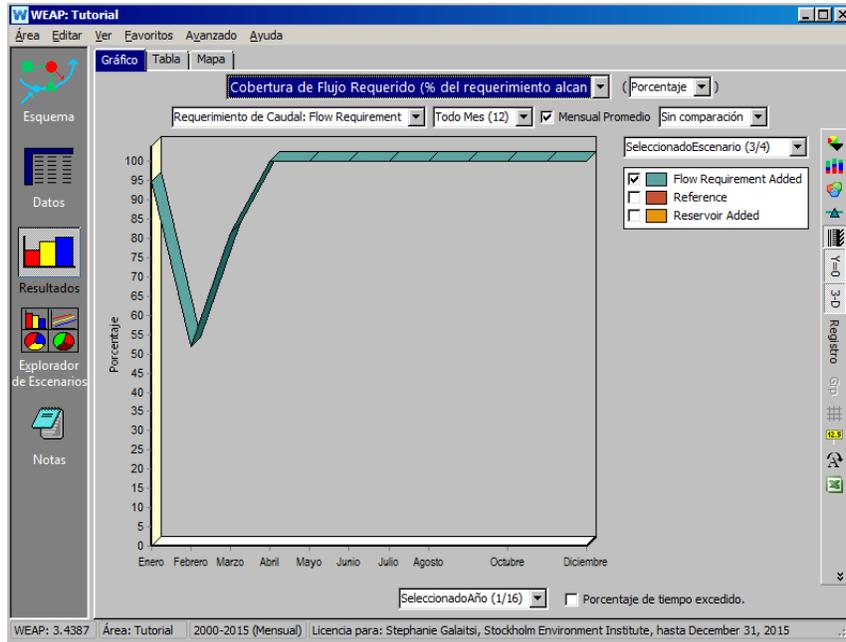
Miremos los resultados y pensemos en las preguntas relacionadas.

*Compare "Caudal" para "Reference", "Reservoir Added", y "Flow Requirement Added" para el mismo año (2002). En el menú "Main River Nodos y Tramos," seleccione "Por debajo de Flow Requirement." Debería obtener el siguiente gráfico:*



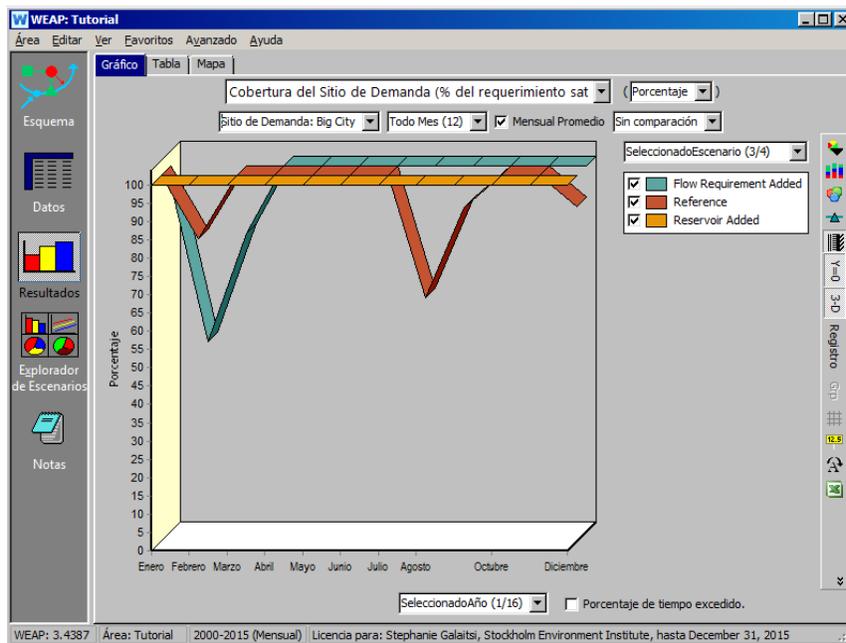
¿Cómo afecta el requerimiento de caudal cambia al caudal cuenca abajo de flujo requerido?

*Se puede saber seleccionando "Cobertura Requerida del Requerimiento del Caudal" bajo Demanda. Cambie logaritmo por eje Y, y seleccione solo el escenario "Flow Requirement Added."*



¿Cuál es la cobertura del caudal?

*Seleccione Demanda/Cobertura desde el menú principal, seleccione el sitio de demanda Big City, y seleccione "Reference", "Reservoir Added", y "Flow Requirement Added" como escenarios.*



¿Porque la cobertura ha cambiado para la ciudad?

Asumiendo que este Requerimiento de Caudal es más importante que suministrar a la ciudad *Big City*, ¿cómo debería cambiar el modelo para asegurar que los requerimientos de caudal se cumplan?

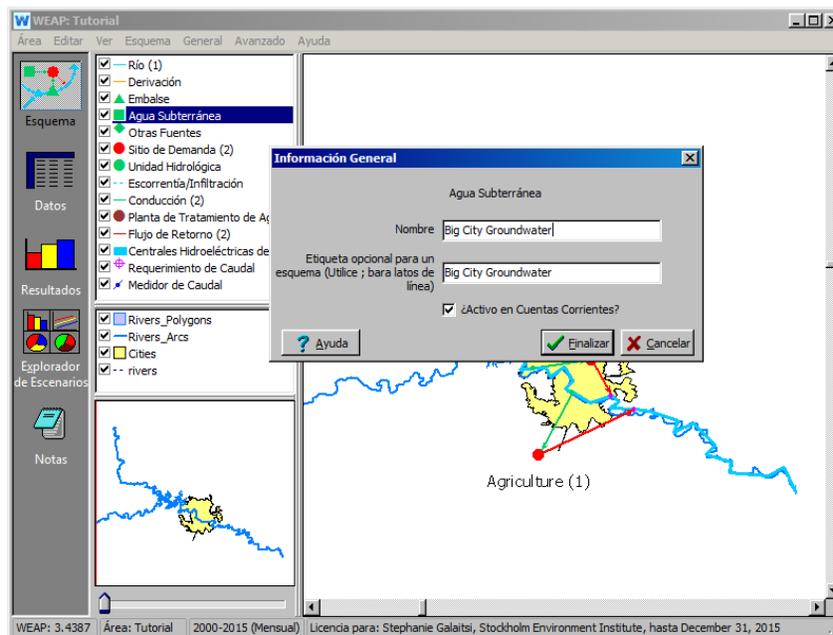


Los niveles de la prioridad de demanda de Big City, Agriculture y el Requerimiento de Caudal determinaran cual demanda será cubierta primero. Para asegurar que el Requerimiento de Caudal está cubierto primero, cambiar la prioridad de demandas de Big City, a un valor más alto que lo para el Requerimiento de Caudal, ya que se encuentra aguas arriba de las necesidades de caudal.

## Modelar recursos de aguas subterráneas

### 8. Crear un recurso de aguas subterránea

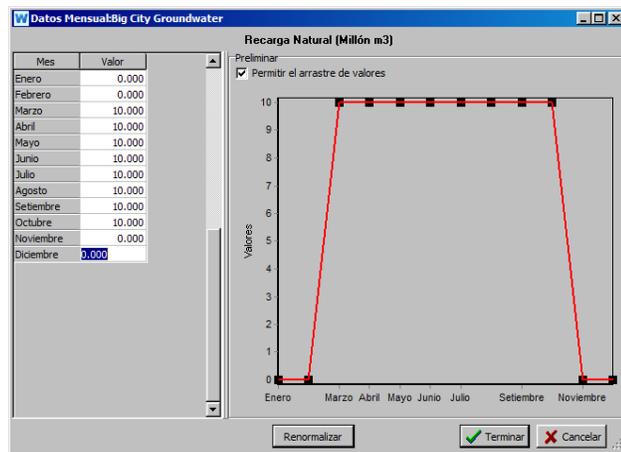
Crear un “Agua Subterránea” junto a la ciudad y nómbrelo *Big City Groundwater*. También márkelo activo en “Cuentas Corrientes.”



En el ambiente “Datos”, da a *Big City Groundwater* las siguientes propiedades (asegúrese de este en “Cuentas Corrientes” para ingresar esta información – si no lo está, la carpeta “Almacenamiento Inicial” no aparecerá):

*Capacidad de Almacenamiento*                      *Ilimitado (dejar vacío)*  
*Almacenamiento Inicial*                              *100M m<sup>3</sup>*  
*Recarga Natural*                                        *Use el Mensual Asistente para Series de Tiempo (haga clic en el espacio bajo “2000”) para ingresar la información siguiente:*

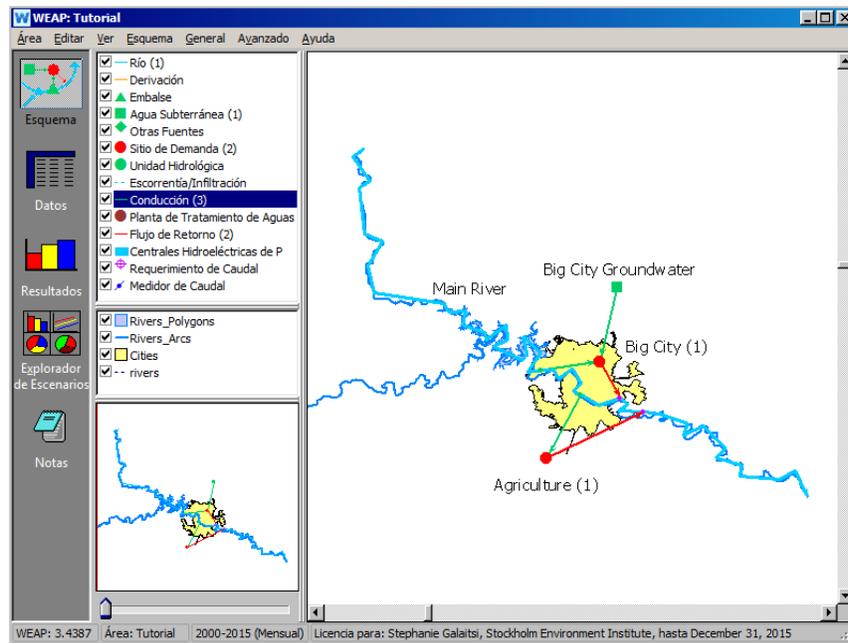
<i>Mes</i>	<i>Valor (Mm<sup>3</sup>)</i>
<i>Enero</i>	<i>0</i>
<i>Febrero</i>	<i>0</i>
<i>Marzo</i>	<i>10</i>
<i>Abril</i>	<i>10</i>
<i>Mayo</i>	<i>10</i>
<i>Junio</i>	<i>10</i>
<i>Julio</i>	<i>10</i>
<i>Agosto</i>	<i>10</i>
<i>Setiembre</i>	<i>10</i>
<i>Octubre</i>	<i>10</i>
<i>Noviembre</i>	<i>0</i>
<i>Diciembre</i>	<i>0</i>



## 9. La conexión de Big City Groundwater con Big City

Use una “Conducción” para conectar *Big City Groundwater* a *Big City* sitio de demanda, y asígnele una prioridad de 2.

Su modelo debiera verse como el que está a continuación:



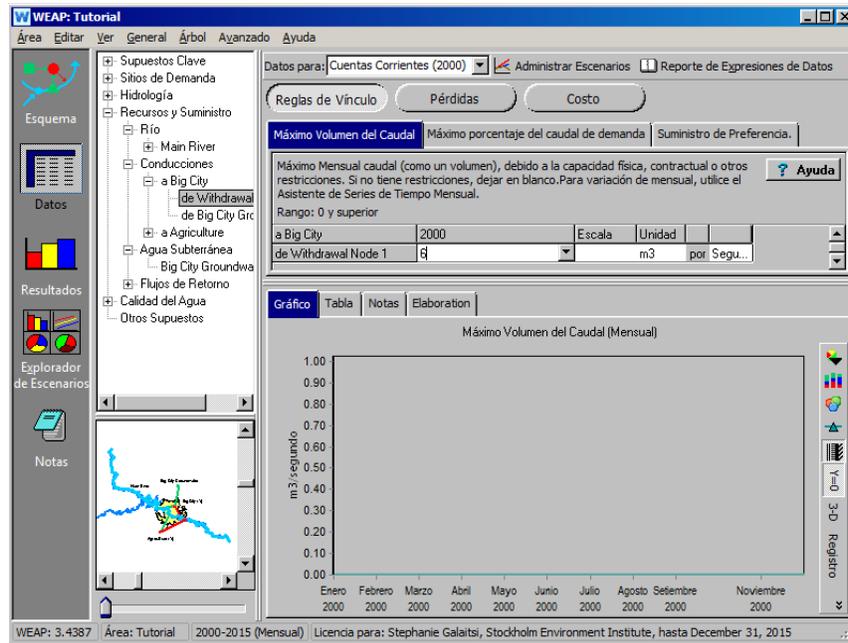
## 10. Actualizar las características de la conexión de transmisión entre el río principal y la ciudad

En el ambiente “Datos,” cambie las características de “Conducción” conectando *Main River* (Withdrawal Node 1) y *Big City* (asegúrese de estar en la Cuentas Corrientes):

<i>Suministro de Preferencia</i>	<i>1 (condición base)</i>
<i>Máximo de Caudal</i>	<i>6 m<sup>3</sup>/segundo</i>



El volumen máximo de flujo o porcentaje de demanda (parámetros) representan restricciones en la capacidad de un recurso (debido, por ejemplo, a los límites de equipo).

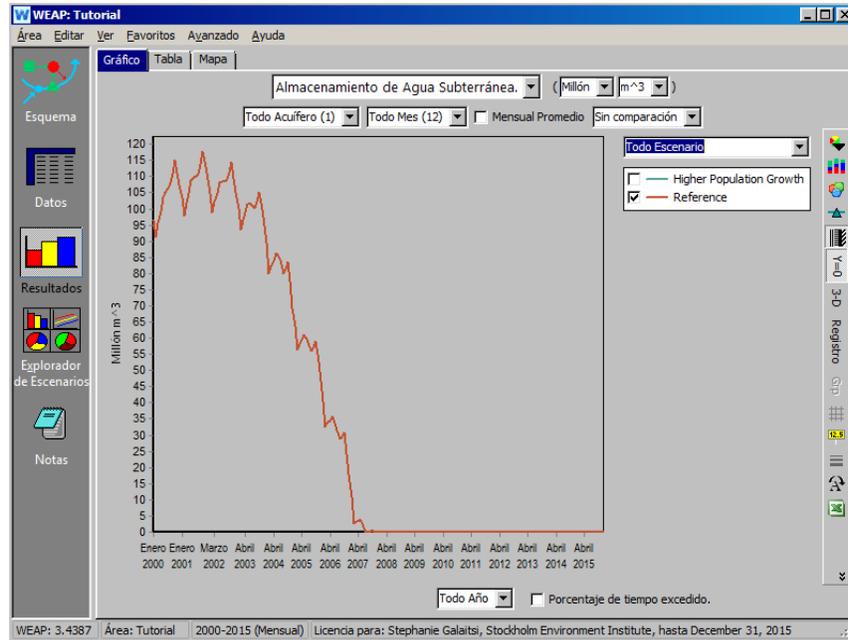


## 11. Ejecutar el Modelo y Evaluar los Resultados

Observemos los siguientes resultados y pensemos en preguntas.

- *¿Es la extracción de agua subterránea requerida a cumplir demandas bajo estas condiciones sustentable?*

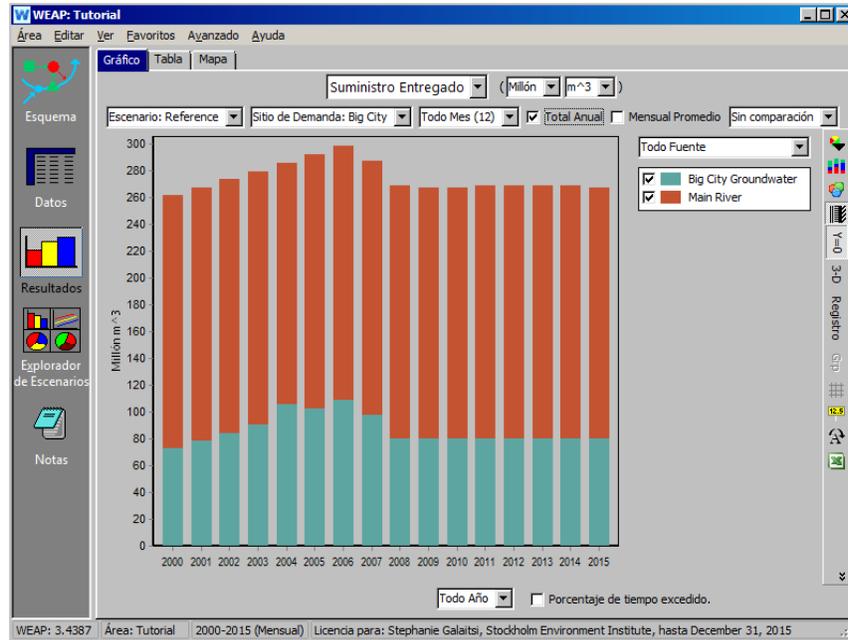
Para ver este resultado, en el menú principal, seleccione “Recursos y Suministro \ Agua Subterránea \ Almacenamiento



- ¿Como el uso relativa del agua de Big City Groundwater y del río principal (Main River) evoluciona a la demanda de Big City?

Para ver resultados gráficos para *Big City*, seleccione Demanda\ Suministra Entregado, usando el menú variable primaria. Luego escoja "Todo Fuente" dentro de las opciones al lado derecho de la pantalla. Luego, seleccione *Big City* como el sitio de demanda. Para verlo, use el menú abajo el gráfico y directamente debajo de la variable primaria campo.

Haga clic en "Total Anual" y en el barro a la derecha, cambie el grafico a columnas ("Barra") y ve como "apilados."



La recarga de las aguas subterráneas y sus interacciones con las lluvias y las aguas superficiales pueden ser modelados en WEAP. Ver la sección de Hidrología para más detalles.

Se puede modelar otros recursos de agua usando el elemento "Otras Fuentes" en el ambiente "Esquema." Por ejemplo, este objeto puede ser utilizado para simular una planta de desalación o transferencias entre cuencas.



# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Datos, Resultados y Formatos

*Un tutorial para*

<i>Intercambio de Datos .....</i>	<i>122</i>
<i>Importar Series de Tiempo .....</i>	<i>125</i>
<i>Trabajando con los Resultados.....</i>	<i>130</i>
<i>Definiendo el Formato.....</i>	<i>136</i>

**noviembre de 2023**



**Note:**

*Para comenzar esta módulo, desde el menú principal seleccionar "Regresar a Versión Previa" y escoger la versión llamada "Starting point for all modules after 'Scenarios' module."*

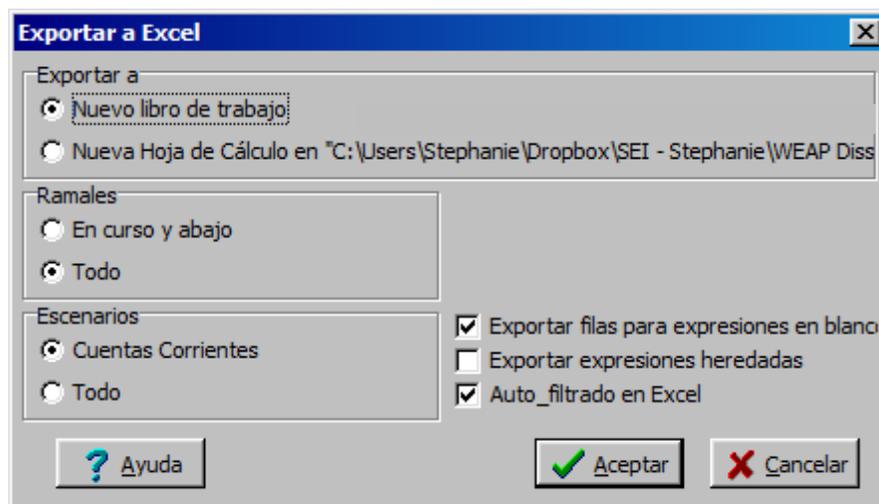
## Intercambio de Datos

### 1. Exportar Datos a Excel

Se puede exportar todo el modelo a Excel.

*En el ambiente "Datos" seleccione "Editar" y luego "Exportar Expresiones a Excel."*

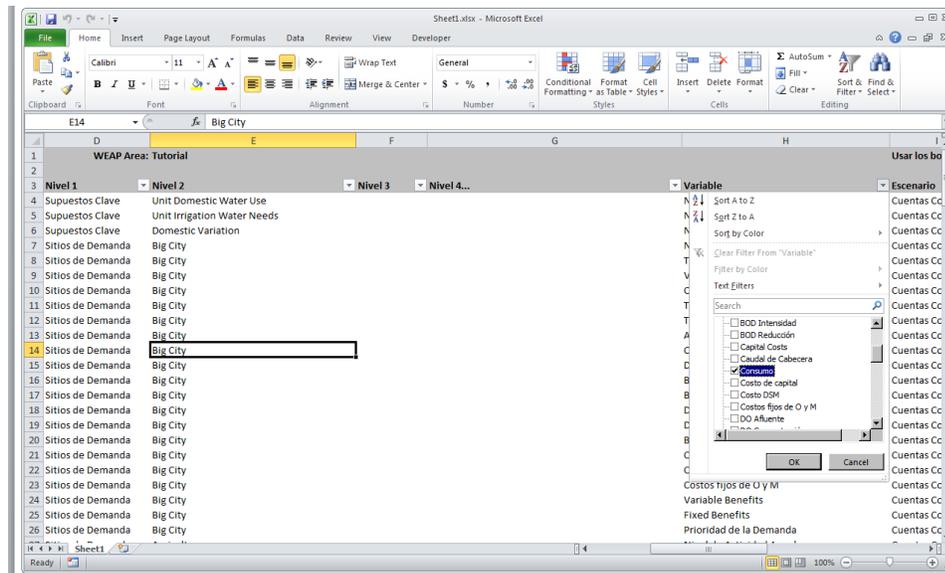
*Para efectos del ejercicio solo exporte el árbol y todas las ramificaciones y todas las variables de "Cuentas Corrientes" (no exporte ninguno de los otros escenarios). Exporte a una nueva hoja de trabajo "workbook." Mantenga todas las opciones restantes.*



## 2. Usar la Opción de Auto Filtro En Excel

*En la hoja de trabajo que se creó en el paso anterior, filtrar los contenidos para desplegar en pantalla solamente la variable “Consumo.” Probablemente tendrá que mover la pantalla hacia la derecha para llegar a la lista de variables.*

*Use la flecha a la derecha de la palabra “Variable” para obtener el listado y seleccione “Consumo.” Tenemos que anular la selección de “(Select All)” [Selección toda].*



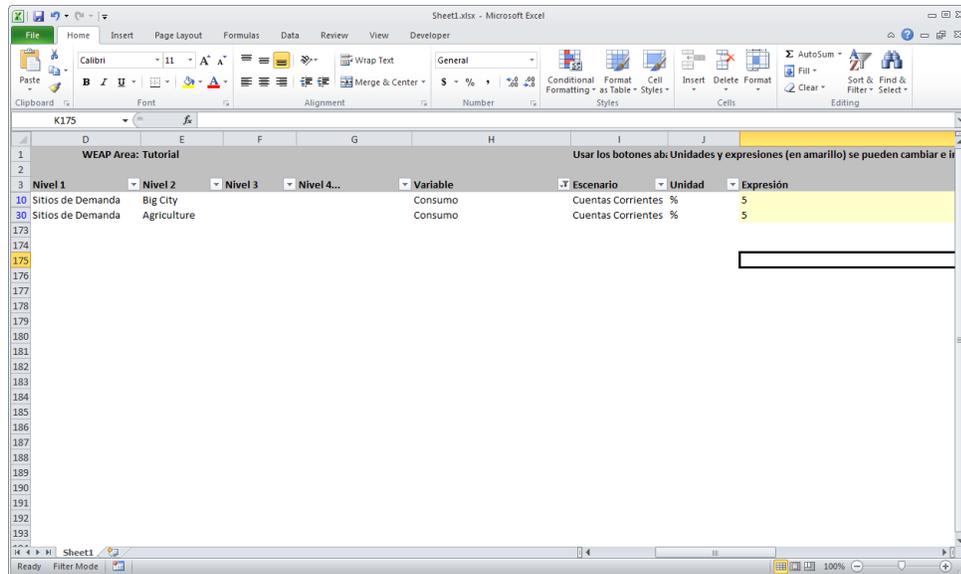
Presione “OK.”

## 3. Modificar Datos

En la hoja Excel que se creó, puede ser conveniente ocultar varias columnas que no se estén usando de manera de ver valores de variables y los Sitios de Demanda a los que corresponden.

*Haga los siguientes cambios en la columna amarilla.*

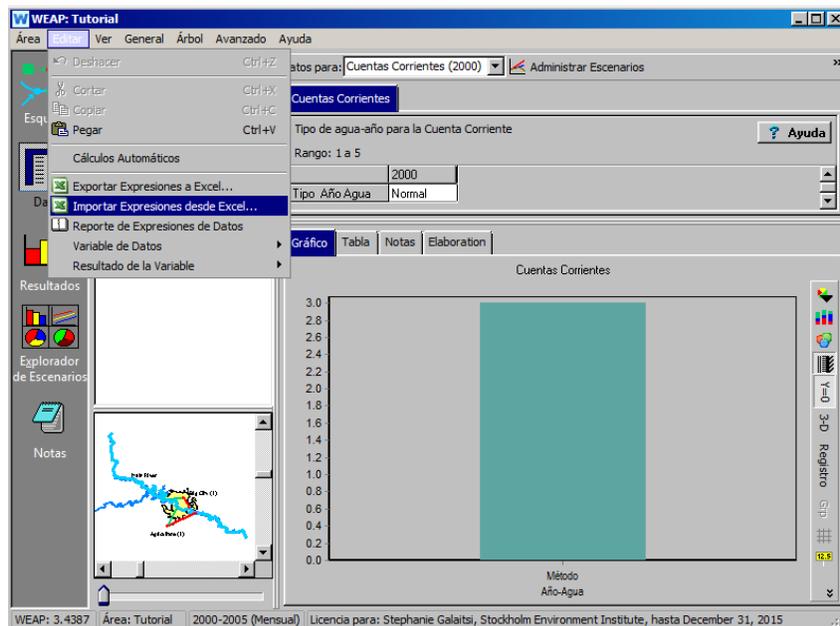
<b>Big City Consumo</b>	<b>5% (fue 15 originalmente)</b>
<b>Agriculture Consumo</b>	<b>5% (fue 90 originalmente)</b>



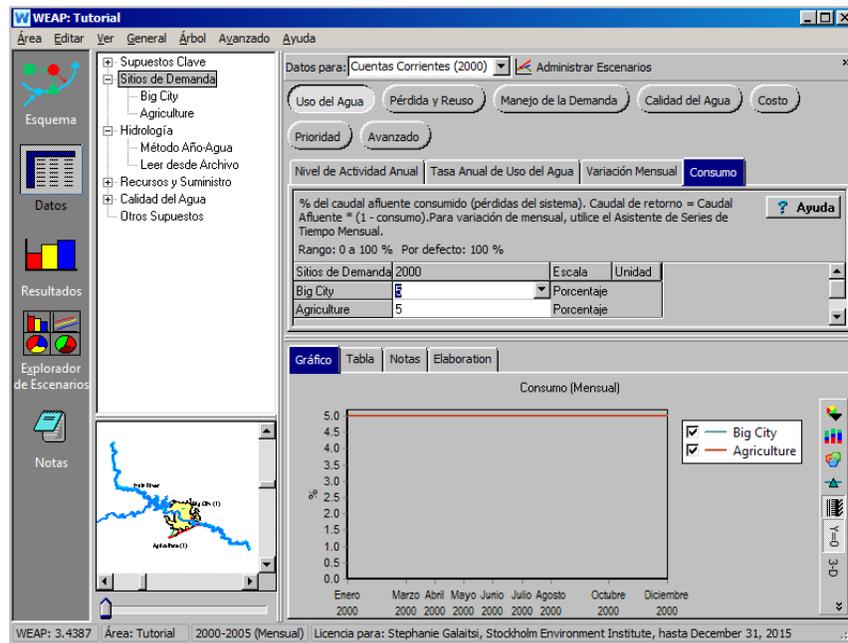
#### 4. Importar Datos Desde Excel

Re-importar los datos modificados en Excel.

*En WEAP, escoja "Editar", "Importar expresiones desde Excel."*



*Chequear que los datos de "consumo" han sido cambiados en el modelo.*



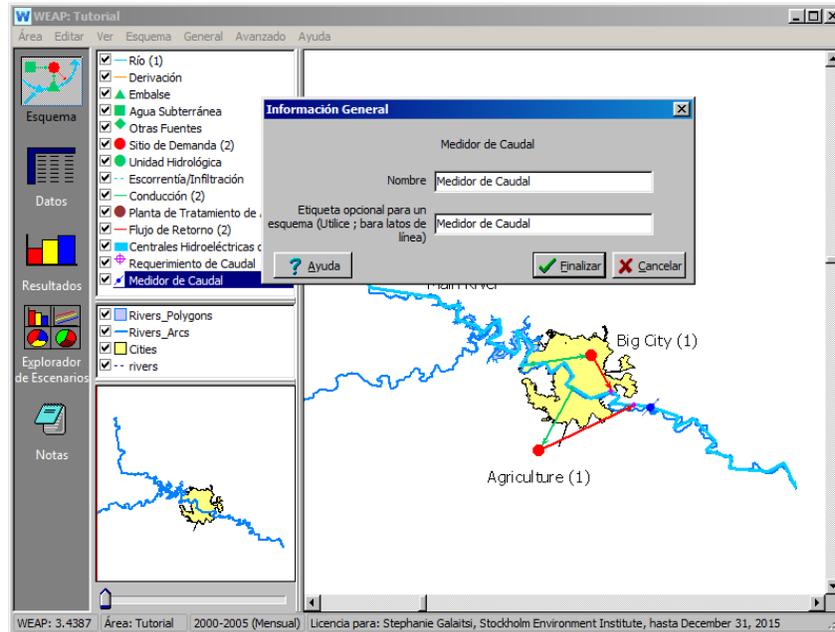
Nota: en Excel si se tienen más de una hoja de trabajo abierto, verifique que se esté importando desde la hoja adecuada.

# Importar Series de Tiempo

## 5. Crear un Objeto Medidor de Flujos

Agregue un “Medidor de Caudal” al modelo.

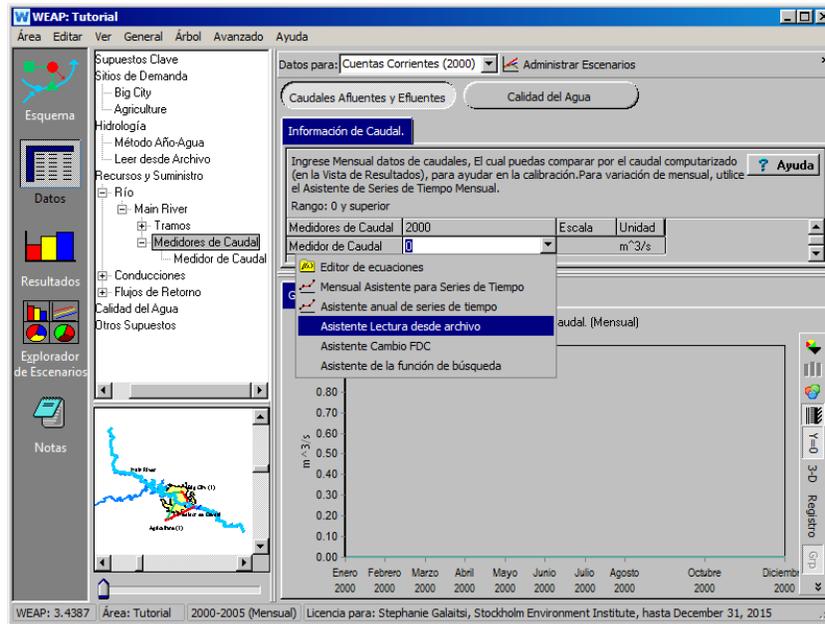
*Inserte un Medidor de Caudal abajo de la ciudad Big City, debajo del retorno de flujo de ambos la ciudad y del nodo de agricultura.*



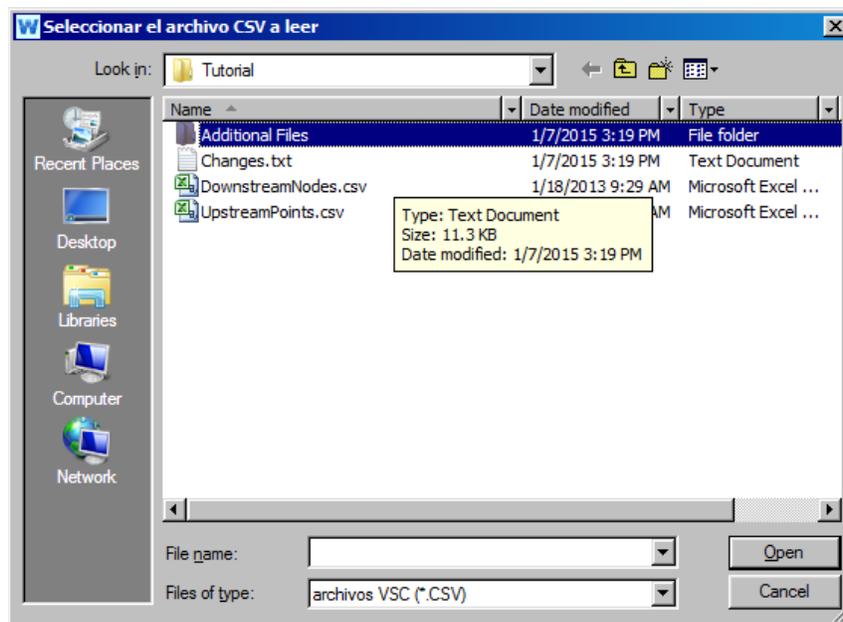
## 6. Importar Datos de Texto

Importar datos de flujo desde un archivo de texto con separador de coma conteniendo aproximadamente 100 años de datos sobre flujos de agua medidos hasta el 2003.

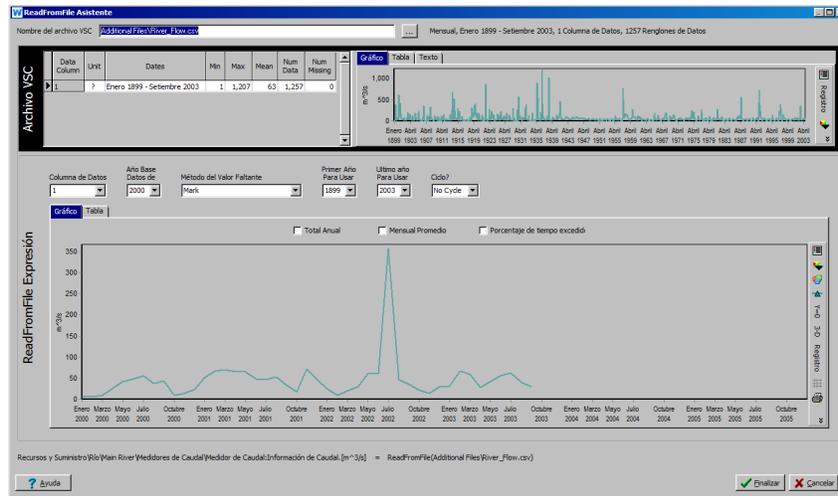
*Para hacer esto utilice “Asistente Lectura desde archivo” en “Datos,” en la carpeta Recursos y Suministro/Rio/Main River/Medidores de Caudal/Medidor de Caudal e Información de Caudal (bajo Caudales Afluentes y Efluentes).*



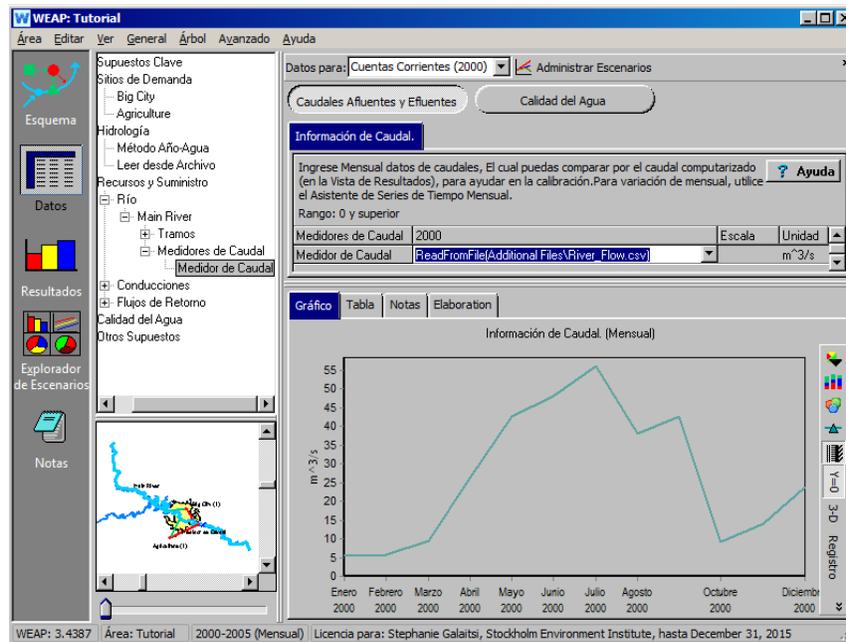
Escriba la siguiente función, la cual leerá el archivo desde un directorio llamado "Additional Files" localizado en su carpeta de Área:



Abra "Additional Files" y seleccione "River\_Flow.csv."



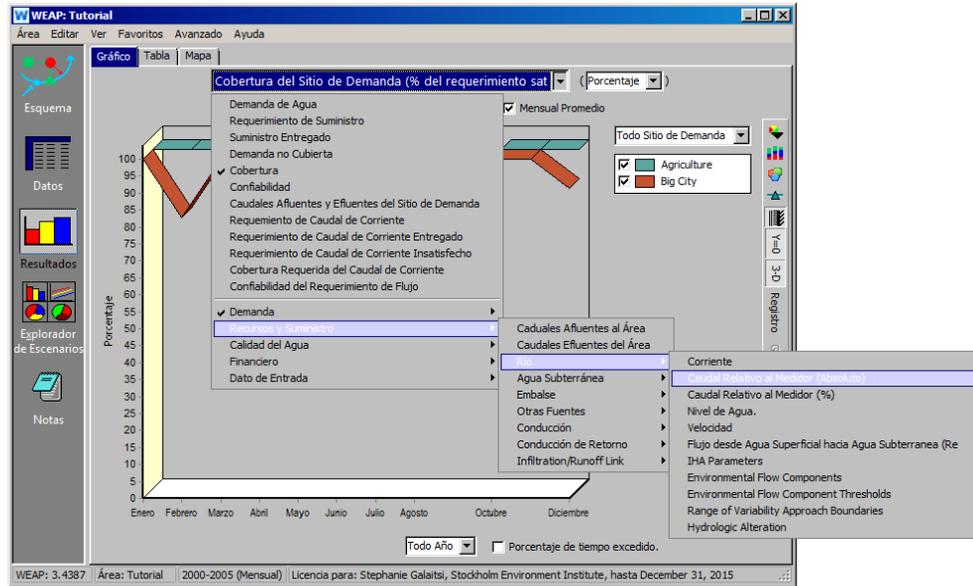
*Presione “Finalizar.”*



## 7. Comparar el Flujo Actual-Real Y el Modelado

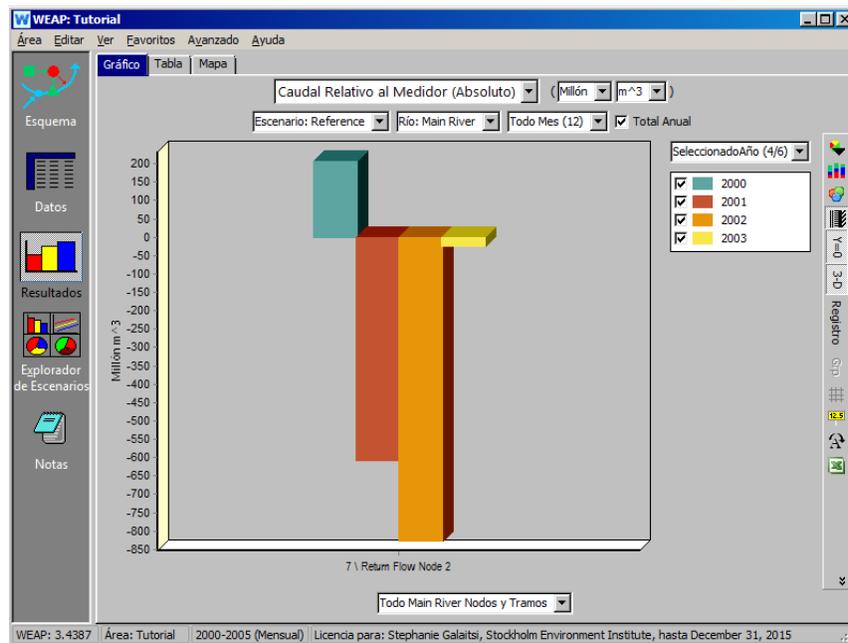
Recalcular los resultados y comparar los flujos históricos con WEAP y su simulación.

*Para hacer esto, haga clic en “Resultados” y “chart” y seleccione del menú “Recursos y Suministro”\ “Río”\ “Caudal Relativo al Medidor (Absoluto).”*



*Al bajo de pantalla, abra el menú con "Todo Año" y escoja "Seleccionado Año" y escoja los años 2000 al 2003 (los datos actuales son en 2000 y no hay más info más a la del 2003). El escenario de referencia ("Reference") aparecerá automáticamente cuando se selecciona "Seleccionado Año."*

*Debe que seleccionar "Total Anual" y cambiar el menú a la derecha a "Seleccionado Año." Deberá obtener un gráfico como el que sigue:*

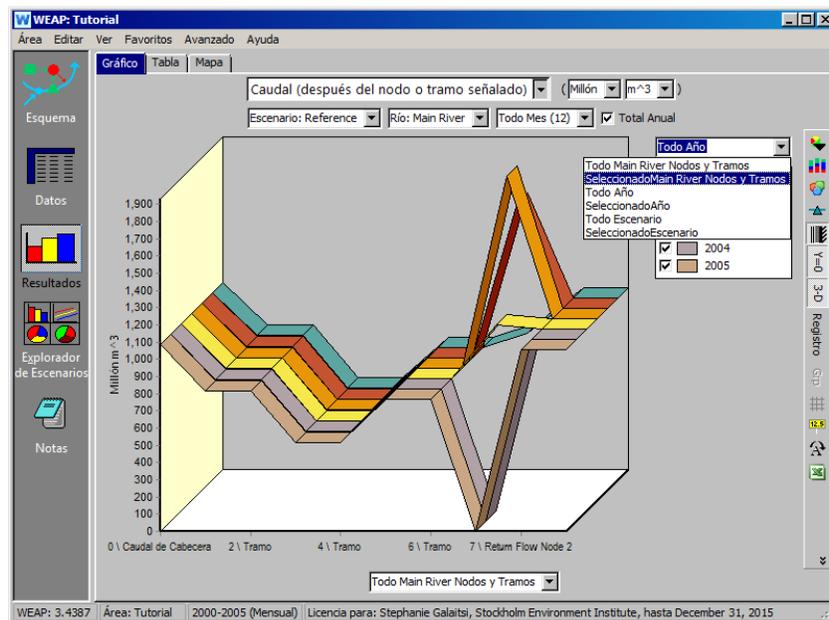


# Trabajando con los Resultados

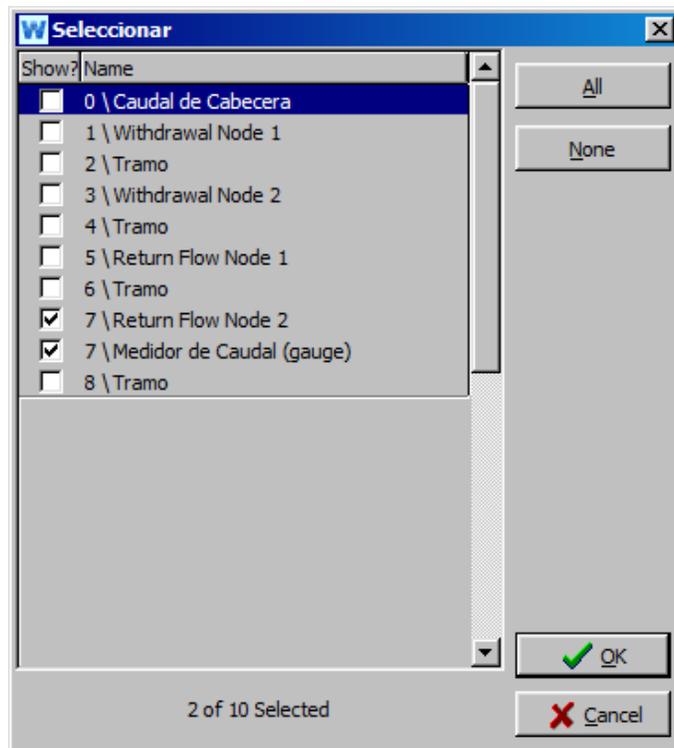
## 8. Crear un Gráfico Favorito

Crear un gráfico de flujo de agua que muestre ambos el flujo actual registrado por el monitor y el simulado en el nodo apropiado, en este ejemplo, "Return Flow Node 2."

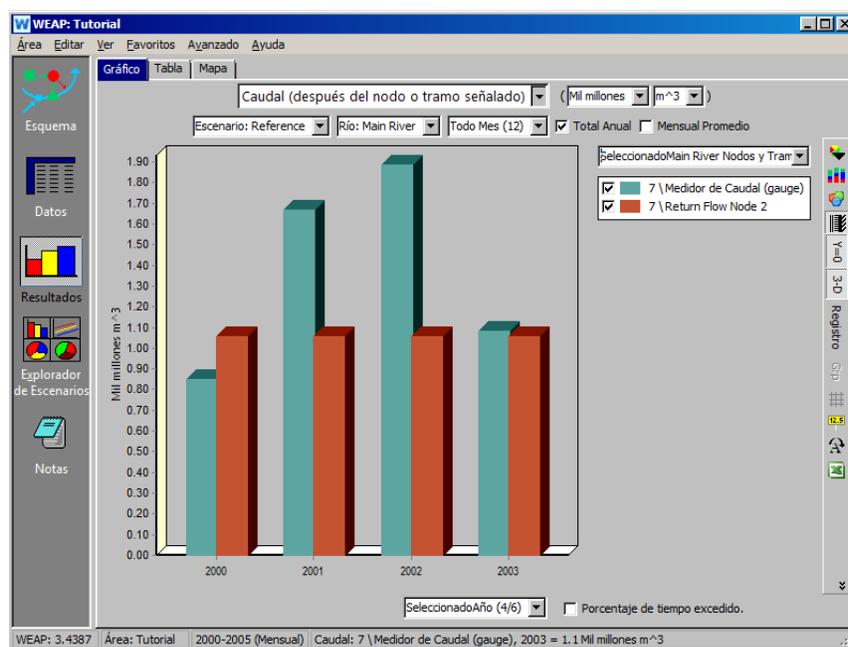
*En el menú en Resultados, selecciona "Recursos y Suministro" \ "Río" \ "Caudal." Justo sobre la leyenda del gráfico, selecciona "Seleccionado Main River Nodos y Tramos."*



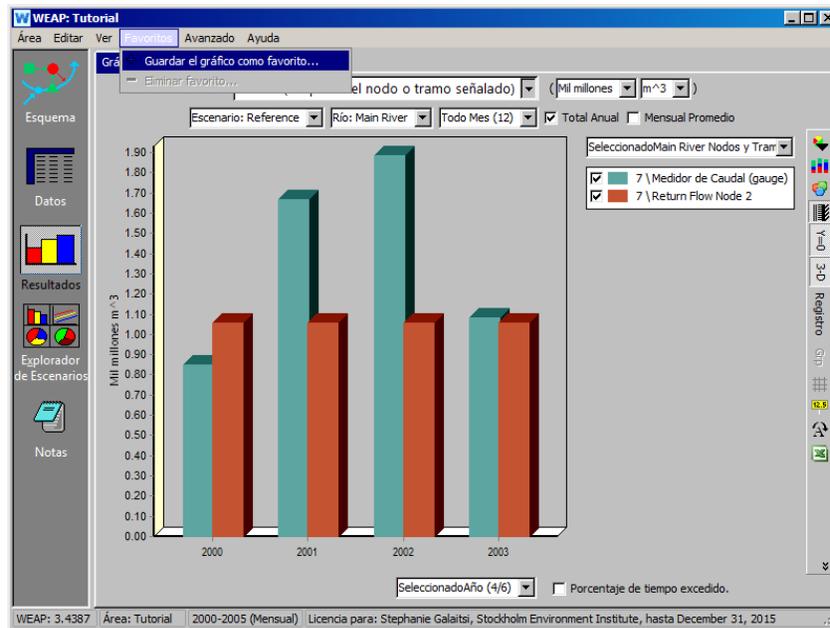
*Seleccione "Medidor de Caudal (gauge)" y "Return Flow Node 2" desde la lista que aparece.*



Finalmente seleccione los años 2000 al 2003 para ser representados en el gráfico. Puede ser que debe haga clic de nueva en su selección de Nodos y Tramos para ver el mismo gráfico y cambiar la información a formato de columnas en paralelo, en el barro a la derecha.



Guarde este gráfico como favorito usando “Favoritos” en el barro a la parte superior de la pantalla. Haga clic en “Guardar el gráfico como favorito.”

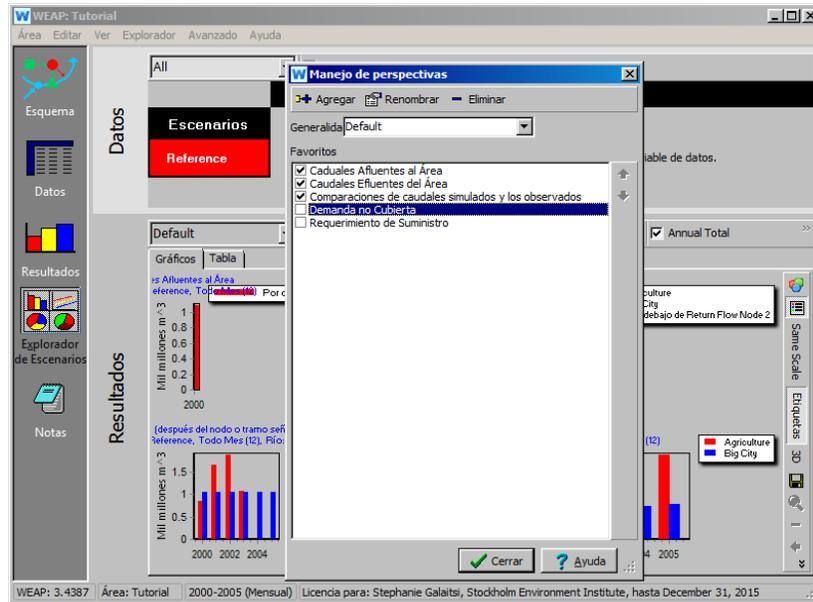


Nómbrelo “Comparaciones de caudales simulados y los observados.” Ahora, el gráfico aparecerá en la lista de gráficos favoritos en el menú “Favoritos.”

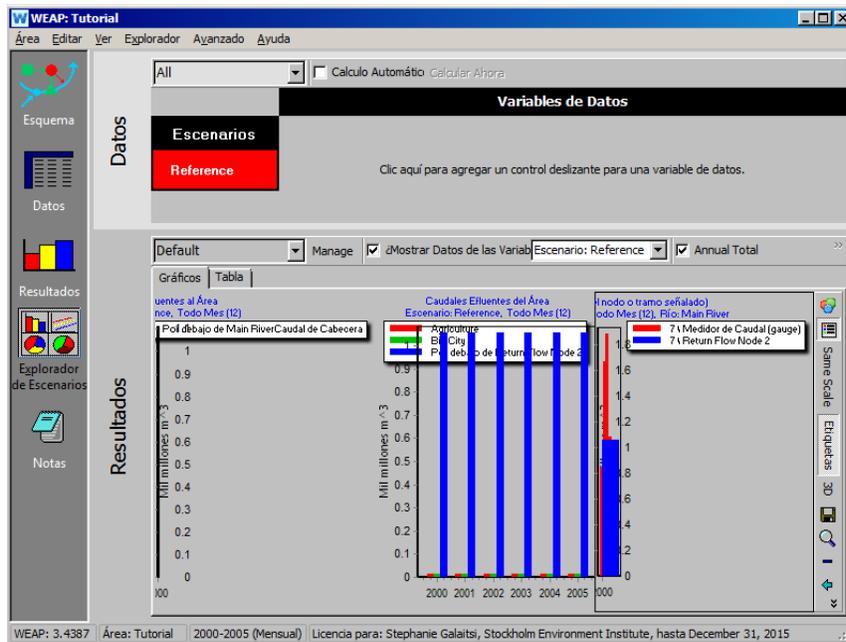
## 9. Crear una Vista General

Crear una vista general mostrando caudales afluentes y caudales efluentes en gráficos.

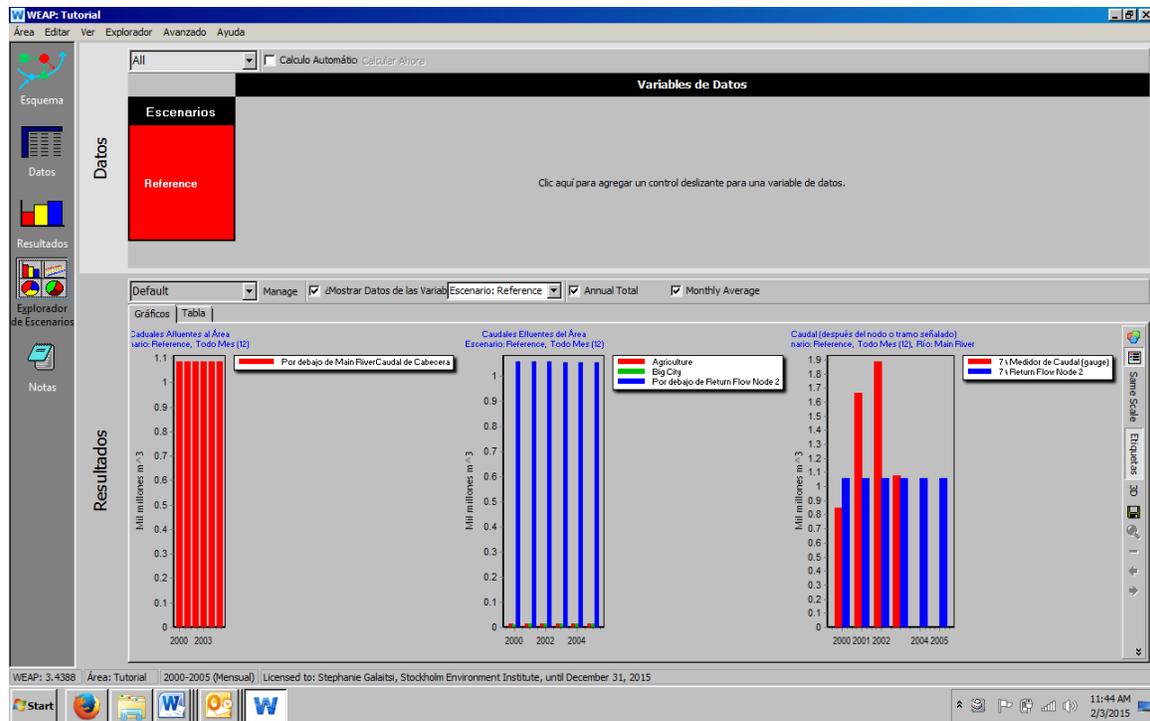
Seleccione “Explorador de Escenarios” al barro a la izquierda de pantalla. Presione “Manage.” Seleccione “Caudales Afluentes al Área”, “Caudales Efluentes al Área” y el gráfico favorito recién guardado (“Comparaciones de caudales simulados y los observados”).



Si la pantalla es demasiado, los gráficos pueden mostrar de forma incorrecta, como en la siguiente figura.



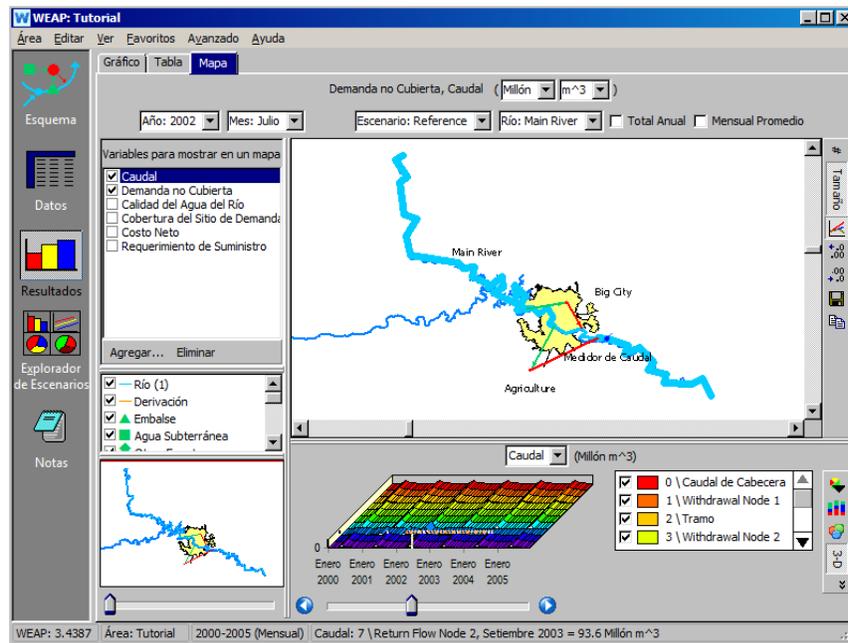
Ampliar la pantalla para ver las figuras mejor.



## 10. Uso del Mapa Dinámico

Mapas dinámicos y resultados son rápidamente obtenidos desde una vista general.

*En el ambiente "Resultados" seleccione "Mapa" a la parte superior de la pantalla. Juegue con la barra de tiempo para observar los cambios durante el periodo de estudio. Trate esto seleccionando Main River caudal (no selecciona "Total Anual").*



Note que mientras mueve el cursor, un indicador aparecerá sobre el gráfico. En el mapa, el ancho del río crecerá o decrecerá de acuerdo a los datos numéricos de cada año.

## 11. Como Exportar Resultados a Excel

Todos los resultados se pueden exportar a Excel desde el ambiente “Resultados.” Una nueva hoja de trabajo es creada que contiene la información y resultados con la misma estructura que WEAP muestra.

*Vuelva a abrir el gráfico favorito desde la opción “favorito” del menú en “Resultados.” Exporte la información relacionada a Excel cambiando a la carpeta “Tabla” y presionando el pequeño símbolo de Excel, la opción “Exportar Tabla a Excel” a la derecha de la pantalla.*

## 12. Calculo de Estadísticas

Ud. puede generar estadísticas en el ambiente “Resultados” para cualquier tabla.

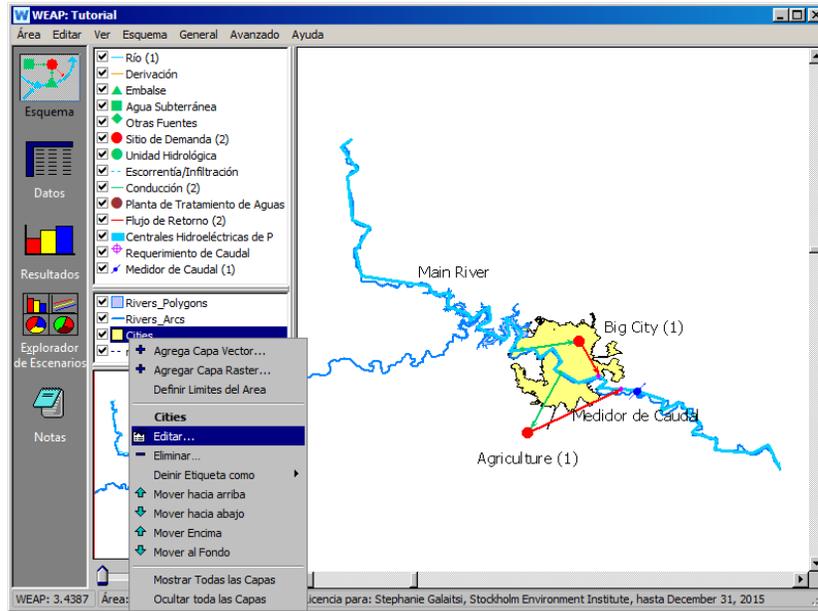
*Solo haga clic en “Tabla” y luego clic en “Estadística” en el barro de la derecha.*

	Enero 2000	Febrero 2000	Marzo 2000	Abril 2000	Mayo 2000	Junio 2000	Julio 2000	Agosto 2000
0 \ Caudal de Cabecera	32.1	16.9	29.5	44.1	214.3	352.5	120.5	
1 \ Withdrawal Node 1	12.5	0.0	7.7	22.3	192.5	328.5	95.4	
2 \ Tramo	12.5	0.0	7.7	22.3	192.5	328.5	95.4	
3 \ Withdrawal Node 2	12.5	0.0	7.7	4.8	157.5	293.5	25.4	
4 \ Tramo	12.5	0.0	7.7	4.8	157.5	293.5	25.4	
5 \ Return Flow Node 1	31.2	16.1	28.4	25.5	178.2	316.3	49.3	
6 \ Tramo	31.2	16.1	28.4	25.5	178.2	316.3	49.3	
7 \ Medidor de Caudal (gauge)	14.9	14.2	25.0	68.3	114.5	125.1	150.5	
7 \ Return Flow Node 2	31.2	16.1	28.4	42.1	211.4	349.6	115.8	
8 \ Tramo	31.2	16.1	28.4	42.1	211.4	349.6	115.8	

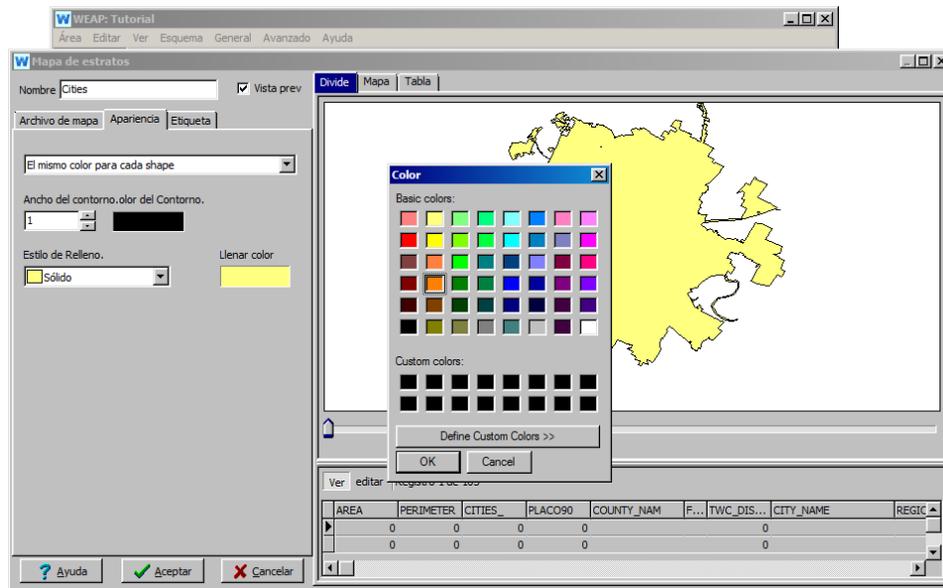
# Definiendo el Formato

## 13. Como Cambiar la Apariencia del Fondo de un Capa Vector

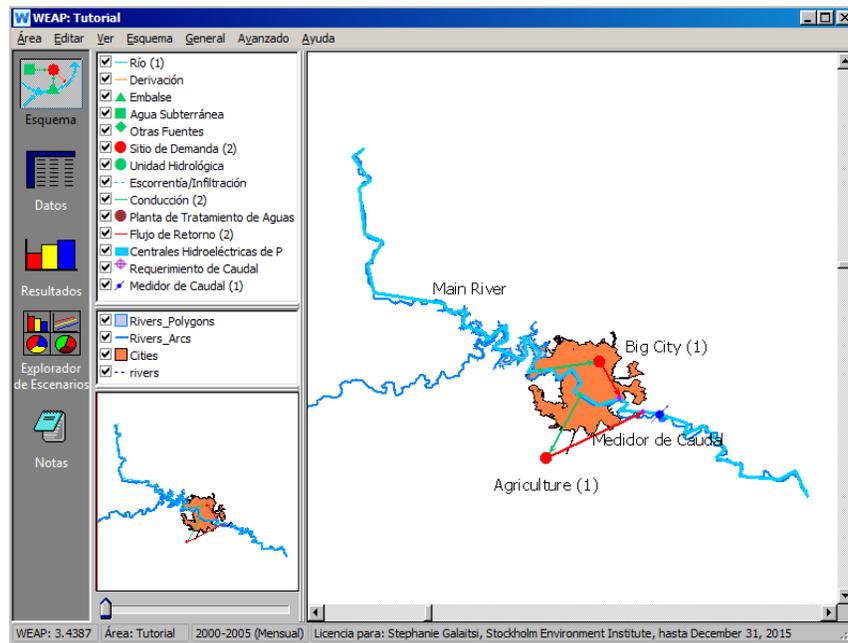
En “Esquema”, cambie el color de Big City presionando el botón derecho del mouse sobre “Cities” en el recuadro de capas justo debajo del recuadro de elementos. Seleccione “Editar.”



Haga clic en “Apariencia” y luego escoja “Llenar Color.” Una paleta de colores aparecerá. Cambie el color a naranja.

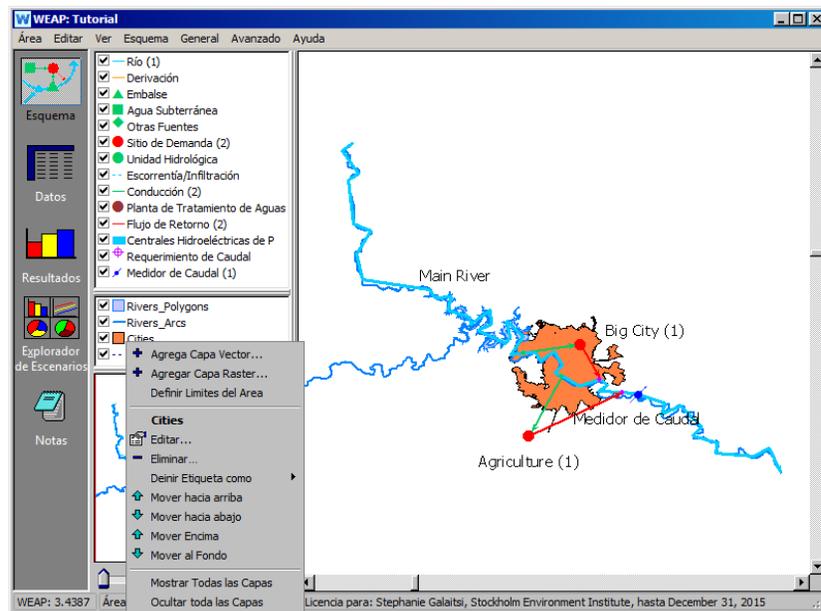


Presione “OK” y luego “Aceptar.”



Ud. puede mover las capas hacia arriba o hacia abajo de su posición relativa.

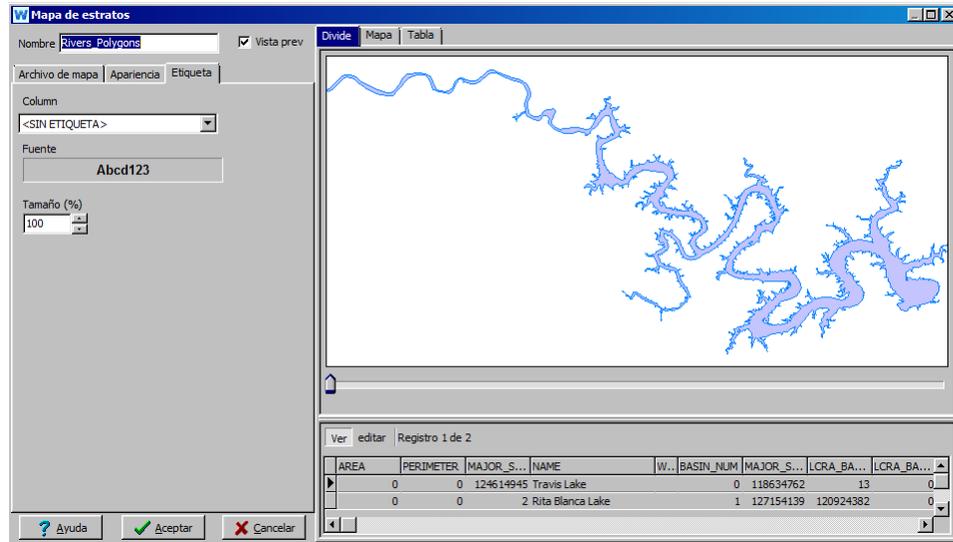
*Para ello, presione el botón derecho del mouse y seleccione “Mover hacia arriba” o “Mover hacia abajo.”*



## 14. Nombrar una Capa Vector

Se puede editar nombres para capas.

*Presione el botón derecho con el cursor sobre "Rivers\_Polygons", seleccione "Editar" y escoja "Etiqueta." También se puede cambiar el tamaño del texto en esta ventana.*

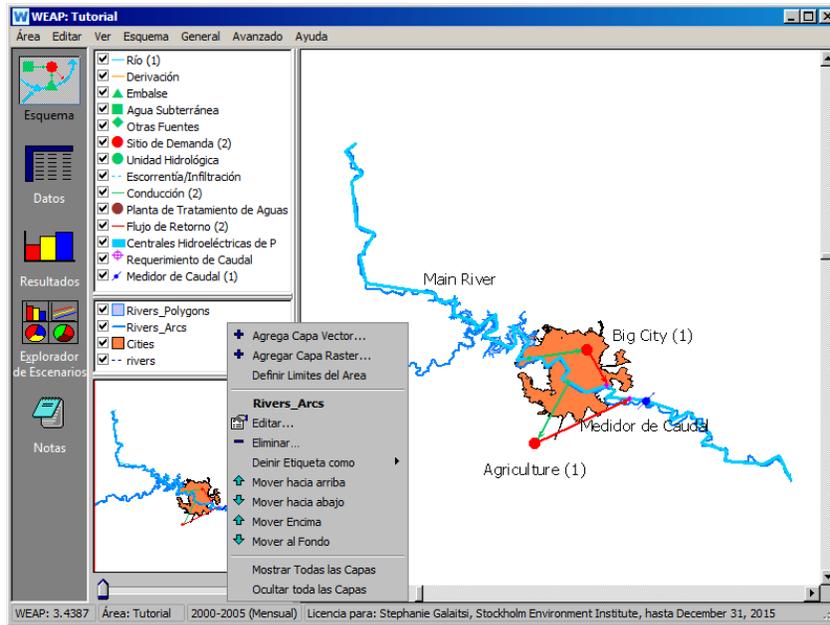


Se pueden ocultar capas estando en el ambiente "Esquema" hacienda clic en la caja pequeña a la izquierda del nombre.

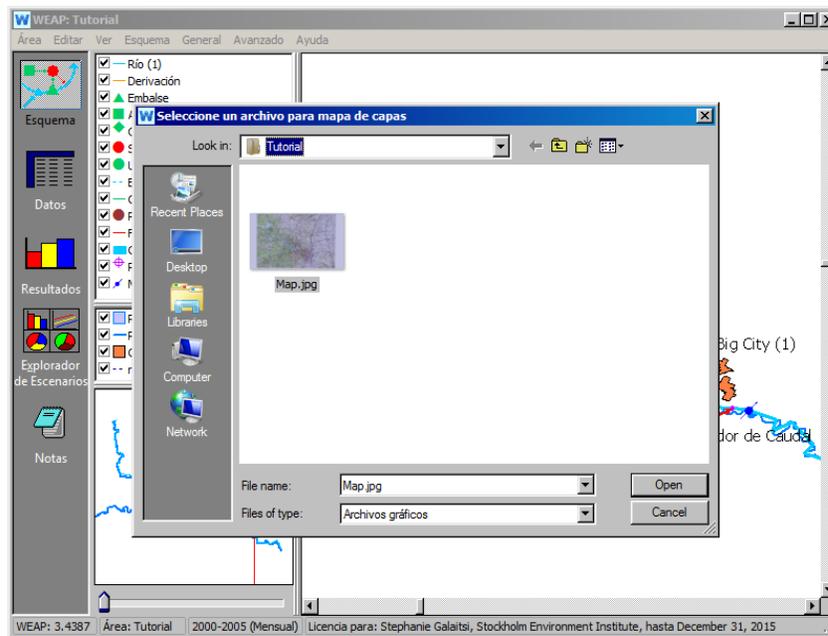
## 15. Agregar una Capa Raster

En el ambiente "Esquema," agrega un fondo en el mapa de la ciudad.

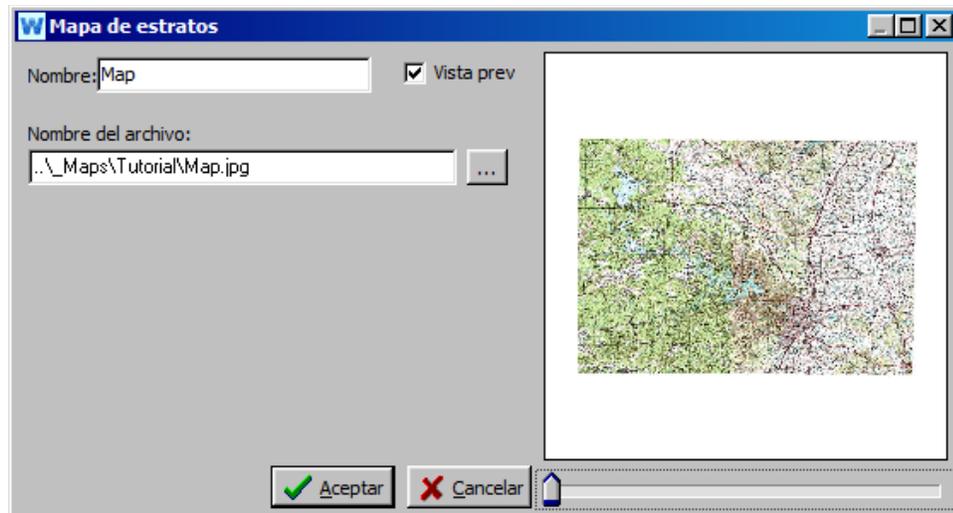
*Presione el botón derecho con el cursor en el recuadro de capas y escoja "Agregar Capa Raster."*



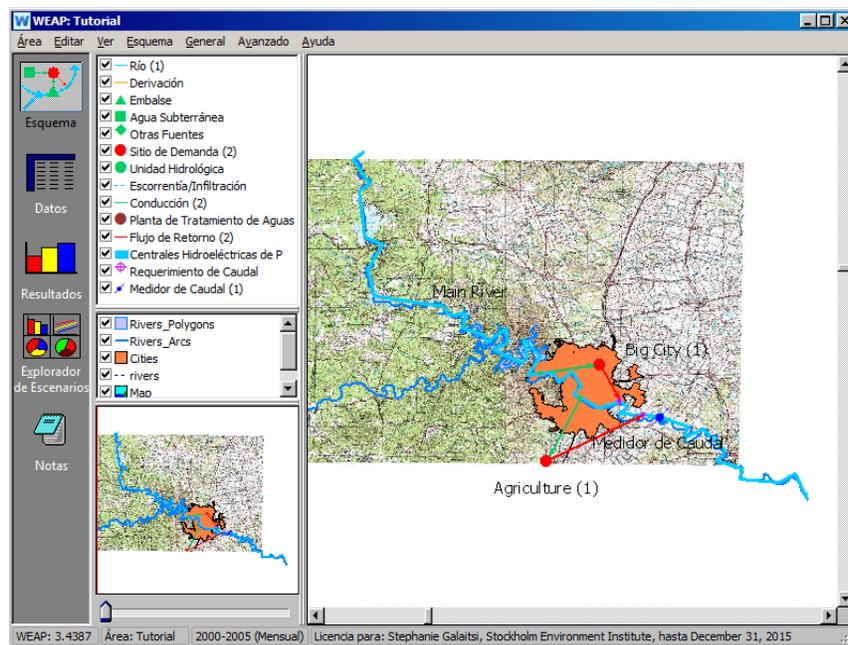
Seleccione "map.jpg" localizado en el directorio del tutorial.



Presione "Open."



*Presione “Aceptar.” Si necesita, use las opciones para mover las capas abajo y arriba por que el modelo verse como el siguiente:*

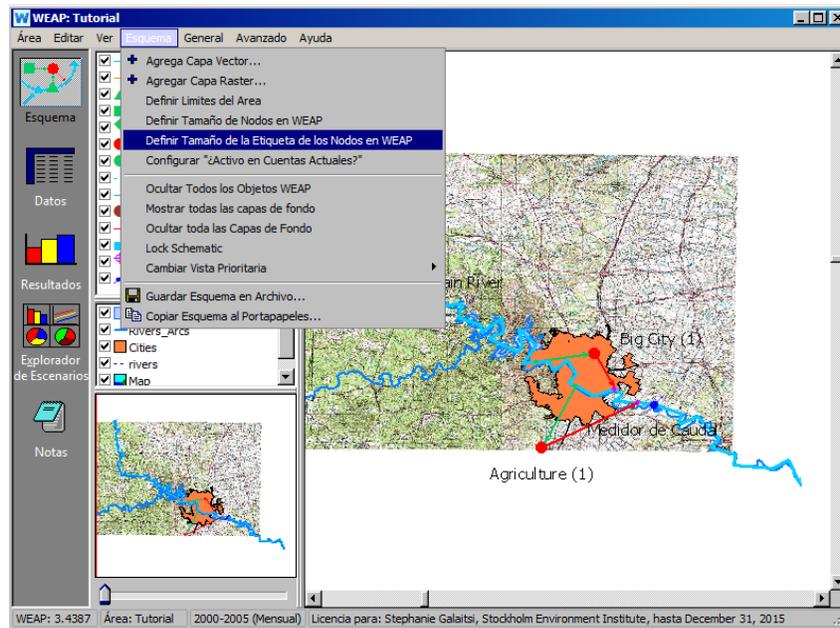


## 16. Mover los Nombres

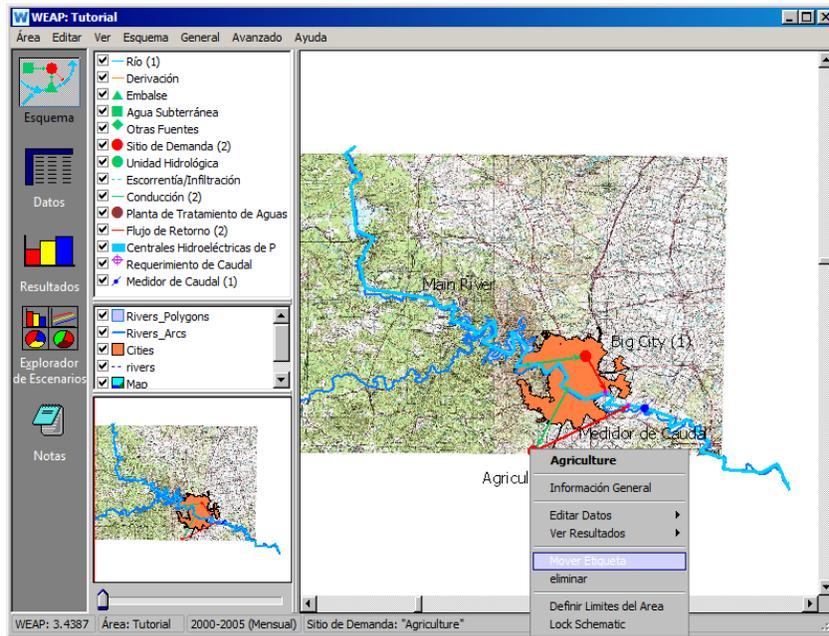
Para completar el formato del área, cambiemos el texto del nodo y las designaciones y movámoslos de lugar.

En el barro al parte superior de pantalla, abra el menú “Esquema” desde las opciones arribes de la pantalla. Escoja “Definir Tamaño de Nodos en WEAP” o “Definir Tamaño

de la Etiqueta de Nodos en WEAP” dependiendo de lo que se quiera. Para cada opción una ventana aparecerá y una regla permite modificar el tamaño.



Sobre cualquier objeto haga clic en el botón derecho y se puede seleccionar la opción “Mover Etiqueta” para mover el nombre de lugar.



Nota: también se puede escoger no colocar o eliminar un nombre si se desea.



---

**WEAP**

Water Evaluation And Planning System

# Embalses y Generación Hidroeléctrica

*Un tutorial para*

*Modelando Embalses.....146*

*Agregar Generación Hidroeléctrica .....150*

*Modelar Centrales Hidroeléctricas de Paso .....154*

**noviembre de 2023**



**Note:**

Para comenzar este módulo, desde el menú principal seleccionar "Regresar a Versión Previa" y escojer la versión llamada "Starting point for all modules after 'Scenarios' module."

# Modelando Embalses

## 1. Crear un Embalse

Cree un Embalse en el lago localizado aguas arriba de "Withdrawal Node 1" para Big City. Llámelo "Big City Reservoir."

**Prioridad de la Demanda**     **99 (el valor por defecto)**



La introducción de una Prioridad de Demanda de 99 asegura que el embalse se llenará sólo después de todas las demás necesidades se cumplan, incluyendo la demanda de aguas abajo.

## 2. Ingresar los Datos Físicos

En el ambiente "Datos," escoja "Big City Reservoir" (Recursos y Suministro/Rio/Main River/Embalses/Big City Reservoir) para modificar los datos. Ingrese los siguientes datos en la ventana "Físico" (asegúrese de que este en Cuentas Corrientes).

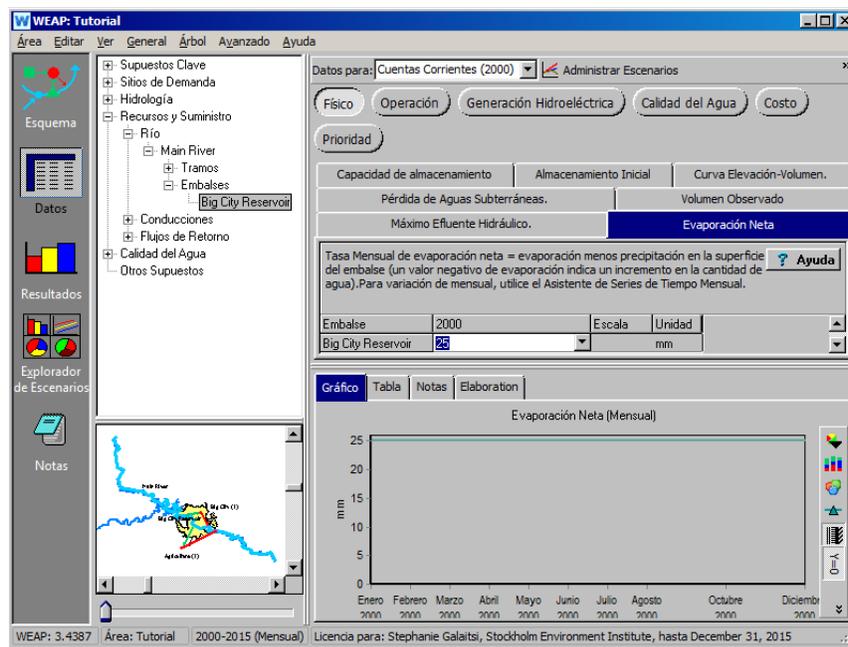
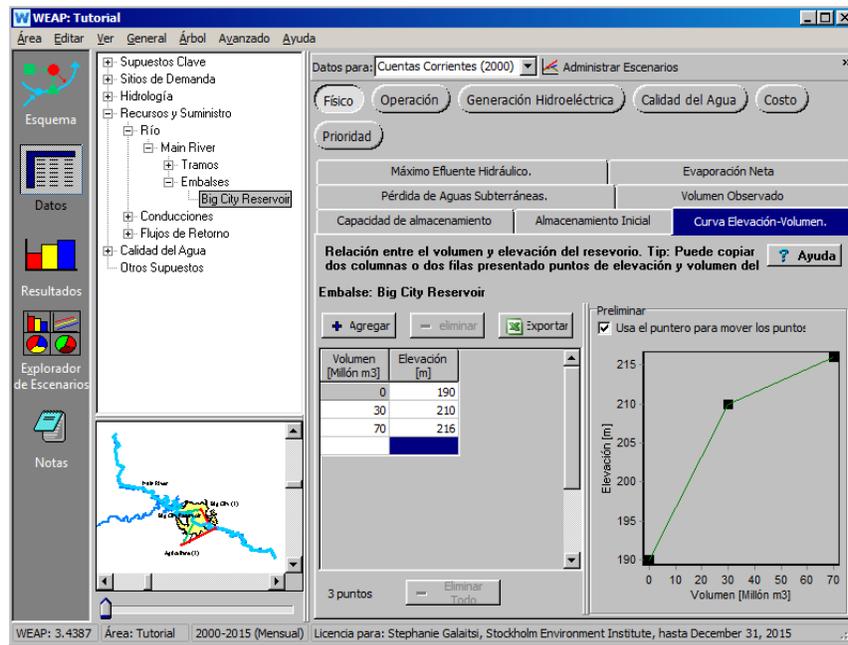
**Capacidad de almacenamiento**     **70 M m<sup>3</sup>**

**Almacenamiento Inicial**     **25 M m<sup>3</sup>**

**Curva Elevación-Volumen:**

<u>Volumen</u>	<u>Elevación</u>
[M m <sup>3</sup> ]	[m]
0.0	190
30.0	210
70.0	216

**Evaporación Neta**     **25 mm**



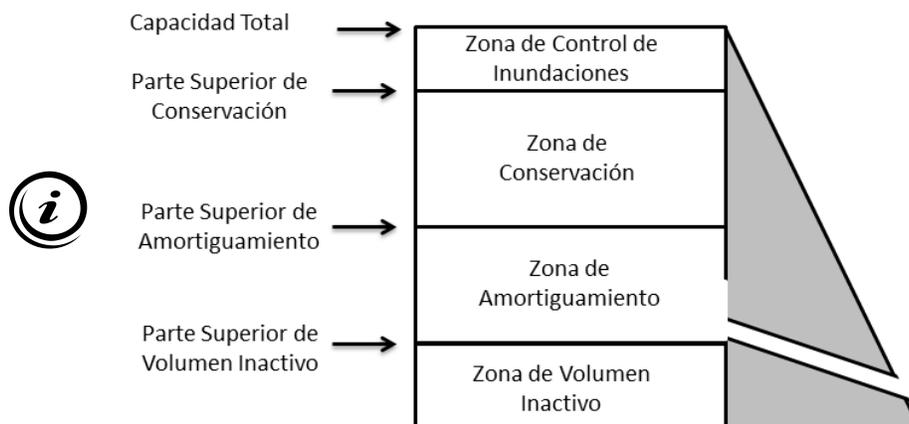
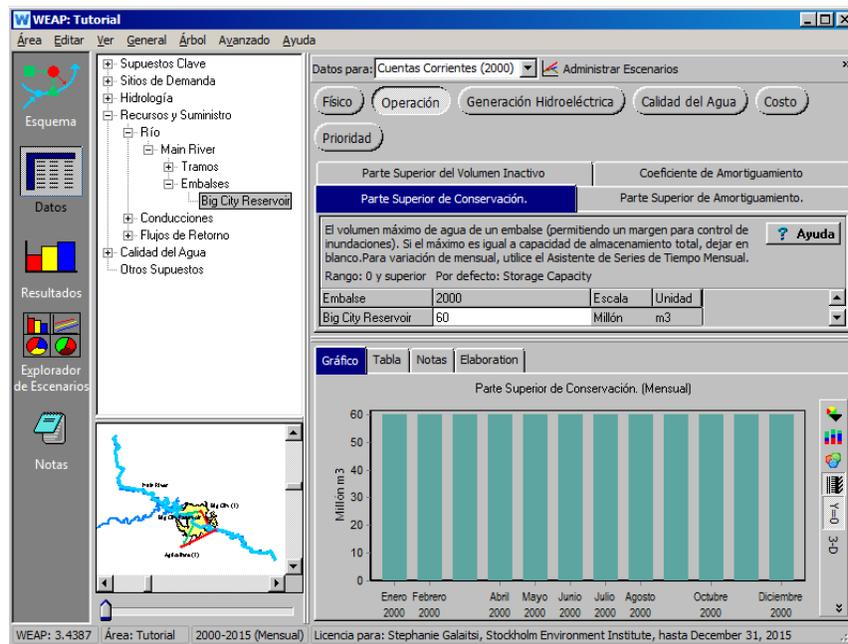
La Curva Elevación-Volumen se utiliza tanto para modelar la evaporación y para calcular la cabeza hidráulica en la producción de energía hidroeléctrica. La Curva asume que el embalse tiene una forma cilíndrica en la conversión de volumen y elevación en el área.

La evaporación neta necesita tener en cuenta tanto la precipitación y la evaporación del embalse. Puede ser un número positivo o negativo. Para variaciones mensuales, se pueden modelarlas usando el Mensual Asistente para Series de Tiempo.

### 3. Ingresar los Datos Operacionales

*Ingrese los siguientes datos en la ventana "Operación."*

<b>Parte Superior de Conservación</b>	<b>60</b>
<b>Parte Superior de Amortiguamiento</b>	<b>40</b>
<b>Parte superior del Volumen Inactivo</b>	<b>5</b>
<b>Coefficiente de Amortiguamiento</b>	<b>1.0</b>

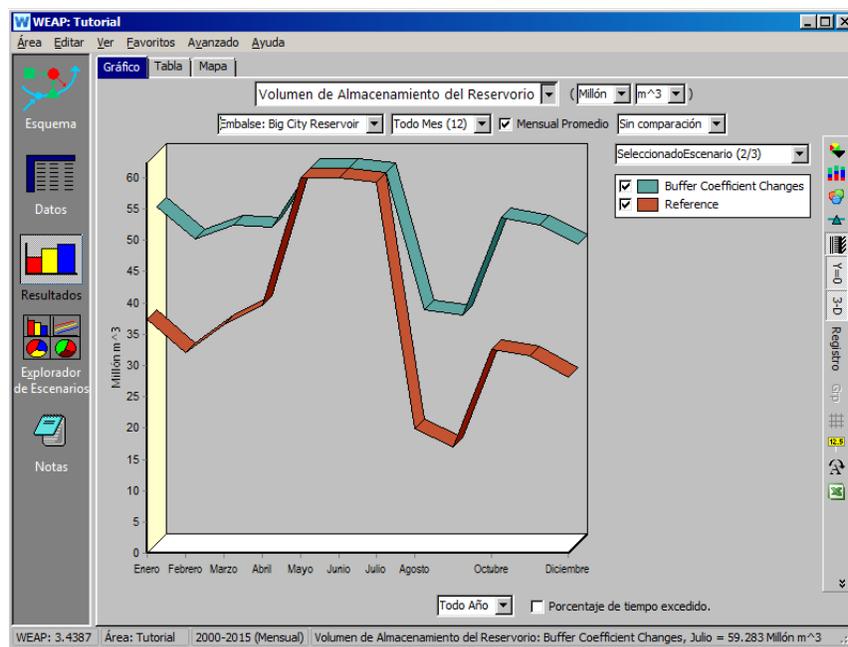


La figura a la izquierda muestra como WEAP modela la operación de los embalses, usando varias zonas que tienen diferentes restricciones operativas.

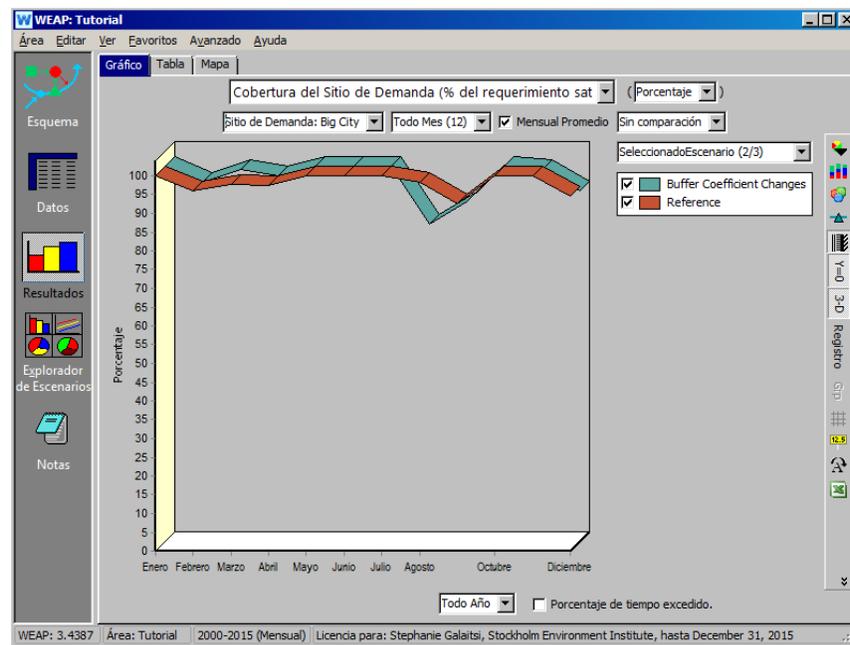
## 4. Entender los impactos del “Coeficiente de Amortiguamiento”

Ahora crear un nuevo escenario heredado del escenario “Reference.” Llame a este escenario “Buffer Coefficient Changes.” Después vuelva a el ambiente “Datos” (asegúrese de que este en el nuevo escenario que acaba de crear) y cambie el Coeficiente de Amortiguamiento a 0.1. Haga clic en los resultados para ejecutar el nuevo modelo.

Compare, para los escenarios de “Reference” y “Buffer Coefficient Changes,” los resultados para el “Volumen de Almacenamiento” (Recursos y Suministro/Embalse/Volumen de Almacenamiento). Seleccione “Todo Año” desde el menú desplegable al fondo de la pantalla, y haga clic en “Mensual Promedio” arriba del gráfico. Elija los escenarios “Reference” y “Buffer Coefficient Changes” para ver desde el menú desplegable arriba de la leyenda. Usted puede elegir “Big City Reservoir” desde el menú desplegable justo arriba del gráfico.



También compare los resultados para Demanda/Cobertura. Seleccione Big City como el sitio de demanda para ver desde el menú desplegable que falta arriba del gráfico.



El Coeficiente de Amortiguamiento proporciona un método para regular las descargas de agua cuando el nivel de agua en el embalse se encuentra dentro de la zona de amortiguamiento (ver la Figura del paso anterior). La demanda aguas abajo se multiplica por el Coeficiente de Amortiguamiento para obtener los caudales de salida del embalse permitidos. Un Coeficiente de Amortiguamiento de 1 significa que se permite un caudal de salida para satisfacer a 100% de la demanda cuenca abajo. Un Coeficiente de Amortiguamiento de 0 implica que no se permite ningún caudal e salida del embalse. Por esta razón, se observa reducida cobertura de demanda para el escenario “Buffer Coefficient Changes”.

## Agregar Generación Hidroeléctrica

### 5. Como WEAP modela las Producción de Energía

WEAP puede modelar Producción de Energía de tres maneras diferentes: a través de embalses en línea, a través de embalses fuera de línea y a través de centrales hidroeléctricas de paso. Consultar el menú Ayuda para más información sobre cada categoría.

Para un embalse, la energía potencial:  $m g h$  se transforma en cinética al pasar por las turbinas:  $\frac{1}{2} m v^2$ . En otras palabras, le energía generada es una función de la diferencia de elevación de agua en el embalse y el agua de cola ( $h$ ) y el volumen de

agua que pasa por la turbina por unidad de tiempo, o sea el caudal. Con los datos físicos, de caudales y de operación ingresados para el componente hidrológico, los cálculos de WEAP ya incluyen y calculan el caudal y la elevación de agua del embalse. Toca ingresar datos de la elevación de cola y datos de la turbina para que WEAP pueda calcular la generación eléctrica.

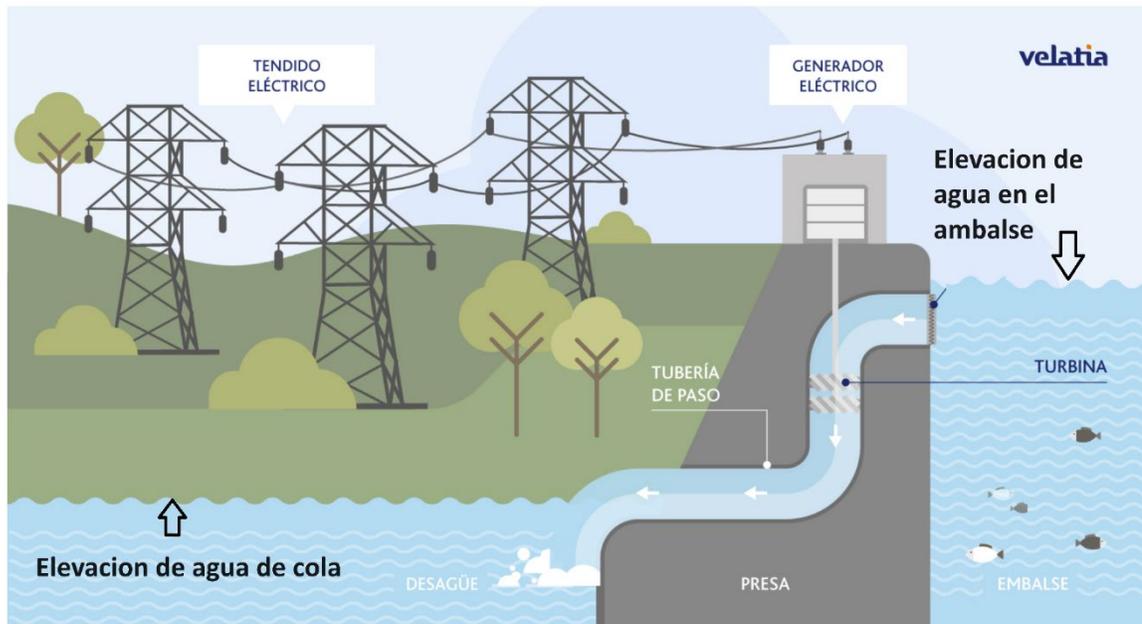


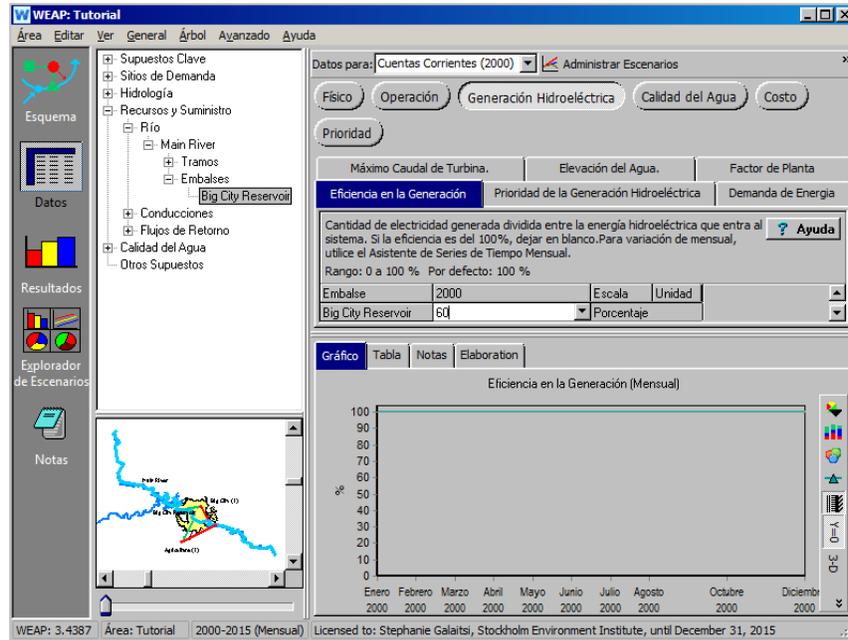
Figura adaptado de <https://www.velatia.com/es/blog/que-es-y-como-funciona-la-energia-hidroelectrica/>

## 6. Agregar Capacidades de Generación de Energía a “Big City Reservoir”

En este ejemplo vamos a modelar la estación hidroeléctrica de un embalse en línea.

*Ingresar los siguientes datos bajo la ventana “Generación Hidroeléctrica” para el “Big City Reservoir” en las Cuentas Corrientes.*

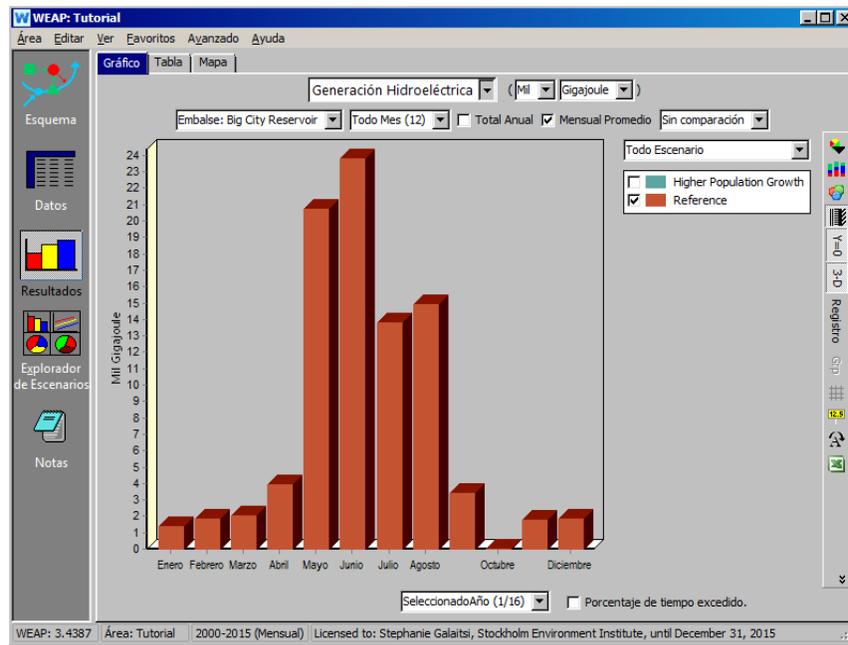
<i>Máximo caudal de turbina</i>	<b>80 CMS</b>
<i>Elevación del agua de cola</i>	<b>195 m</b>
<i>Factor de planta</i>	<b>100%</b>
<i>Eficiencia de la generación</i>	<b>60%</b>



Revisar “Hydropower Calculations” en el menú de ayuda para mas informacion sobre como WEAP calcula la produccion de energia.

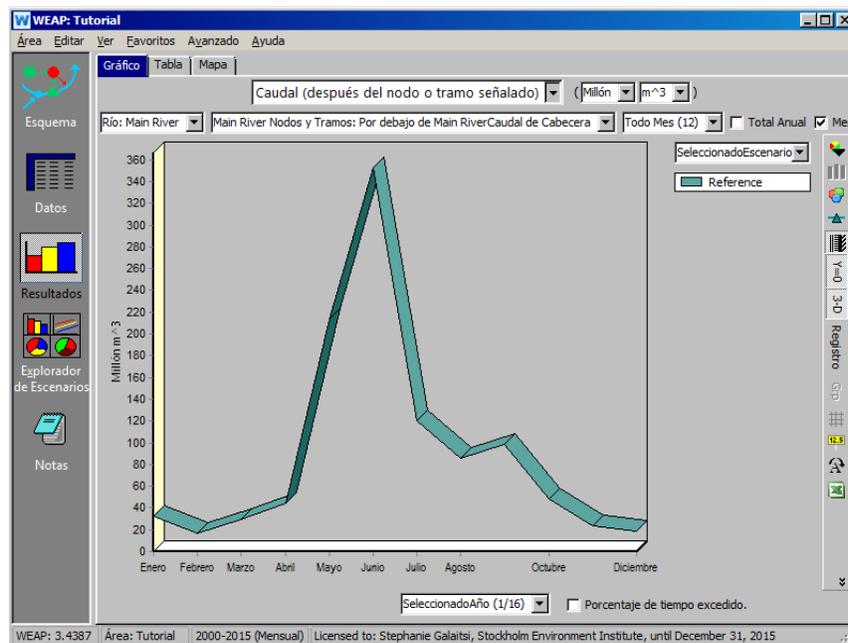
## 7. Calcular la Producción Hidroeléctrica y Entender los Resultados

*Ejecuta el modelo y mire a los resultados del escenario “Reference” para la producción hidroeléctrica para el año 2000. Los resultados pueden ser accedidos bajo el menú desplegable principal bajo “Recursos y Suministro/Embalse/Generación Hidroeléctrica.” En la barra a la derecha, seleccione verlo como columnas (barras).*



¿Entiende por qué los niveles de producción entre Mayo y Junio son tan similares, a pesar de que los caudales en *Main River* y los caudales efluentes aguas abajo son mucho más grandes en Junio?

*Para confirmar esto, mire los resultados de "Caudal" en el tramo "por debajo de Main River Caudal de Cabecera."*





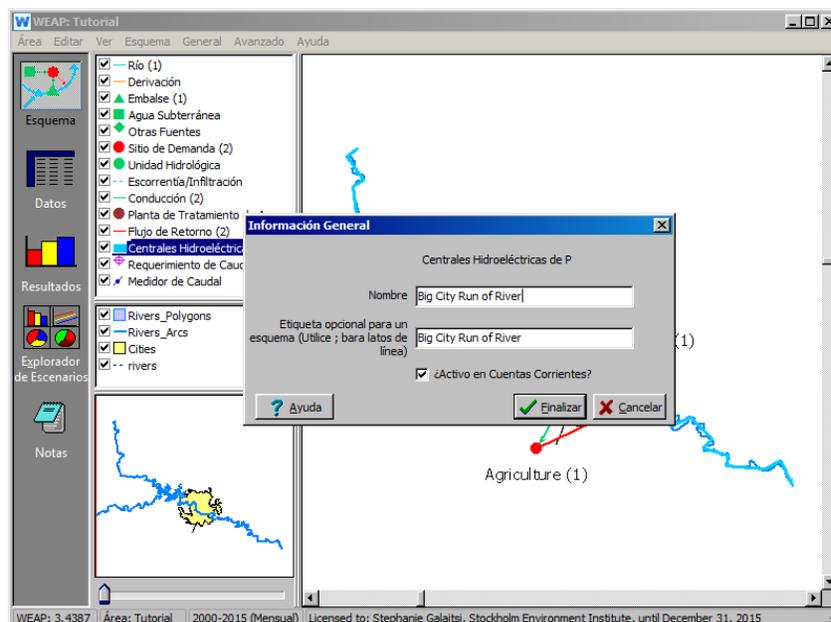
En el paso anterior, ingresamos  $80\text{m}^3/\text{s}$  por el Máximo Caudal de Turbina. Por eso, no se puede procesar más caudales que  $80\text{m}^3/\text{s}$ : significa que a pesar de que hay una descarga más alta en junio, la cantidad excedente fluye río abajo sin pasar por la turbina. La energía hidroeléctrica en junio sería el mismo para mayo – pero la elevación de almacenamiento en Big City Reservoir fue inferior a finales de abril de lo que era a finales de mayo (observar los resultados de Elevación de Almacenamiento del Embalse – estos números representan el estatus en el final de cada mes indicado). Este efecto fue compensado ligeramente porque mayo tiene 31 días para producir energía mientras que junio tiene 30 días. Pero todavía junio llegó a tener poco más alta producción de energía.

La producción de energía hidroeléctrica de embalses “locales” puede ser modelada de la misma manera.

## Modelar Centrales Hidroeléctricas de Paso

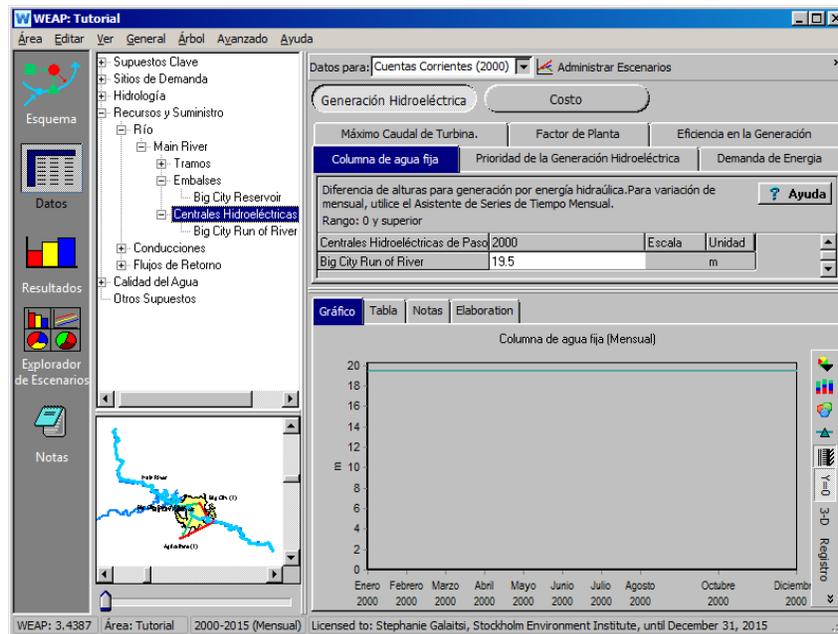
### 8. Crear un objeto de Central Hidroeléctrica de Paso

*Cree un Objeto de Centrales Hidroeléctricas de Paso en el Main River aguas arriba del “Big City Reservoir” creado en el ejercicio anterior. Llámelo Big City Run of River.*



Para Cuentas Corrientes, ingrese los siguientes datos en la rama “Recursos y Suministro \ Rio \ Centrales Hidroeléctricas de Paso/” del árbol de Datos en el ambiente de Datos:

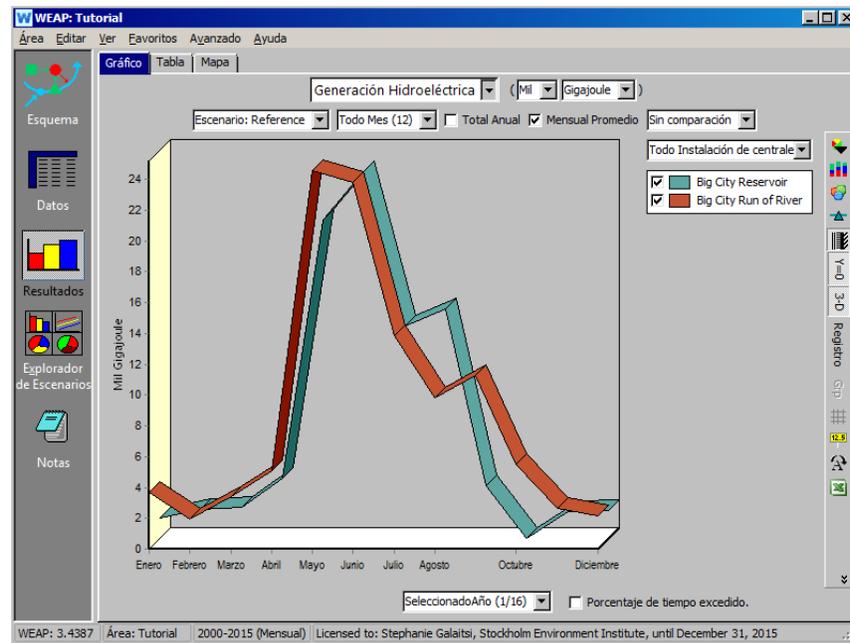
<b>Máximo Caudal de Turbina</b>	<b>80 CMS</b>
<b>Factor de Planta</b>	<b>100%</b>
<b>Eficiencia en la Generación</b>	<b>60%</b>
<b>Columna de agua fija</b>	<b>19.5 m</b>



## 9. Ejecutar y Comparar los Resultados

Ejecute su modelo y cree un gráfico comparando la producción de energía para la central hidroeléctrica de paso y para la estación generadora en el embalse. Haga esto seleccionado “Todo Instalación de centrales hidroeléctricas” del menú desplegable arriba de la leyenda.

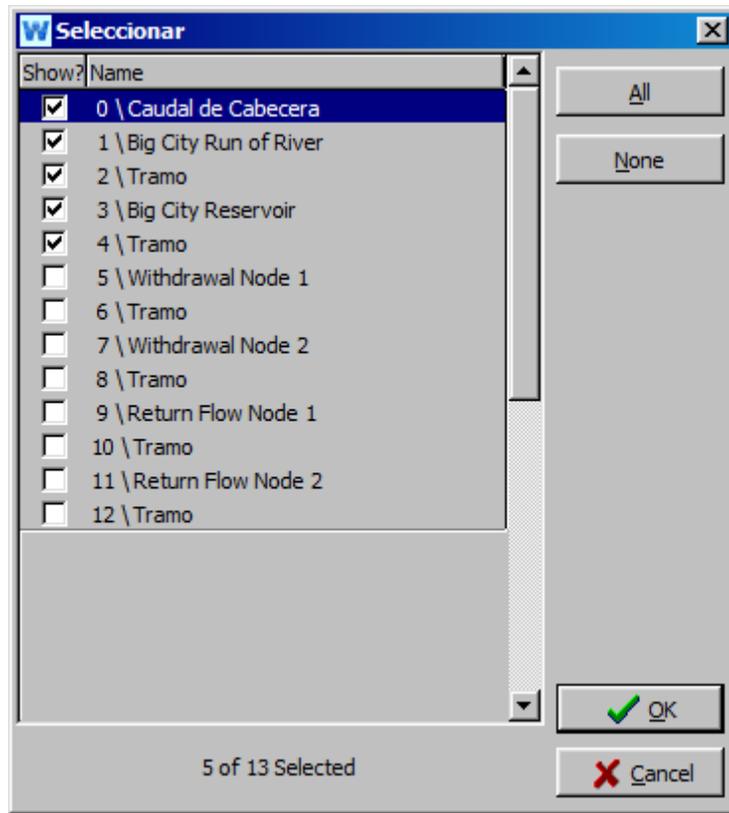
¿Cuáles son las razones de las diferencias entre ambas curvas?



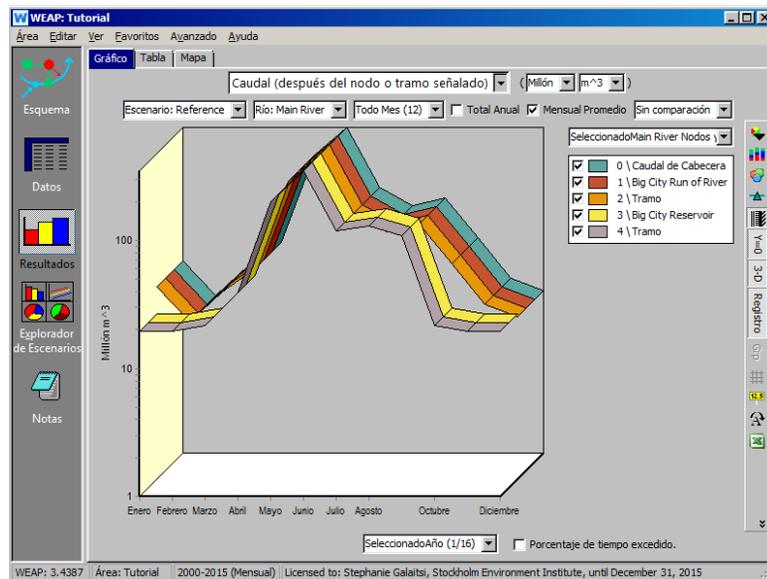
Tenga en cuenta que la energía hidroeléctrica por el Central Hidroeléctrica de Paso es más alta en mayo que junio, en contraste con la producción de Big City Reservoir. Esto se debe al día adicional disponible en mayo en comparación con el mes de junio. El Central Hidroeléctrica de Paso no tiene elevación de almacenamiento como efecto limitante, mientras que el Reservoir todavía estaba llenando en mayo, lo que disminuye la producción de embalse para ese mes respecto a junio.

¿Como afecta la central de pasada los caudales en el río, en comparación con la estación en el Embalse Big City?

*Para ver esto en el gráfico, seleccione "Caudal" del menú desplegable principal y elija "Seleccionado Main River Nodos y Tramos" del menú desplegables arriba de la leyenda. Seleccione los siguientes tramos: "0\ Caudal de Cabecera", "1\ Big City Run of River", "2\ Tramo", "3\ Big City Reservoir", y "4\ Tramo" de la lista.*



Escoger escala logarítmica (el botón “Registro”- en la barra vertical a la derecha)





Un embalse puede almacenar agua durante flujos altos y saltarlos durante tiempos con caudales pequeños, lo que tendrá un efecto suavizante. Los Centrales Hidroeléctricas de Paso, sin embargo, procesan el agua que fluye en el río en cada momento. Por lo tanto, no afecta la forma de la curva de caudal.

---

---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Calidad del Agua

## *Un tutorial para*

*Preparar para la modelación de Calidad del agua.....160*

*Ingresar Datos de Calidad del agua.....163*

*Considerando restricciones de Calidad del Agua  
en un Sitio de Demanda.....169*

*Ingresando Actividades Generadoras de  
Contaminación en un Sitio de Demanda.....173*

*Modelando una Planta de Tratamiento de Aguas  
Servidas.....176*

**noviembre de 2023**

**Note:**

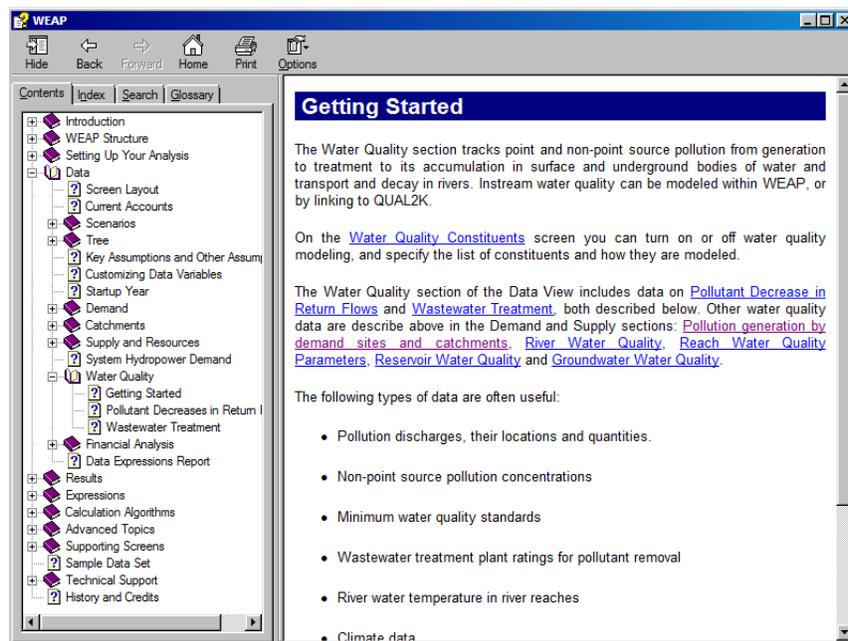
Para comenzar este módulo, desde el menú principal seleccionar “Regresar a Versión Previa” y escoger la versión llamada “Starting Point for all modules after ‘Scenarios’ module.”

# Preparar para la modelación de Calidad del agua

## 1. Entendiendo la Modelación de Calidad del Agua en WEAP

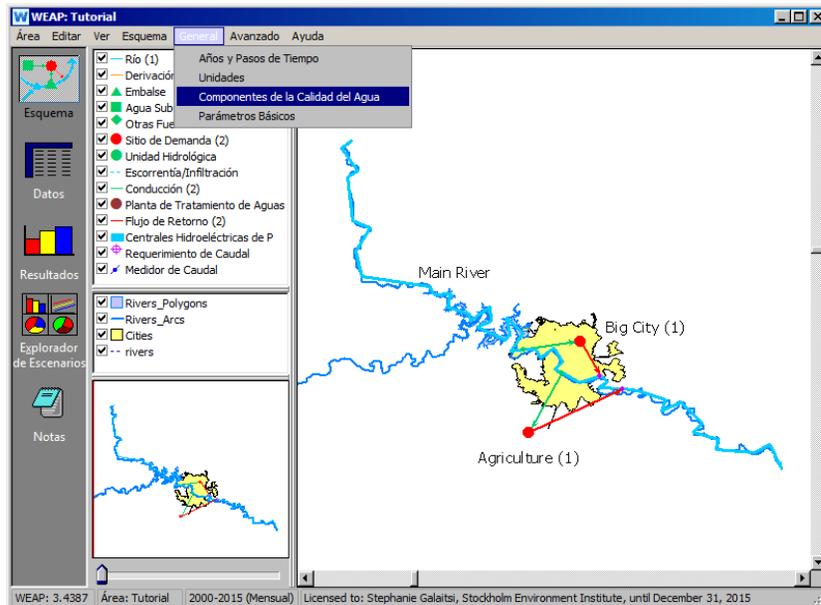
WEAP puede modelar tanto contaminantes conservativos como no-conservativos. Contaminantes conservativos son modelados a través de un simple balance de masas. Una serie de modelos se ofrecen para contaminantes no-conservativos.

Puede leer el tópico de ayuda Getting Started (Water Quality) para una descripción más detallada de las capacidades de WEAP. [Está en ingles]



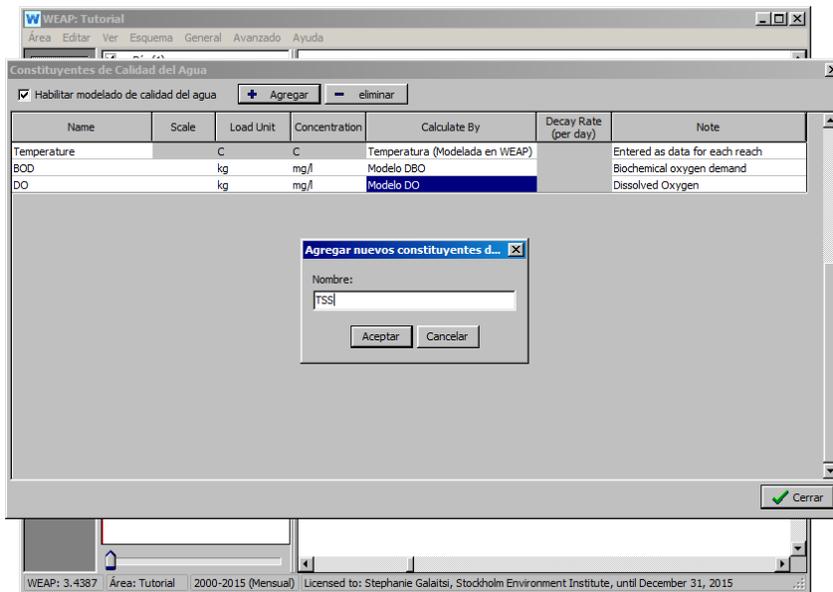
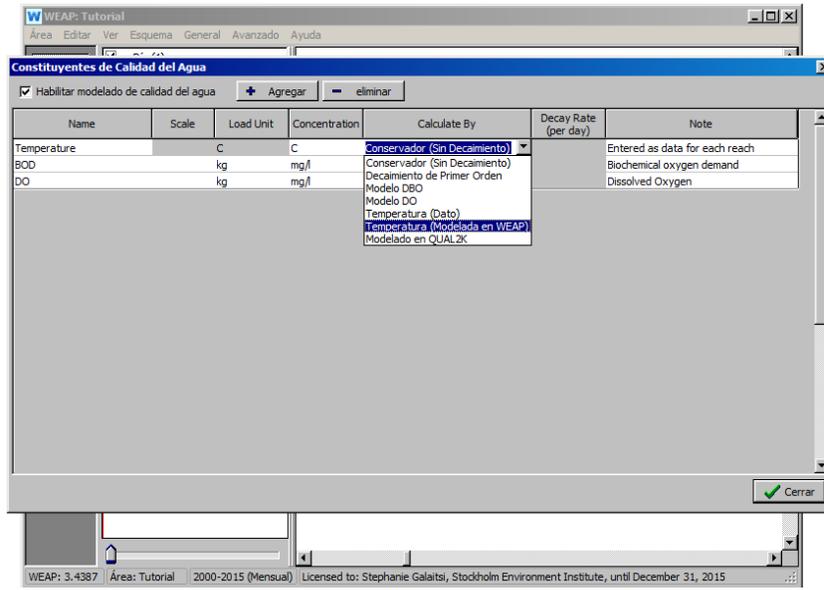
## 2. Crear un set de Contaminantes

Cree el set de contaminantes que va a ser modelado en el menú “General\Componentes de la Calidad del agua.”



En la caja de dialogo, haga el siguiente cambio para “Temperature” (ya parte de la lista) y agregue “TSS” (Total de sólidos en suspensión), y “Salt” (Sal) a la lista de constituyentes (“BOD” y “DO” deberían también aparecer listados):

<b>Name</b>	<b>Calculate by</b>	<b>Decay Rate</b>
<b>Temperature</b>	<b>Temperatura (Modelada en WEAP)</b>	
<b>TSS</b>	<b>Decaimiento de Primer Orden</b>	<b>0.25 per day</b>
<b>Salt</b>	<b>Conservador (Sin Decaimiento)</b>	



Constituyentes de Calidad del Agua						
<input checked="" type="checkbox"/> Habilitar modelado de calidad del agua    + Agregar    - eliminar						
Name	Scale	Load Unit	Concentration	Calculate By	Decay Rate (per day)	Note
Temperature	C	C		Temperatura (Modelada en WEAP)		Entered as data for each reach
BOD	kg	mg/l		Modelo DBO		Biochemical oxygen demand
DO	kg	mg/l		Modelo DO		Dissolved Oxygen
TSS	kg	mg/l		Decaimiento de Primer Orden	0.25	
Salt	kg	mg/l		Conservador (Sin Decaimiento)		



Se proporcionan más detalles sobre los diferentes modelos utilizados para la DBO y DO modelos en la sección de Ayuda "Dissolved Oxygen and Biochemical Demand" (en inglés).

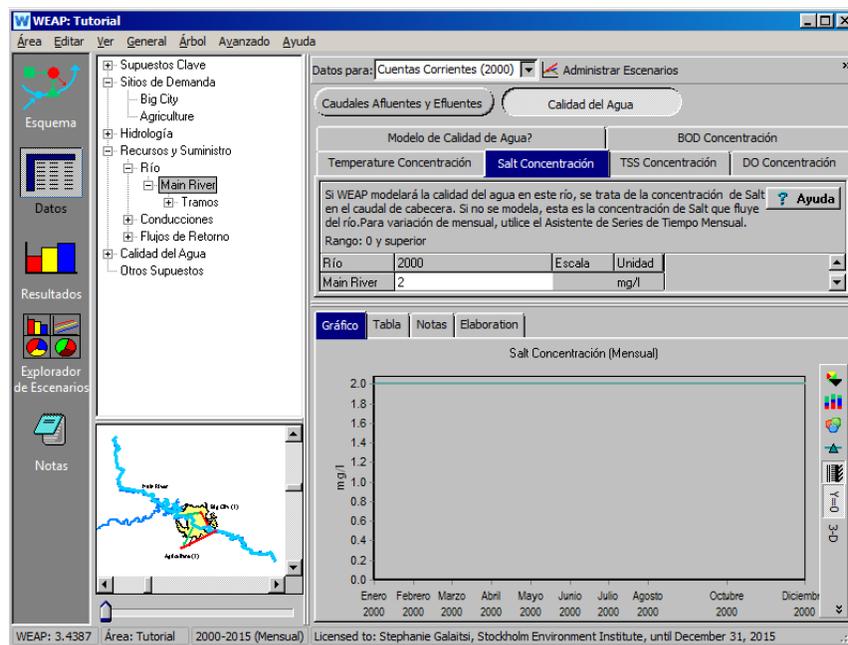
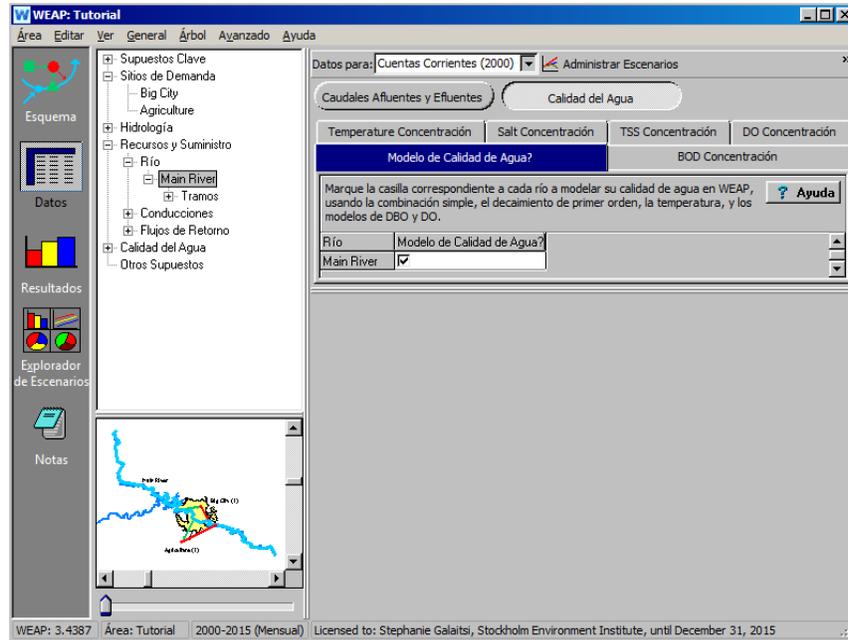
## Ingresar Datos de Calidad del agua

### 3. Ingrese datos de Calidad del Agua de Ríos

*En el árbol del ambiente de Datos, seleccione "Recursos y Suministro\Río" y haga clic en Main River. Después abra la pantalla de "Calidad del Agua" e ingrese los siguientes datos, que representan la calidad del agua en la cabecera del río:*

**Modelo de Calidad del agua?                      (Seleccione la caja)**

**Temperature**    15°C  
**BOD Concentración**                                      5mg/l  
**DO Concentración**                                      8mg/l  
**TSS Concentración**                                      20mg/l  
**Salt Concentración**                                      2mg/l



#### 4. Ingresar las Características Geométricas del Río

Las características geométricas del río se necesitan para los diversos modelos de calidad del agua. Estas son usadas principalmente para calcular velocidad/tiempo de residencia del agua en cada tramo del río.

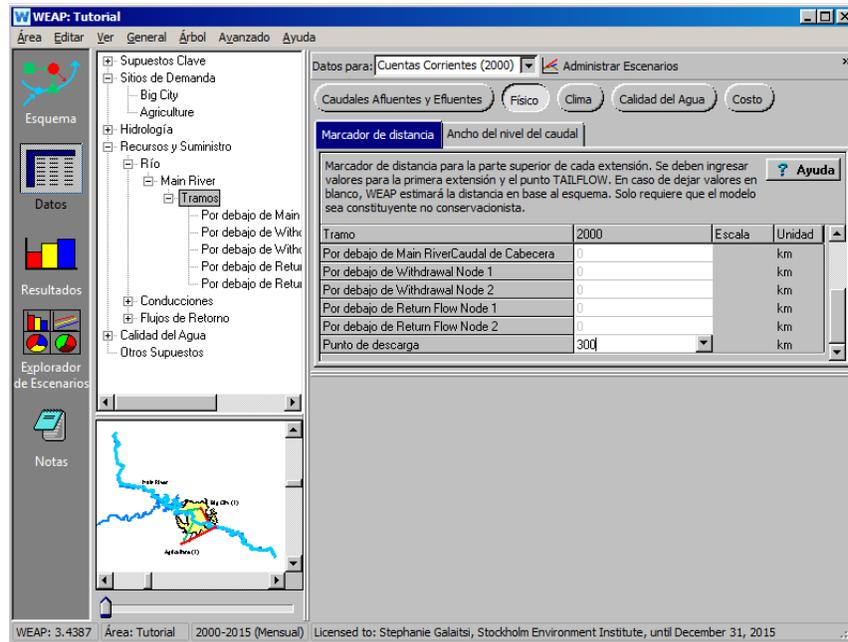
En el ambiente Datos, selecciones la rama “Tramos” del Main River e ingrese la siguiente información bajo la pantalla “Físico.”

### Marcador de distancia

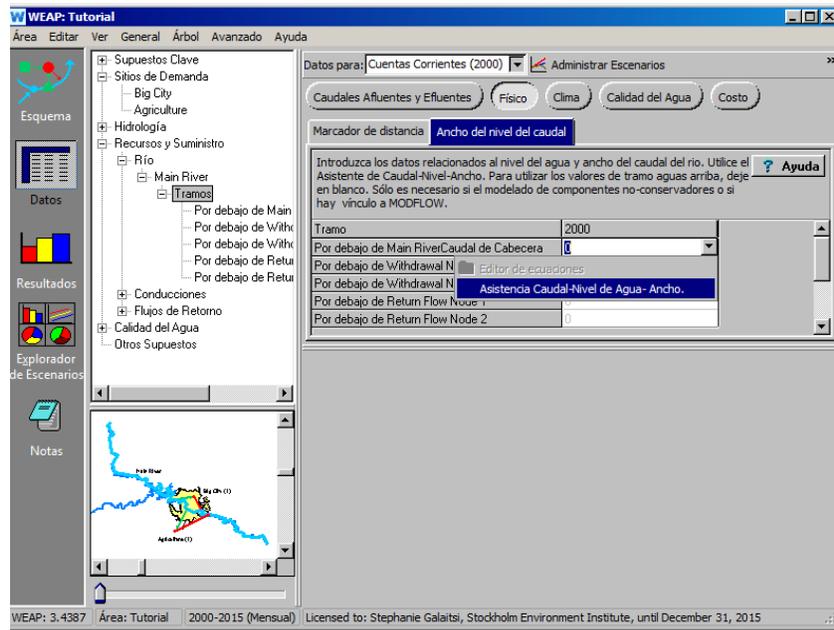
**Por debajo de Main River Caudal de Cabecera 0 km**

**Punto de descarga 300 km**

Nota: largos de tramos intermedios serán estimados por WEAP basado en el esquema.



En la pantalla “Ancho del nivel del caudal,” el para el tramo “Por debajo de Main River Caudal de Cabecera,” use el Asistente Caudal-Nivel de Agua-Acho, haciendo clic en la flecha que baja.

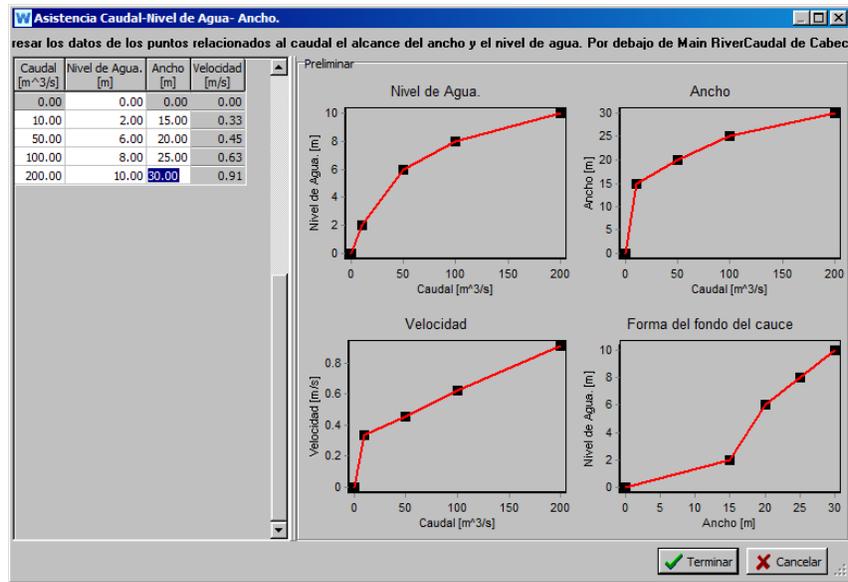


Ingresar la siguiente información

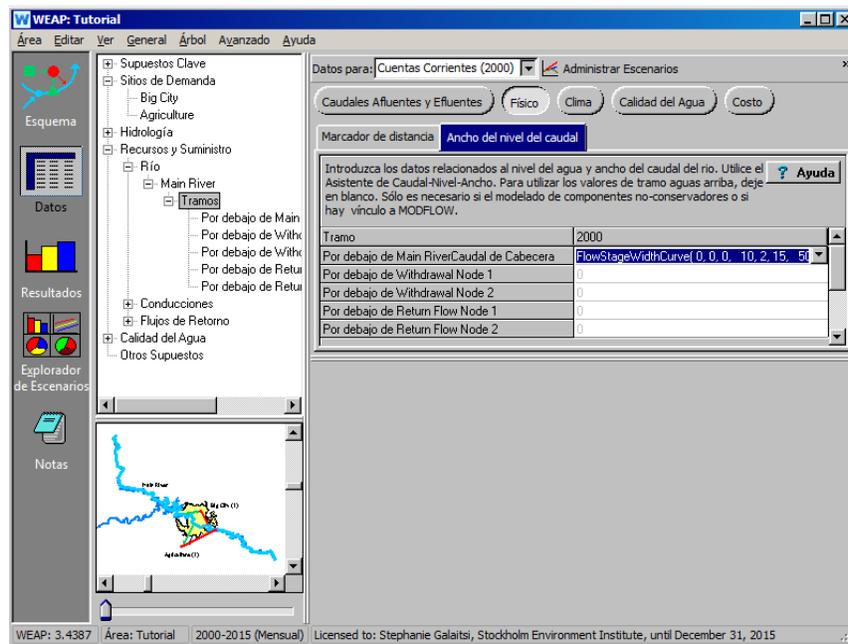
<i>Caudal</i>	<i>Nivel de Agua</i>	<i>Ancho</i>
<i>0</i>	<i>0.00</i>	<i>0.00</i>
<i>10</i>	<i>2.00</i>	<i>15.00</i>
<i>50</i>	<i>5.00</i>	<i>20.00</i>
<i>100</i>	<i>7.00</i>	<i>25.00</i>
<i>200</i>	<i>10.00</i>	<i>30.00</i>

*(No ingrese nada para la velocidad: WEAP lo calculará)*

Asumiremos que esta sección de río se mantiene constante y dejaremos los otros tramos vacíos.



Su fórmula debería leer: `FlowStageWidthCurve( 0, 0, 0, 10, 2, 15, 50, 5, 20, 100, 7, 25, 200, 10, 30 )`



La pestaña “Reach Length” (Alcance de la Longitud) que aparece en “Caudales Afluentes y Efluentes” en las secciones de Main River se utiliza solo para el modelado de interacción entre aguas subterráneas y aguas superficiales. Porque esta interacción puede ocurrir a lo largo de las secciones del río, los segmentos de la longitud total del río, pueden diferir de la longitud total del río. Tenga en cuenta que no se utiliza datos de longitud del río para el modelado de la calidad del agua.

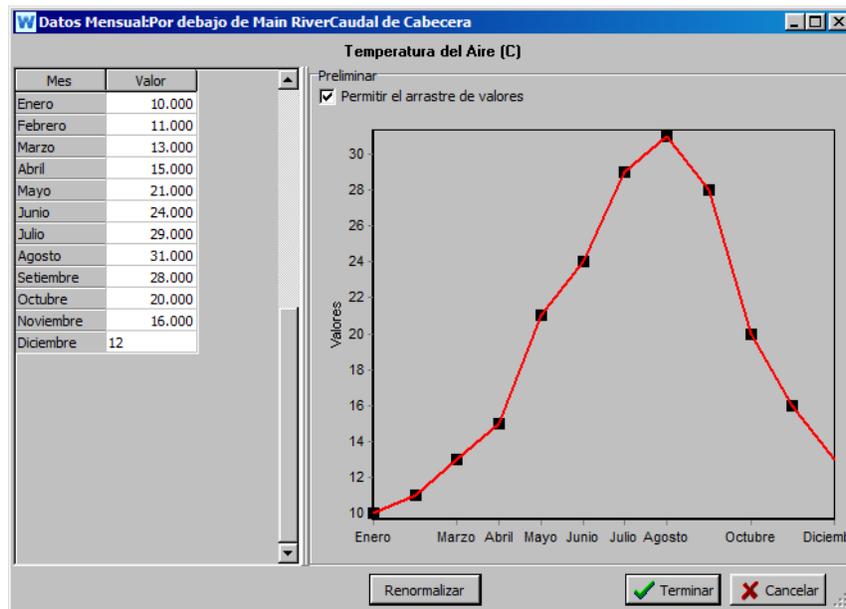
## 5. Ingresar los datos Climatológicos

Los Datos Climatológicos se necesitan para calcular la temperatura del agua.

Haga clic en el botón "Clima" y seleccione nuevamente el tramo "Por debajo de Main River Caudal de Cabecera." Use el Mensual Asistente para Series de Tiempo para ingresar la siguiente información climatológica:

### Temperatura del Aire

<u>Mes</u>	<u>Valor (°C)</u>
Enero	10
Febrero	11
Marzo	13
Abril	15
Mayo	21
Junio	24
Julio	29
Agosto	31
Septiembre	28
Octubre	20
Noviembre	16
Diciembre	12



Humedad	65%
Viento	1m/s
Fracción de Nubosidad	1
Latitud	30°

Nota: usted puede ingresar estos datos para el primer tramo del río y dejar los otros tramos vacíos si es que quiere que estos valores apliquen para todos los tramos.

The screenshot shows the WEAP software interface with the following components:

- Tree View (Left):** Shows the project structure including 'Supuestos Clave', 'Sitios de Demanda' (Big City, Agriculture), 'Hidrología', 'Recursos y Suministro', and 'Calidad del Agua'.
- Data Entry Table (Right):**

Tramo	2000	Escala	Unidad
Por debajo de Main RiverCaudal de Cabecera	65		Porcentaje
Por debajo de Withdrawal Node 1	0		Porcentaje
Por debajo de Withdrawal Node 2	0		Porcentaje
Por debajo de Return Flow Node 1	0		Porcentaje
Por debajo de Return Flow Node 2	0		Porcentaje
- Graph (Bottom Right):** A line graph titled 'Humedad (Mensual)' showing monthly humidity values from January to December for the five specified river segments. The y-axis ranges from 0.00 to 1.00. The legend indicates that all five segments are selected for display.

## Considerando restricciones de Calidad del Agua en un Sitio de Demanda

### 6. Ingresar las Restricciones

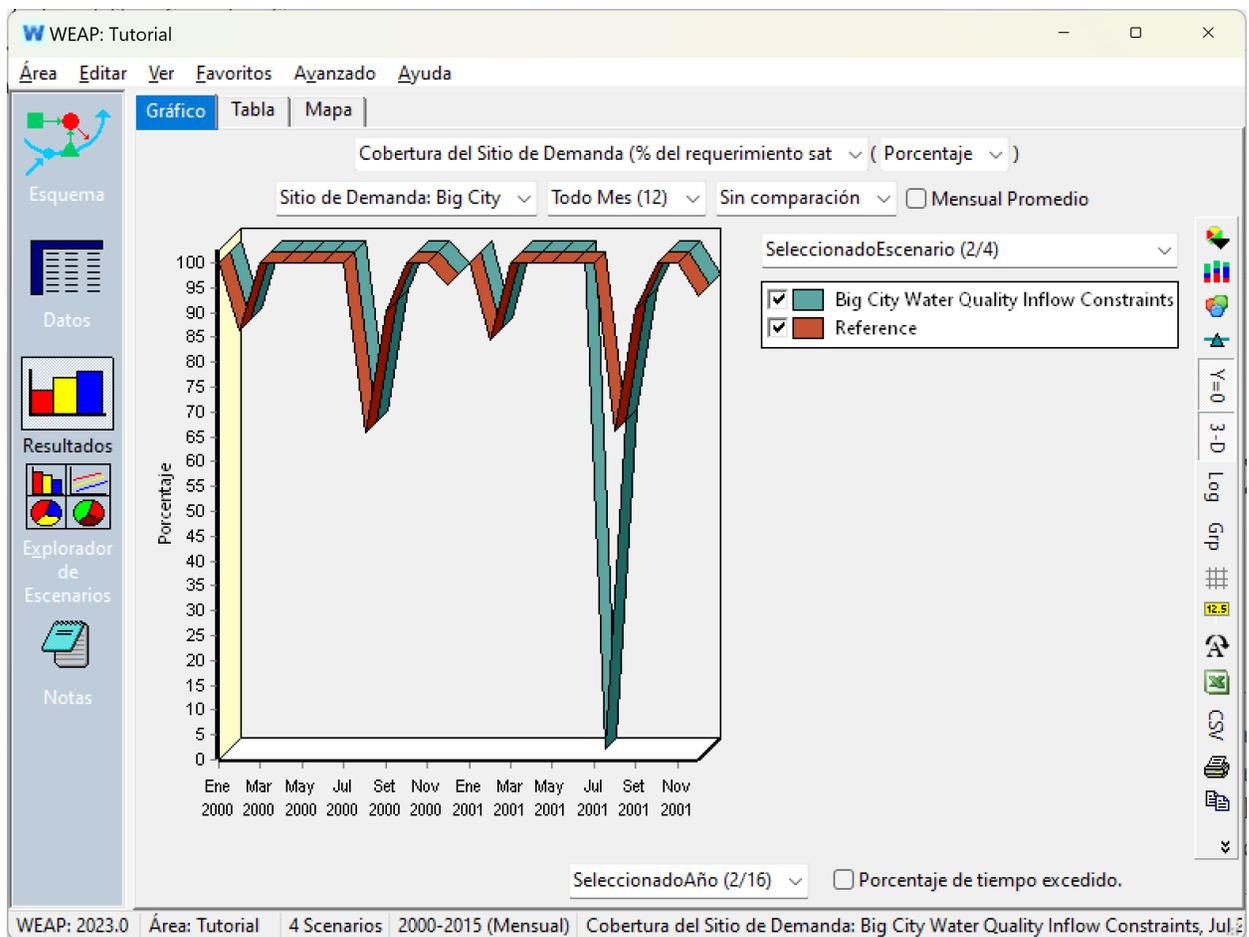
Un sitio de demanda puede requerir que su suministro de agua cumpla con ciertos criterios de calidad del agua.

*Cree un nuevo escenario heredado del escenario de "Reference" y llámelo "Big City Water Quality Inflow Constraints." En el ambiente de Datos (asegúrese de que este en el nuevo escenario), seleccione la rama de Big City en el árbol de datos, y haga clic en el botón de "Calidad del agua." Bajo la pestaña "BOD Afluente", ingrese la siguiente concentración máxima de BOD:*

*BOD afluente**2 mg/L*

## 7. Comparar los Resultados

*Acuérdese de que antes usted había ingresado una concentración de BOD (5 mg/L) para las aguas a la cabecera del Main River (bajo las Cuentas Corrientes) por lo que puede usted ahora correr el modelo y comparar la Cobertura de Demanda para Big City, con y sin la restricción en la calidad del agua en el suministro de Big City. Para el periodo 2000 y 2001, una comparación de la Cobertura de Big City para los escenarios de "Referencia" y "Restricciones de Calidad del agua Hacia Big City" debería verse como a continuación:*

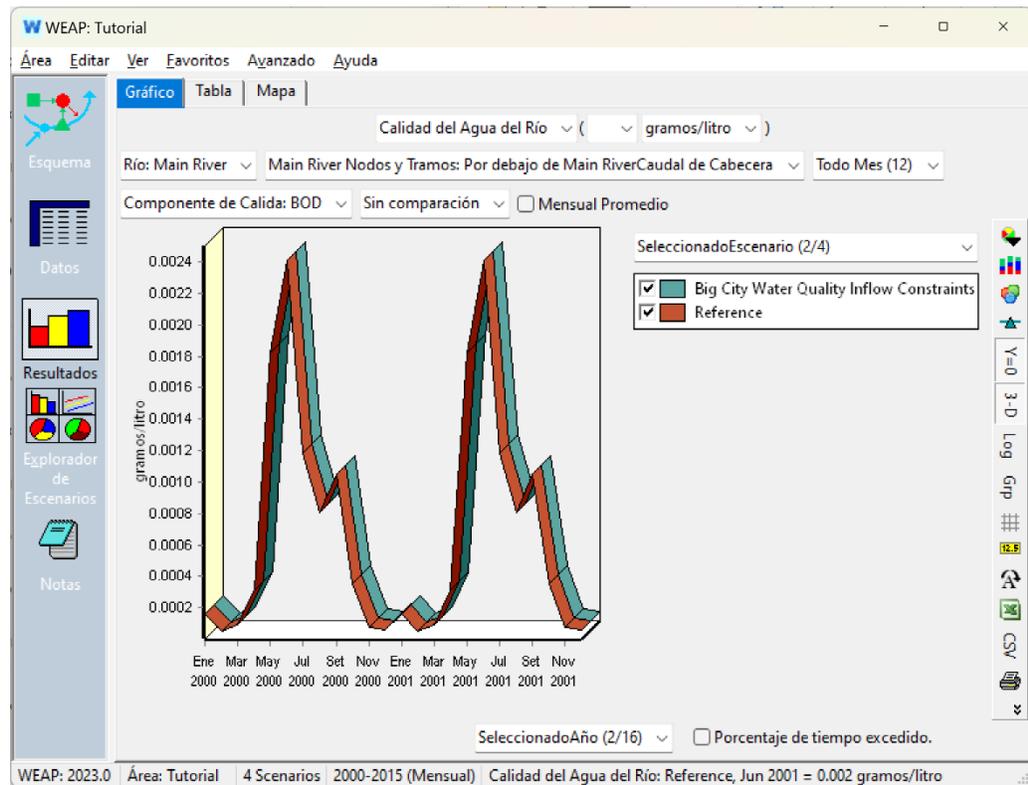


¿Porque la Cobertura de Big City baja a cero durante Junio, 2001 en el escenario con restricción en la calidad del agua?



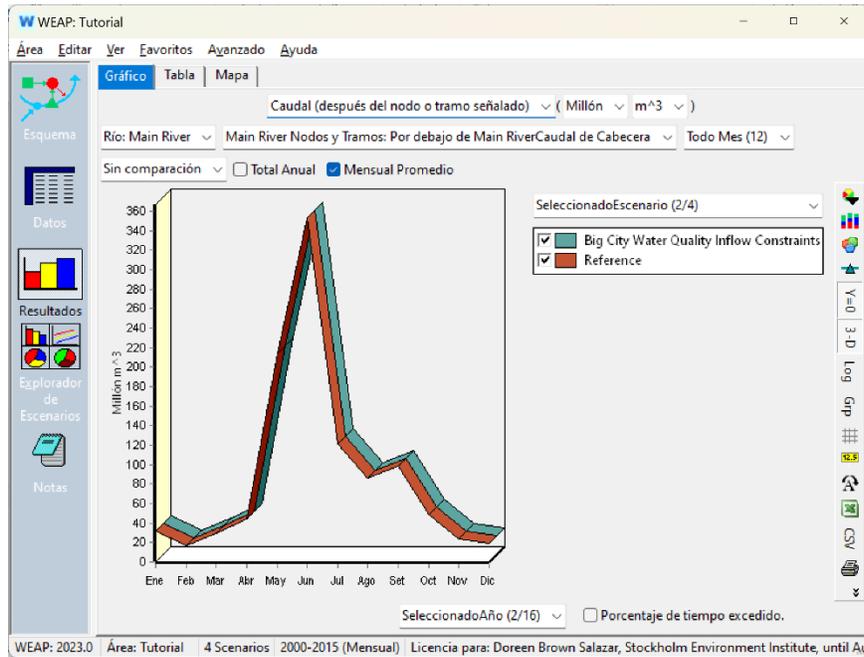
Vera en la concentración de DBO en el tramos “Por debajo de Main River Caudal de Cabecera” (foto de abajo) que la concentración de DBO se eleva por encima de la restricción (2mg/l) para la ingesta de Big City durante el mes junio en los años 2000 y 2001. Porque se activa la restricción durante el periodo de escenario (después de las Cuentas Corrientes en el año 2000), junio en 2001 será un problema. La cobertura de Big City disminuye durante ese mes porque el sitio no aceptara el agua que tiene una concentración de DBO debajo de las restricciones, y Big City no tiene otras fuentes de agua

*Seleccione “Calidad del agua/Enlace a Calidad del agua.”*

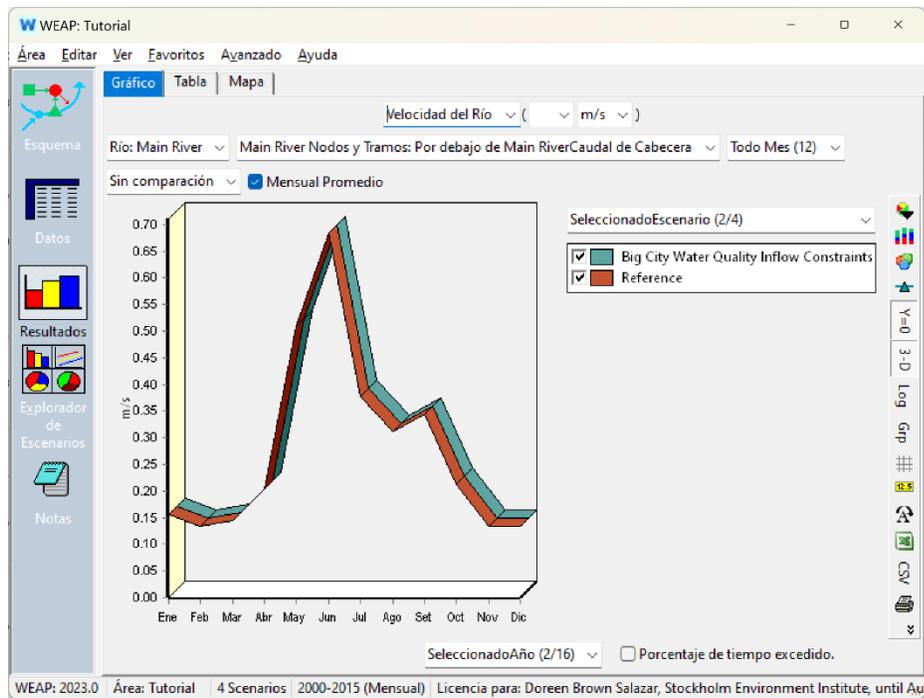


El patrón temporal simulada de la concentración de DBO a lo largo de este tramo del Main River debe a la degradación, lo que es controlada por el tiempo de residencia del agua en el tramos de Caudal de Cabecera sección del río. Cuando el tiempo de residencia es más largo, se produce más degradación. El patrón de DBO por lo tanto refleja lo que la velocidad de flujo y caudal (ver la figura abajo).

*Seleccione "Caudal," y Mensual promedio.*



*Seleccione Recursos y Suministro/Rio/Velocidad.*



# Ingresando Actividades Generadoras de Contaminación en un Sitio de Demanda

## 8. Ingreso de Datos

Vamos a asumir que sabemos la concentración de contaminantes en el flujo de retorno de *Big City*.

Entonces, usaremos los pestañas de concentraciones en la rama "Sitios de Demanda\Big City" del árbol de Datos. Haga clic en el botón de "Calidad del Agua" e ingrese los siguientes datos (en Cuentas Corrientes):

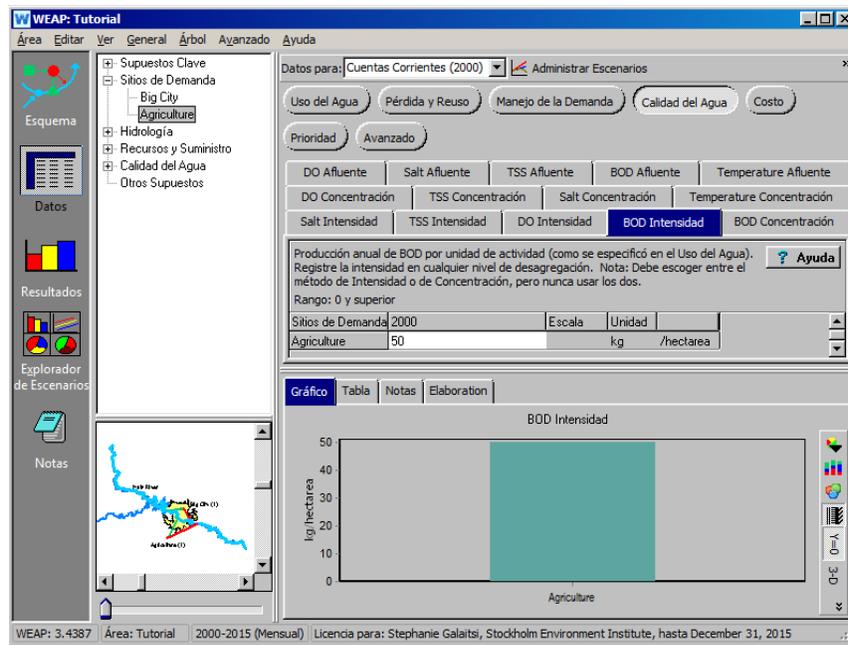
<b>Temperature Concentración</b>	<b>16 °C</b>
<b>BOD Concentración</b>	<b>60 mg/l</b>
<b>DO Concentración</b>	<b>3 mg/l</b>
<b>TSS Concentración n</b>	<b>5 mg/l</b>
<b>Salt Concentración</b>	<b>10 mg/l</b>

The screenshot shows the WEAP: Tutorial software interface. The main window is titled "WEAP: Tutorial" and has a menu bar with "Área", "Editar", "Ver", "General", "Árbol", "Avanzado", and "Ayuda". On the left, there is a "Datos" (Data) tree with a "Calidad del Agua" (Water Quality) folder expanded to show "Big City". The main panel has a "Datos para:" dropdown set to "Cuentas Corrientes (2000)" and a "Calidad del Agua" button. Below this are tabs for "Salt Intensidad", "TSS Intensidad", "DO Intensidad", "BOD Intensidad", "BOD Concentración", "DO Afluente", "Salt Afluente", "TSS Afluente", "BOD Afluente", "Temperature Afluente", "DO Concentración", "TSS Concentración", "Salt Concentración", and "Temperature Concentración". The "Temperature Concentración" tab is active, showing a table with the value 16 for "Big City" in degrees Celsius. The graph area at the bottom right is titled "Temperature Concentración (Mensual)" and shows a blank coordinate system for monthly data from 2000 to 2015.

Para el sitio de demanda *Agriculture*, vamos a admitir que no sabemos la concentración en el flujo de retorno, pero sabemos la intensidad de generación de contaminantes.

Ingrese la siguiente información para Sitios de Demanda/Agriculture:

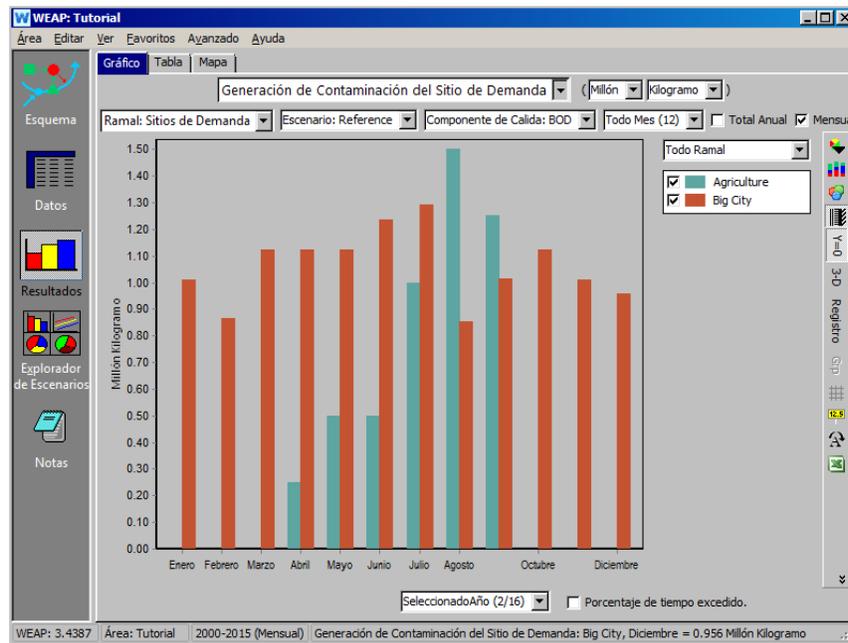
<b>BOD Intensidad</b>	<b>50 kg/ha</b>
<b>DO Intensidad</b>	<b>30 kg/ha</b>
<b>TSS Intensidad</b>	<b>20 kg/ha</b>
<b>Salt Intensidad</b>	<b>2 kg/ha</b>
<b>Temperature [Concentración]</b>	<b>15°C</b>



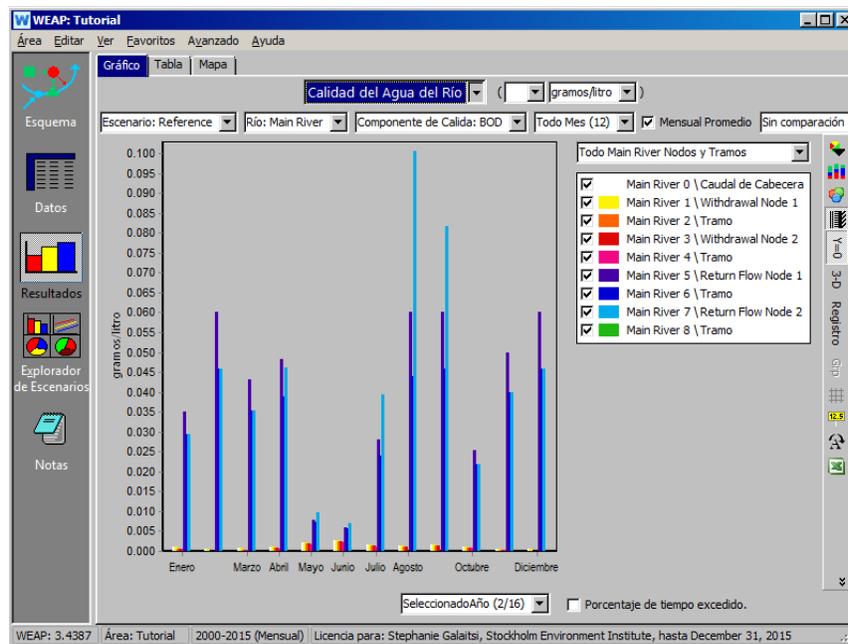
Utilizando cualquier método para la introducción de datos para la Generación de Contaminantes causara WEAP a omiso cualquier concentración de los contaminantes incluidos o simulados en las caudales afluentes al sitio de demanda.

## 9. Evaluar los Resultados

Ejecuta el modelo y mire a los siguientes resultados para varios constituyentes de calidad del agua. Seleccione "Generación de Contaminación" del menú de variables principal (bajo Calidad del Agua). Seleccione: Ramal: Sitios de Demanda del menú a la izquierda, para los años 2000 y 2001 y ve como columnas.



*Seleccione Calidad del Agua del Rio (este grafico es más fácil a ver si cambie los colores a "Mac" en el barro a la derecha)*

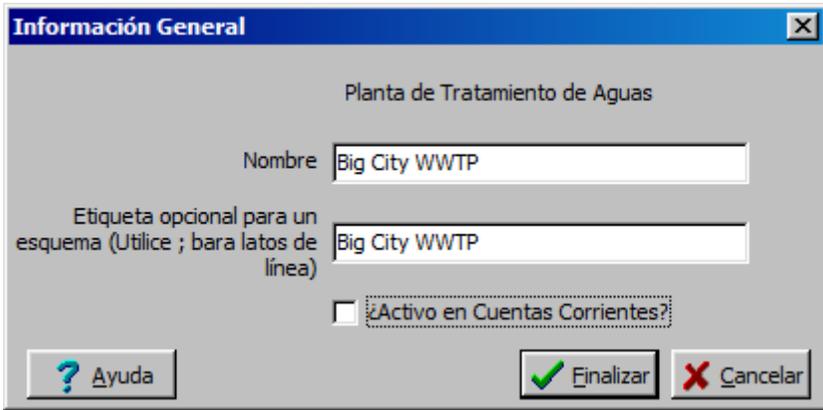


Note que la Generación de Contaminación para *Agriculture* se restringe a los meses de primavera y verano, cuando las actividades agrícolas están activas.

# Modelando una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

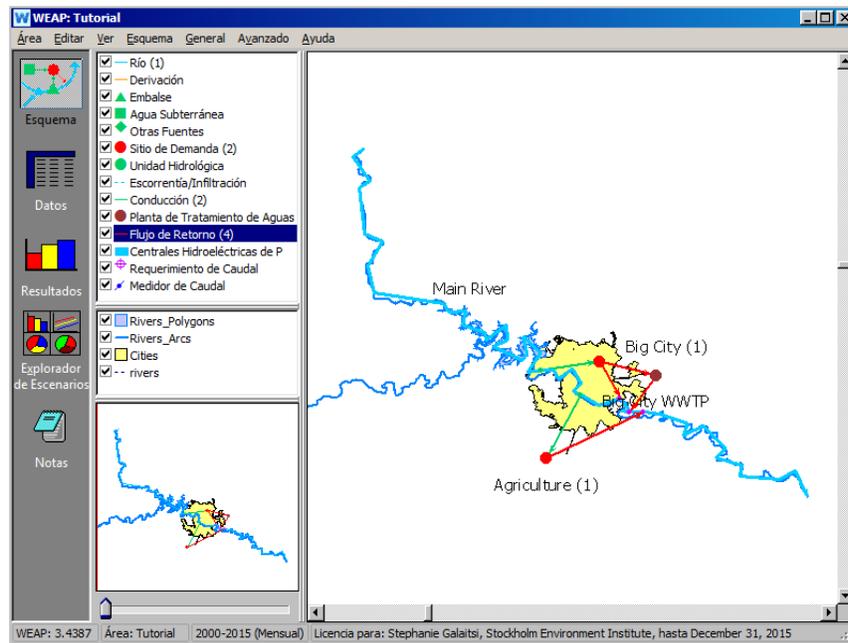
## 10. Cree una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas

Cree un escenario llamado "Wastewater Treatment Plant Added"- este escenario se hereda del "Reference." Después, agregue una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para Big City, llámela "Big City WWTP" y déjela inactiva en las Cuentas Corrientes.



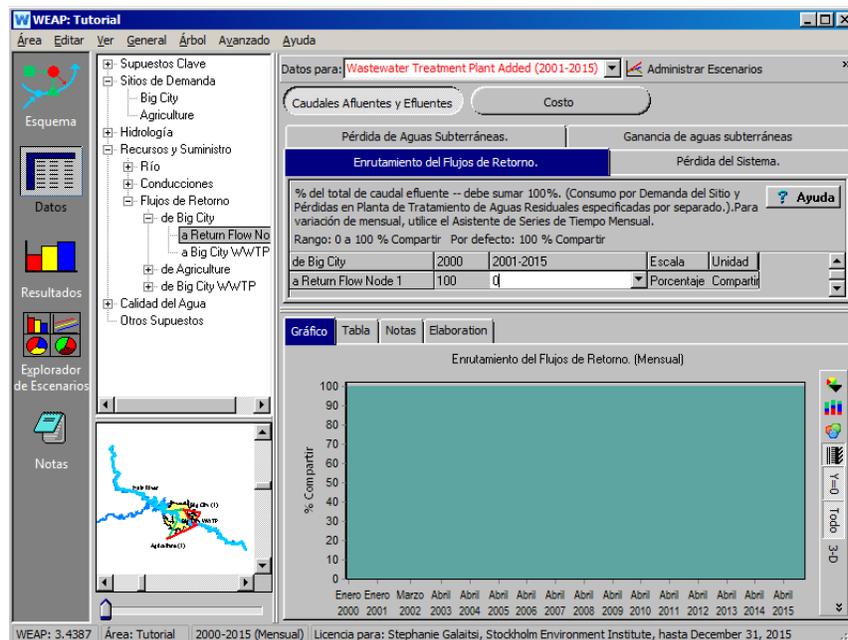
The screenshot shows a dialog box titled "Información General" with a close button (X) in the top right corner. The main title is "Planta de Tratamiento de Aguas". It contains two text input fields: "Nombre" with the value "Big City WWTP" and "Etiqueta opcional para un esquema (Utilice ; para los lados de línea)" also with the value "Big City WWTP". Below these fields is a checkbox labeled "Activo en Cuentas Corrientes?" which is currently unchecked. At the bottom, there are three buttons: "Ayuda" (with a question mark icon), "Finalizar" (with a green checkmark icon), and "Cancelar" (with a red X icon).

Cree otro enlace de flujos de retorno desde Big City a la WWTP. Mantenga el enlace de flujos de retorno existente entre Big City y el río. También cree un enlace de flujos de retorno entre la WWTP y el río. Su modelo debería verse similar a la figura de abajo:



Usted tiene que establecer las variables de “Enrutamiento del Flujos de Retorno” para ambos enlaces.

*En el ambiente “Datos” y en el árbol Recursos y Suministro/Flujos de Retorno/de Big City/a Return Flow Node 1” (para los Flujos de Retorno desde Big City a Main River), deje el “Enrutamiento del Flujos de Retorno” en un 100% para las Cuentas Corrientes y 0% para los años 2001-2015 en el escenario “Wastewater Treatment Plant Added” recién creado.*



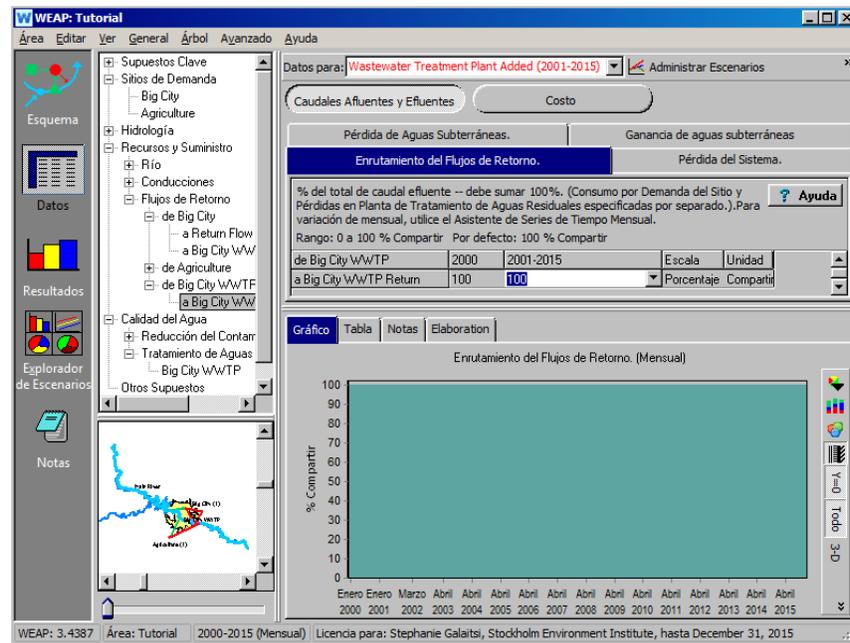
*Para los Flujos de Retorno desde Big City a la WWTP de Big City establézcalo a un 100% para los años 2001-2015 en el mismo escenario. En el escenario “Cuentas Corrientes,” ingrese los flujos de retorno a 0%. A pesar de que aún no existe la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, WEAP dará errores si los porcentajes no suman a 100% entre la infraestructura existente y no existente (los dos enlaces de flujos de retorno de Big City).*

The screenshot shows the WEAP software interface with the following components:

- Left Panel:** A tree view showing the project structure, including 'Supuestos Clave', 'Sitios de Demanda', 'Hidrología', 'Recursos y Suministro', 'Calidad del Agua', and 'Otros Supuestos'.
- Top Panel:** 'Datos para: Wastewater Treatment Plant Added (2001-2015)' and 'Administrar Escenarios'.
- Center Panel:** 'Enrutamiento de Flujos de Retorno' settings. A table shows:
 

de Big City	2000	2001-2015	Escala	Unidad
a Big City WWTP	0	100	Porcentaje	Compartir
- Bottom Panel:** A line graph titled 'Enrutamiento de Flujos de Retorno. (Mensual)' showing a constant value of 100% from 2000 to 2015.

*También establezca el Routing a un 100% para el Flujo de Retorno desde la WWTP Big City al Main River (Return Flow Node 3).*

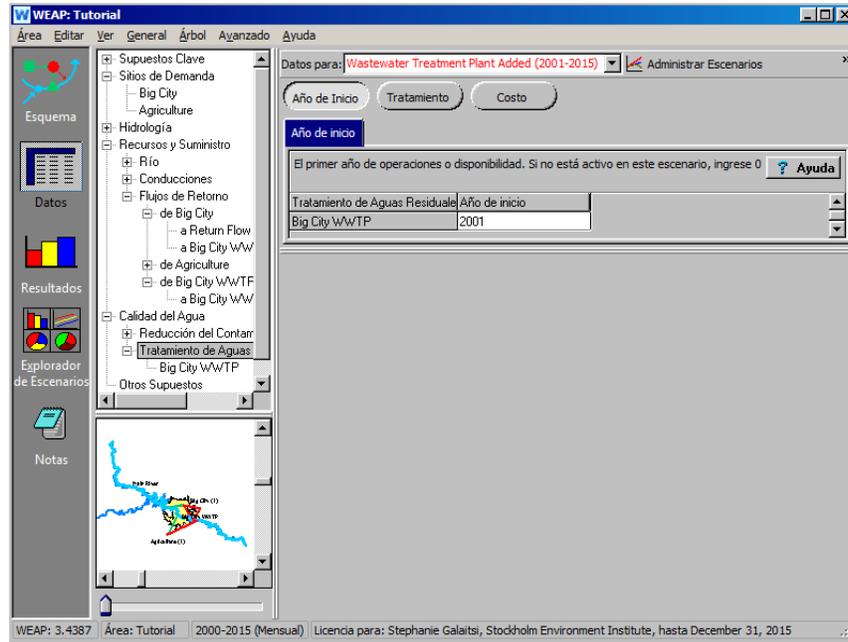


You also have the possibility to set removal rates in the various return flows. This would be useful if, for example, a given pollutant is decomposed by bacteria in the sewer system. These data can be entered under the “Water Quality \ Pollutant Decrease in Return Flow” branches for the appropriate return flows (see figure below for example).

## 11. Ingrese la información para la WWTP

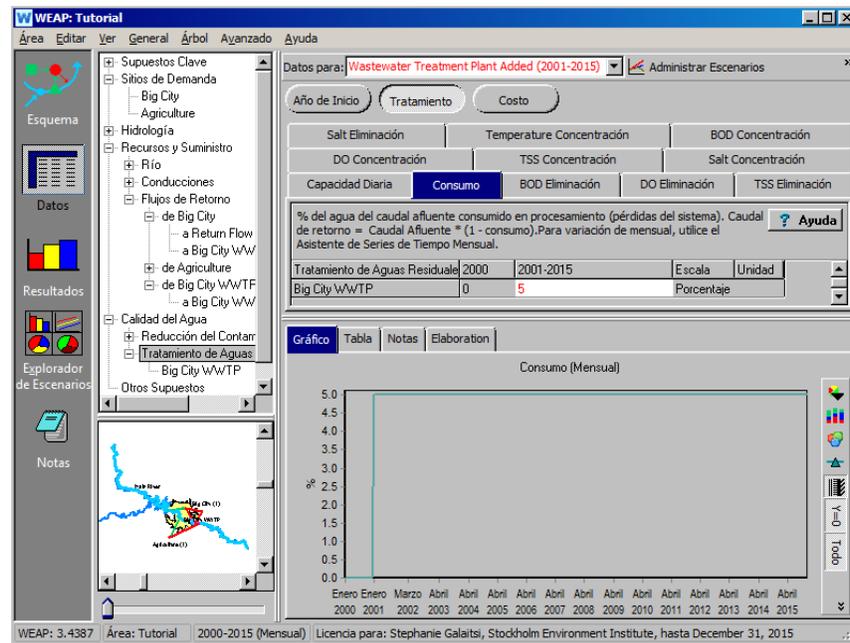
*Primero, ingrese el “Año de Inicio” en la rama “Calidad del Agua \ Tratamiento de Aguas Residuales” del árbol de datos para Big City WWTP. (Note que no puede ingresar estos datos en Cuentas Corrientes por que la Planta no está activa en Cuentas Corrientes. Deber ser en un escenario, y aquí usaremos “Wastewater Treatment Plant Added”).*

**Año de Inicio**                      **2001**



*También ingrese la siguiente información en la pantalla de “Tratamiento.”*

<b>Consumo</b>	<b>5%</b>
<b>Capacidad Diaria</b>	<b>2M m<sup>3</sup></b>
<b>BOD Eliminación</b>	<b>90%</b>
<b>DO Concentración</b>	<b>5mg/l</b>
<b>TSS Eliminación</b>	<b>80%</b>
<b>Salt Eliminación</b>	<b>20%</b>
<b>Temperatura[Concentración]</b>	<b>15°C</b>



Si solo una parte de los aguas residuales son tratadas de la Planta de Tratamiento, hay dos posibilidades de modelándolo.

Se puede limitar la capacidad diaria a cualquier cantidad realmente pueden ser tratados. En este caso, se descargará los aguas residuales en exceso de límite sin tratamiento y la proporción de aguas residuales sin tratar no es constante, porque depende del caudal total.



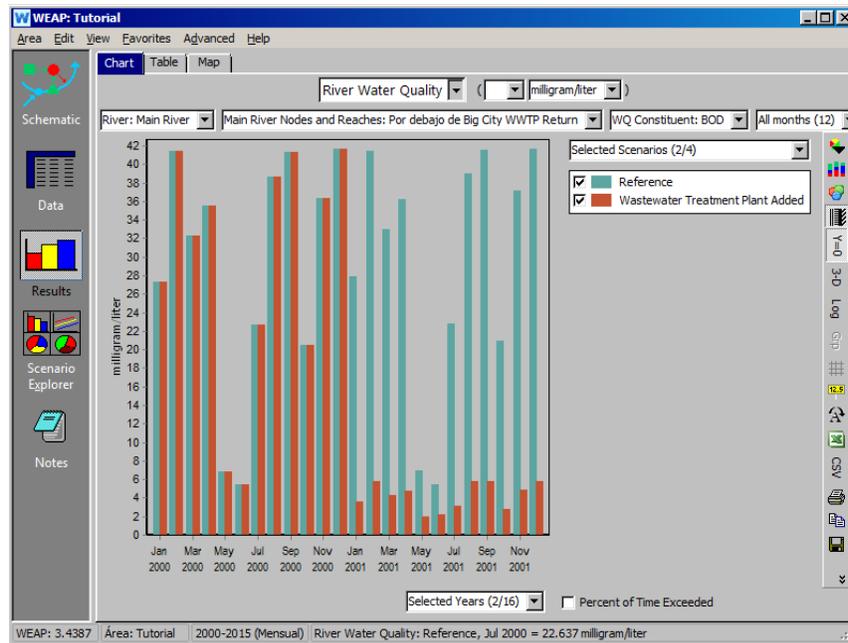
Otra solución será crear un flujo de retorno adicional que va desde el sitio de demanda directamente al río, pasando por alto de Planta de Tratamiento. En este caso, se puede enviar una porción constante en by-pass de la Planta. Se realiza con el establecimiento de las porciones de enrutamientos de los flujos de retornos. También, es posible combinar los dos métodos.

## 12. Evaluar los Resultados

*Ejecuta el modelo. Observaremos a los siguientes resultados para BOD en el escenario "Wastewater Treatment Plant Added," comparándolos con los valores del escenario "Reference" (sin la planta de tratamiento de aguas residuales).*

*Para ver estos resultados, primero selecciones "Calidad del agua del Río" bajo "Calidad del agua" en el menú desplegable principal. Después elija "Seleccionado Escenario" en el menú desplegable arriba de la leyenda del gráfico y seleccione los escenarios "Reference" y "Wastewater Treatment Plant Added."*

Usando el menú desplegable abajo del gráfico, seleccione los años 2000 y 2001 para ver. Seleccione “Por debajo de Big City WWTP Return” (es el flujo de retorno desde la WWTP, por lo que va a estar mirando a la calidad del agua en el río justo abajo del influjo desde la WWTP) como el tramo en Main River para ver. Seleccione “BOD” como el componente de calidad del agua desde el menú desplegable arriba del gráfico, y desmarque el botón “Monthly Average” a la extrema derecha. Su pantalla debería verse como la que se presenta a continuación:

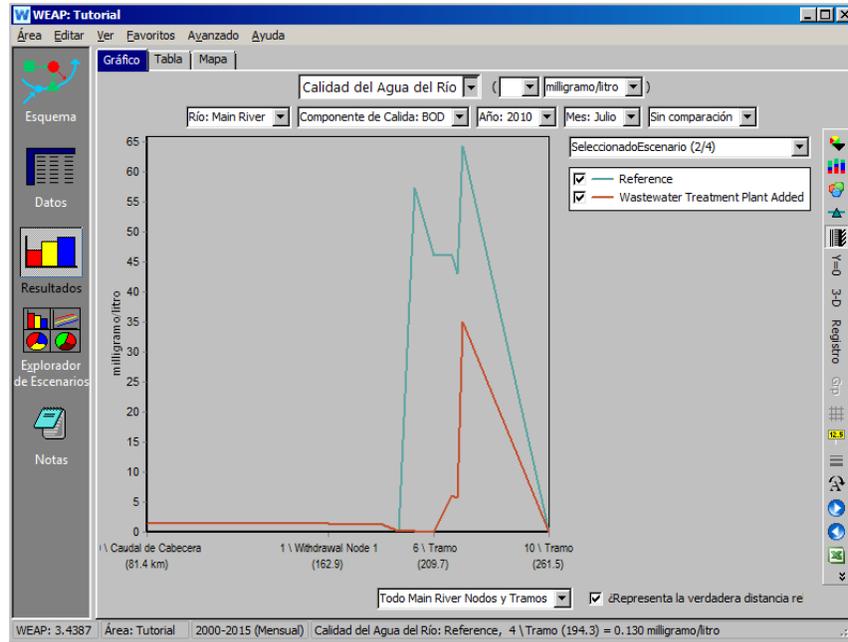


Tenga en cuenta que los niveles de DBO disminuyen sustancialmente en 2001 en comparación con 2000 en el tramo por debajo del flujo de retorno de la Planta de Tratamiento, ya que la planta se active ese año.

WEAP también puede mostrar los valores de calidad del agua a lo largo del río.

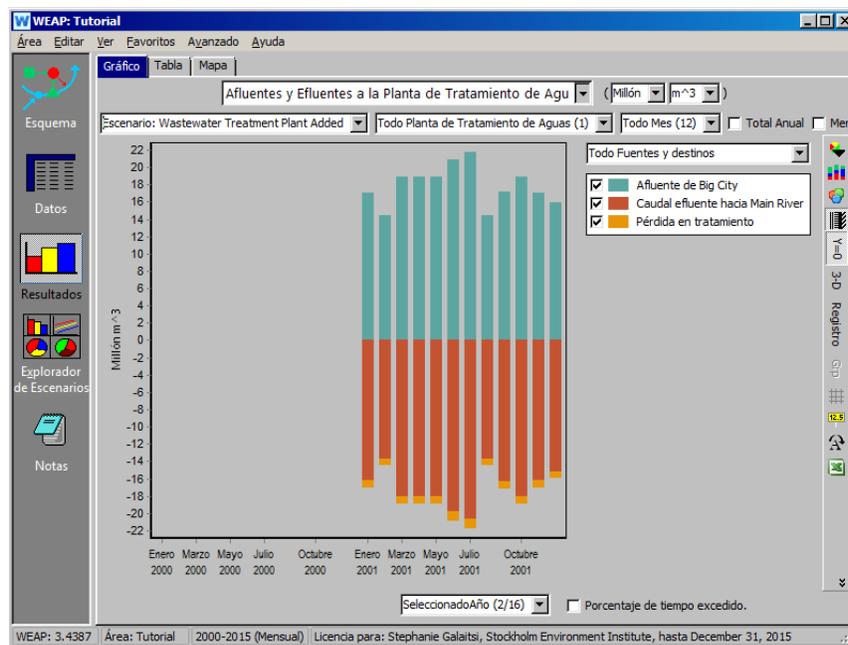
Desde el menú al fondo de la pantalla, elija “Todo Main River Nodos y Tramos” y haga marque “¿Representa la verdadera distancia relativa?” Esto mostrara todo los nodos y tramos a lo largo del eje-X, con su distanciamiento proporcional a su distancia aguas abajo (las distancias se muestran en paréntesis). Seleccione July, 2010, como el mes y año. Para el tipo de gráfico, seleccione “línea” en la barra a la derecha.

El gráfico muestra como los niveles de BOD aumentan cuando los flujos de retorno cargados de BOD entran al río, y disminuyen a medida que el BOD decae aguas abajo. El efecto de la planta de tratamiento de aguas servidas se puede ver claramente. Su gráfico debería parecerse al siguiente:



***Afluentes y Efluentes a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.***

*Para ver estos resultados, seleccione “Afluentes y Efluentes a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales” (bajo Calidad del Agua) desde el menú desplegable principal. También seleccione el escenario “Wastewater Treatment Plant Added” desde el menú arriba a la izquierda. Seleccione los años 2000 y 2001 y todo mes. Cambie las columnas a “Apilados” a la barra a la derecha.*





En este tipo de gráfico, se representan los caudales efluentes del área con valores negativos y los caudales afluentes con valores positivos. Tenga en cuenta también que la categoría de “Perdida en tratamiento” representa el flujo consumo – ingresamos una tasa de consumo del 5% en la vista de datos de la planta de tratamiento.

---

---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# La interfaz WEAP/ QUAL2K

*Un tutorial para*

*Como Vincular WEAP a QUAL2K..... 186*

*Correr Escenarios ..... 192*

noviembre de 2023

**Nota:**

Para este módulo necesitarás haber completado los módulos previos (WEAP en Una Hora, Herramientas Básicas, Escenarios y Calidad del Agua) o tener un conocimiento razonable de WEAP (estructura de datos, Supuestos Clave, generador de expresiones, la creación de escenarios). Para iniciar este módulo, ir al menú principal "Area", seleccione "Regresar a Versión Previa" y elija la versión llamada "Answer Key for Water Quality Module".

## Como Vincular WEAP a QUAL2K

### 1. Usando QUAL2K para modelar Calidad del agua en WEAP

Además de utilizar la capacidad de WEAP para la modelación de la calidad del agua, es posible utilizar la estructura del modelo US EPA QUAL2K. Este módulo muestra cómo utilizar la interfaz WEAP / QUAL2K, tomando el módulo de la Calidad del Agua como punto de partida. Este módulo no es una introducción a QUAL2K, lo cual requiere un conocimiento especializado, pero si usted ya está usando QUAL2K, después de este módulo deberá ser capaz de vincular su archivo QUAL2K a WEAP.



---

Este módulo no es una introducción a QUAL2K. Se requiere un trabajo considerable fuera del WEAP para calibrar y preparar un archivo QUAL2K. Consulte el manual de QUAL2K para más información. Visitando <http://www.epa.gov/athens/wwqtsc/html/qual2k.html> podrá descargar el software o encontrar información.

---

### 2. Diferencias Entre QUAL2K y WEAP

QUAL2K y WEAP son compatibles en su enfoque general de modelación de calidad del agua, pero hacen algunas cosas de manera diferente. Las diferencias importantes son:

- QUAL2K mide la distancia de un tramo desde la cola, mientras que WEAP lo hace desde la cabeza.

- QUAL2K permite variaciones diurnas en la calidad del agua y el clima, mientras WEAP toma el mismo valor para todas las horas del día.
- WEAP es más tolerante que QUAL2K a los valores igual a cero y a los valores faltantes.
- QUAL2K y WEAP usan diferentes parámetros de clima. Por ejemplo, QUAL2K usa el punto de rocío, mientras WEAP usa la humedad.
- QUAL2K modela muchos más componentes con más detalles, incluyendo dos componentes separadas de CBOD, amoníaco, nitrato, fósforo orgánico e inorgánico, algas, sedimentos, pH y agentes patógenos (véase <http://www.epa.gov/athens/wwqts/html/qual2k.html> para más detalles).
- QUAL2K y WEAP son similares en que cada uno trata a un río como una secuencia de extensiones, no necesariamente de la misma longitud. Sin embargo, los límites de extensión son definidos en QUAL2K y en WEAP no necesitan encuentro. Donde los límites no coinciden, WEAP se encarga de la tarea de mapeo de las variables de calidad del agua y de clima, basado en registros de distancia.

Los embalses presentan desafíos especiales para la modelación de la calidad del agua. WEAP incluye embalses, pero no para la calidad del agua, mientras que QUAL2K los incluye, pero no son operados. Se recomienda que los ríos con embalses no sean vinculados a QUAL2K, o que sean modelados en dos secciones- por encima del embalse y por debajo del embalse.

### 3. Vincular contaminantes a QUAL2K

Este módulo utiliza el resultado final del módulo de Calidad del Agua como punto de partida. Abrir el tutorial WEAP (Seleccionando "Area | Abrir | Tutorial" desde el menú), después seleccionando "Area | Regresar a Versión Previa | Answer Key for "Water Quality" module".

Una vez el archivo esté listo, cambiar los componentes de calidad del agua para que apunten a QUAL2K.

- En el menú, seleccione "General | Componentes de la calidad del Agua."
- Para cada componente (A excepción de 'salt'), seleccione "Modelado en QUAL2K" en el desplegable "Calculate By".
- Vincular cada componente en WEAP a una componente correspondiente en QUAL2K: Link to Qual2K Constituent/"Temperature" → "Temperatura", "BOD"

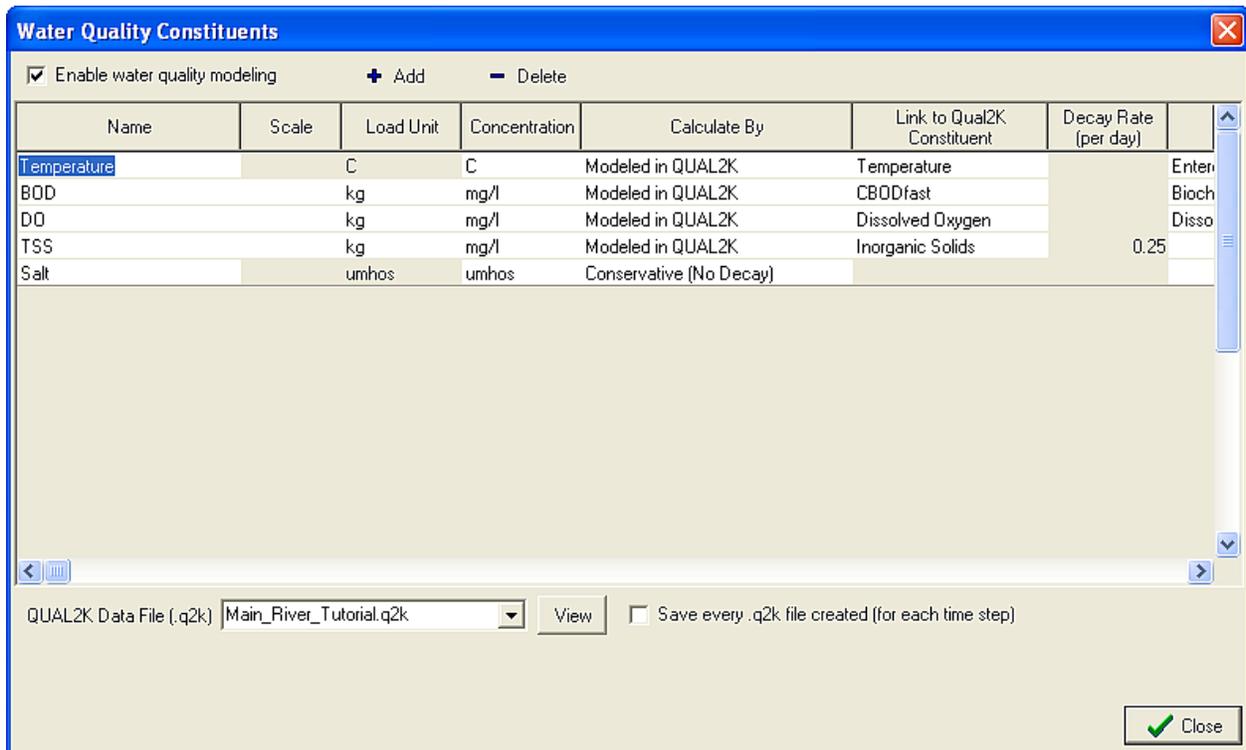
→ “CDOB\_rapida”, “DO” → “Oxígeno Disuelto”, “TSS” → “Sólidos Inorgánicos.”

La salinidad no se modela directamente en QUAL2K, por lo que en este ejemplo no se vincula a un componente QUAL2K. En vez de esto QUAL2K modela la conductividad, que es un indicador de fácil medición de la salinidad, para esto selecciones "umhos" en el desplegable de la fila " Salt" en la columna "Concentration".

A continuación, busque un archivo de datos QUAL2K (un archivo que termina en .q2k).

- Busque el nuevo desplegable llamado "QUAL2K archivo de datos (.q2k)" que ha aparecido en la parte inferior izquierda del cuadro de diálogo Constituyentes de Calidad del Agua.
- Seleccione “< Copiar archivo desde otro directorio >” en el desplegable.
- Busque en: Tutorial/Additonal Files , el archivo “Main\_River\_Tutorial.q2k”.

El diálogo de componentes de calidad del agua ahora debe ser similar al siguiente:





---

El archivo QUAL2K inicialmente debe ser desarrollado y editado fuera de WEAP. En WEAP se modificarán algunos de los valores, y se extraerán los valores de QUAL2K después de que este se ejecute. Para ver o editar el archivo QUAL2K, dar clic el botón "Ver" junto al desplegable "QUAL2K Data File (.q2k)" del cuadro de diálogo 'Constituyentes de Calidad del Agua'.

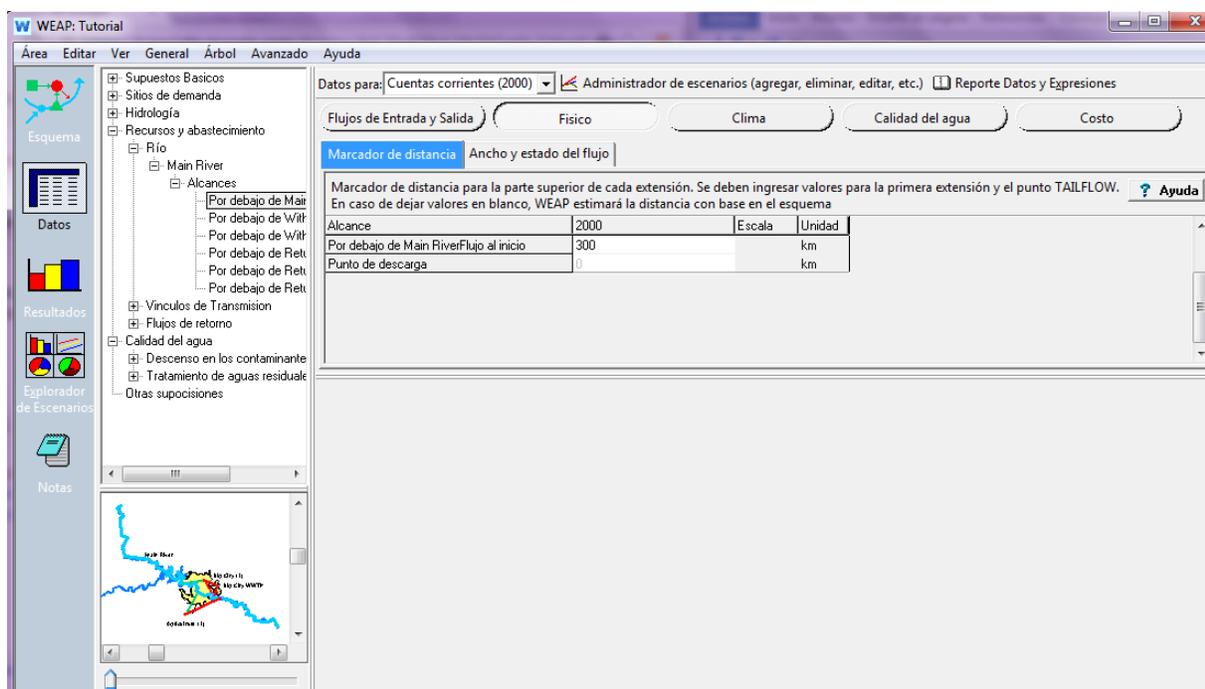
---

## 4. Cambiar Marcadores de Distancia de la extensión

Para el marcado de distancias de las extensiones, QUAL2K asigna una distancia de 0 a la cola del río, y aumenta la distancia aguas arriba. WEAP puede medir las distancias de las extensiones, ya sea aguas arriba o aguas abajo; en el módulo anterior se midió aguas abajo, es decir contrario a la convención para QUAL2K. Los marcadores de distancia de las extensiones deben cambiarse para vincular a QUAL2K.

Para establecer los marcadores de distancia de las extensiones:

- Vaya a Datos
- Navegue hasta la rama "Recursos y abastecimiento\Río>Main River\ Alcances\ Por debajo de Main RiverFlujo al inicio".
- Clic en el botón "Físico".
- Seleccione la pestaña "Marcador de distancia". (Cambie a cuentas corrientes en el menú desplegable en la parte superior de la página.)
- Ajuste la distancia "Por debajo de Main RiverFlujo al inicio" a 300 km, y la distancia de "Punto de descarga" a 0 kilómetros.



## 5. Ajustar Punto de rocío y nubosidad

QUAL2K y WEAP usan diferentes parámetros climáticos, por lo que algunos parámetros climáticos adicionales deben ser ajustados para QUAL2K. Al usar QUAL2K para los cálculos de calidad del agua, WEAP cambia la lista de parámetros climáticos automáticamente.

Mientras cada extensión en QUAL2K puede tener un clima diferente, para la mayoría de aplicaciones WEAP es razonable asumir que el clima es el mismo en todos los tramos. En este caso, los parámetros climáticos sólo necesitan ser fijados para la extensión de la parte superior, ya que para los tramos aguas abajo, se usan los valores de aguas arriba de forma predeterminada. Para este ejemplo, serán establecidos dos parámetros climáticos: la cobertura de nubes y el punto de rocío.

La cobertura de nubes no es un parámetro climático en WEAP, por lo que no hay ningún valor correspondiente en WEAP. Para este ejemplo se asume que la cobertura media de la nube es del 30% a lo largo del río. Para ajustar esto:

- Vaya a la rama "Recursos y abastecimiento \ río \ Main River \ Alcances \ Por debajo de Main RiverFlujo al inicio", si ya no está allí.
- Clic en el botón "Clima".
- Seleccione la pestaña "Cubierta de Nubes".

- Asigne un valor de "30".

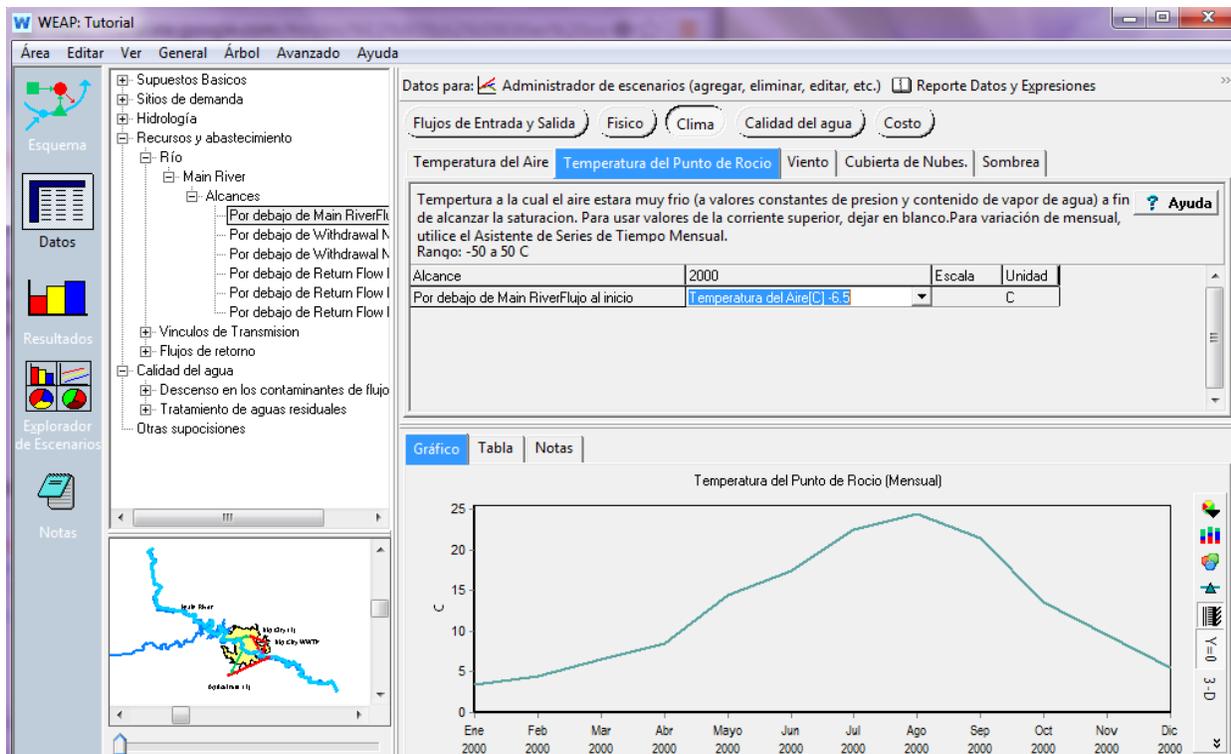
El punto de rocío es utilizado por QUAL2K en lugar del parámetro humedad relativa de WEAP. El punto de rocío ( $T_d$ ), se puede calcular a partir de la temperatura del aire ( $T$ ), y la humedad relativa ( $h_r$ ) haciendo el siguiente cálculo. Primero, en lugar de utilizar directamente la temperatura del aire  $T$ , usar  $x = T/237.7$ . Luego calcule el punto de rocío utilizando:

$$T_d = 237.7 [17.3 x + (1 + x) \ln h_r] / [17.3 - (1 + x) \ln h_r]$$

Utilizando esta fórmula, los valores de la temperatura del aire (que son diferentes para cada mes) y humedad relativa (65% por cada mes) en el archivo de "Water Quality module", el punto de rocío es 6.5°C debajo de la temperatura del aire para todos los meses. Por lo tanto, para establecer el punto de rocío:

- Vaya a la rama "Recursos y abastecimiento \ río \ Main River \ Alcances \ Por debajo de Main RiverFlujo al inicio", si no está ya allí.
- Clic en el botón "Clima".
- Seleccione la pestaña "Temperatura del Punto de Rocio".

Utilizar el editor de ecuaciones o directamente escribir en la fórmula "Temperatura del aire - 6.5", y asegúrese de que la unidad es "C".



# Correr Escenarios

## 6. Correr Escenarios

Ejecute el Escenario: Ir a Resultados y contestar "Yes" al cuadro de diálogo que pregunta si desea recalcular.

*Tenga en cuenta que cuando se utiliza QUAL2K, correr los escenarios puede tomar tiempo. Considere reducir el número de escenarios que calcule cada vez.*

QUAL2K no se ejecutará para los meses en los que el caudal es cero. Si esta situación se produce en uno o más escenarios, añada un (pequeño) caudal mínimo en los tramos que se utiliza QUAL2K.

## 7. Comparar Resultados

Cuando los escenarios seleccionados hayan terminado de ejecutarse, compare los resultados con los resultados del módulo anterior. Ellos deben ser similares, pero no idénticos, porque los cálculos incorporados en la calidad del agua en WEAP hacen algunos supuestos diferentes y utilizan diferentes aproximaciones que QUAL2K.

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Hidrología

## *Un tutorial para*

<i>Como Modelar Unidades Hidrológicas: modelo aguas lluvias y escurrimientos.....</i>	<i>194</i>
<i>Modelando Unidades Hidrológicas: modelo de humedad de suelo.....</i>	<i>199</i>
<i>Simulando interacción superficie y aguas subterráneas .....</i>	<i>206</i>

**noviembre de 2023**

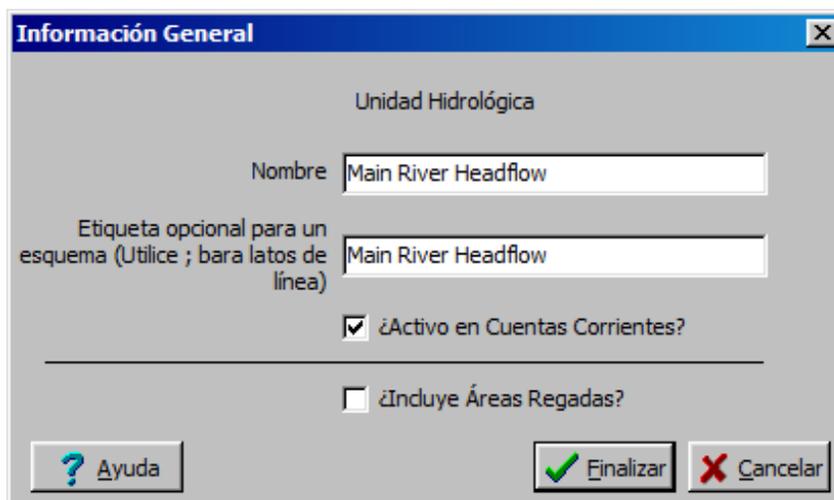
**Note:**

Para comenzar esta lección vaya al menú principal y seleccione “Regresar a Versión Previa” y escoja la versión llamada “Starting point for all modules after ‘Scenarios’ module.”

## Como Modelar Unidades Hidrológicas: modelo aguas lluvias y escurrimientos.

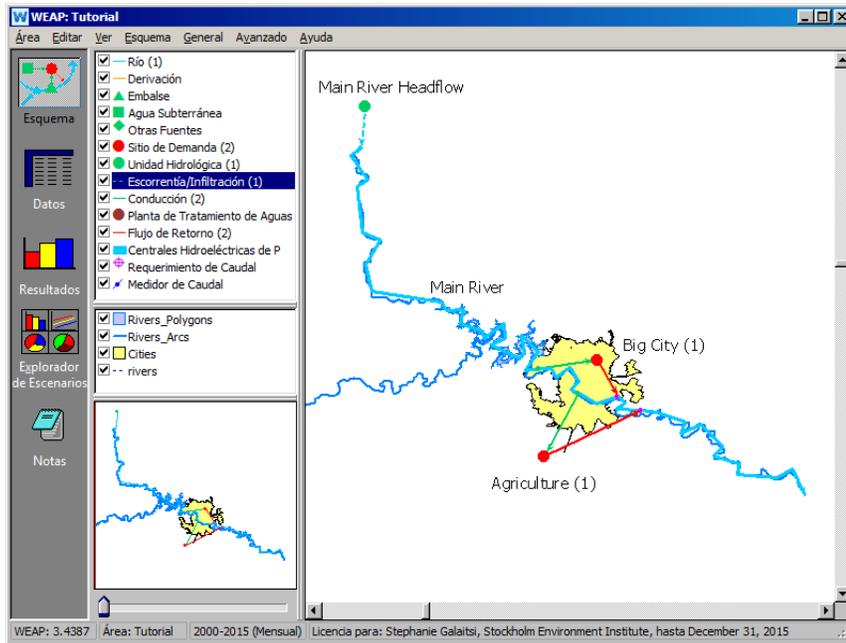
### 1. Crear una nueva Unidad Hidrológica

*Cree un “Unidad Hidrológica” en ambiente Esquema para simular caudal de cabecera para Main River. Haga esto tirando sobre un nodo de Unidad Hidrológica y lo localizando cerca del punto de partida de Main River. Denomínelo Main River Headflow. Debe estar seleccionado por “¿Activo en Cuentas Corrientes?” y no seleccionado por “¿Incluye Áreas Regadas?”*



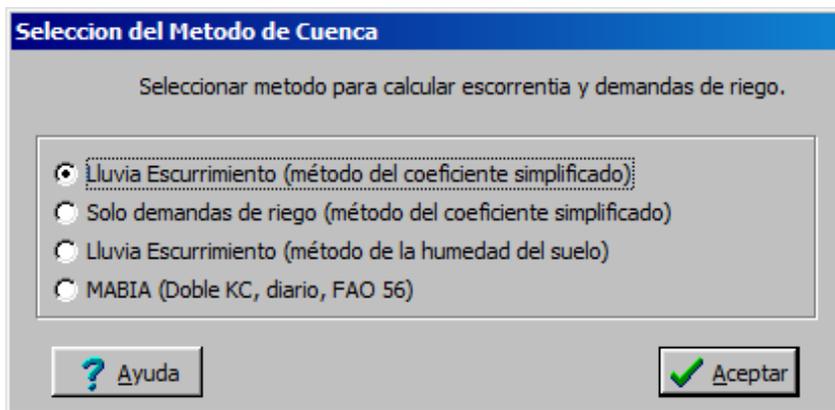
The screenshot shows a dialog box titled "Información General" with a close button (X) in the top right corner. The main title is "Unidad Hidrológica". It contains two text input fields: "Nombre" with the value "Main River Headflow" and "Etiqueta opcional para un esquema (Utilice ; para latos de línea)" also with the value "Main River Headflow". Below these are two checkboxes: "¿Activo en Cuentas Corrientes?" which is checked, and "¿Incluye Áreas Regadas?" which is unchecked. At the bottom, there are three buttons: "Ayuda" (with a question mark icon), "Finalizar" (with a green checkmark icon), and "Cancelar" (with a red X icon).

*Luego, crea un enlace “Escorrentía/Infiltración” desde la Unidad Hidrológica hasta el punto de partida del Main River.*



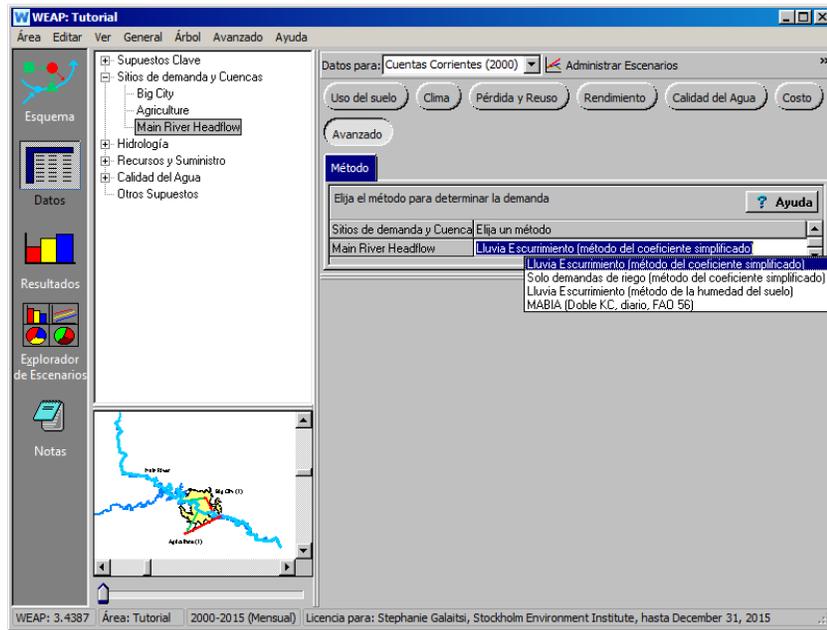
## 2. Crear la apropiada sub-estructura para la cuenca

*Primero clic en botón derecho del mouse en la Unidad Hidrológica o selecciónelo en la ambiente "Datos," para seleccionar "Método" de la Unidad Hidrológica. Aparecerá la ventana siguiente. Seleccione "Lluvia Escurrimiento (método del coeficiente simplificado)."*



*Presione "Aceptar."*

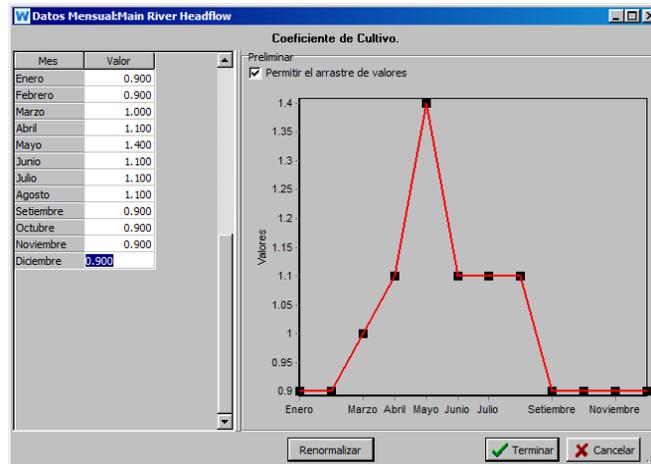
También se puede hacer en la ventana la carpeta "Avanzado" de *Main River Headflow*:



En "Datos" haga clic en el botón "Uso de suelo" e ingrese:

- Área** **10 Millón ha (debe elegir las unidades)**
- Precipitación Efectiva** **98%**
- Coefficiente de Cultivo** **(use el Mensual Asistente para Series de Tiempo)**

<i>Mes</i>	<i>Valor</i>
<i>Enero</i>	<b>0.9</b>
<i>Febrero</i>	<b>0.9</b>
<i>Marzo</i>	<b>1.0</b>
<i>Abril</i>	<b>1.1</b>
<i>Mayo</i>	<b>1.4</b>
<i>Junio</i>	<b>1.1</b>
<i>Julio</i>	<b>1.1</b>
<i>Agosto</i>	<b>1.1</b>
<i>Setiembre</i>	<b>0.9</b>
<i>Octubre</i>	<b>0.9</b>
<i>Noviembre</i>	<b>0.9</b>
<i>Diciembre</i>	<b>0.9</b>



Note que si usted había hecho clic “sí” cuando preguntó si áreas irrigadas debían ser incluidas en esta Unidad Hidrológica (en la ventana de Información General al crear la Unidad Hidrológica), otra carpeta “la Irrigación” habría aparecido bajo la Unidad Hidrológica en el ambiente “Datos.” Este carpeta tendría dos etiquetas bajo lo: (1) “Irrigó”, donde usted ingresa un “0” para no irrigado, o un “1” para irrigado para una clase particular de la tierra; y (2) “Irrigó la fracción” donde usted especificaría la fracción de agua de irrigación suministró al área que está disponible para el evapotranspiración.

---

El método de Lluvia Escorrentía es un método simple que calcula la escorrentía como la diferencia entre la precipitación y la evapotranspiración de las plantas. Una parte de la precipitación se puede configurar para omitir el proceso de evapotranspiración e ingresar directamente en la escorrentía para asegurar caudal base (a través del parámetro “Precipitación Efectiva”).

La evapotranspiración se estima primero ingresando la evapotranspiración (valor referencia) y luego se define los coeficientes de cultivos para cada tipo de uso de la tierra (el coeficiente de Kc) que multiplican el valor referencia de evapotranspiración para reflejar las diferencias que las plantas diferencias producen.



Se puede obtener más información de este método del papel de FAO: Irrigation and Drainage Paper 56, “Crop Evapotranspiration.” Es disponible en la página [www.fao.org](http://www.fao.org).

Se puede utilizar un valor de precipitación efectiva menos que 100% para reconocer el hecho que parte de la lluvia no se presenta a la evapotranspiración durante eventos de precipitación intensos. Por lo tanto, se generó de poca escorrentía al río. Otra solución es cambiar as modelos más desarrollados, como el modelo de la humedad del suelo de los dos baldes junto con una interacción modelado de aguas superficiales y aguas subterráneas. Este documento va a tratar este proceso más adelante.

---

### 3. Ingresar datos climáticos

Los datos climáticos se ingresan a nivel de Unidad Hidrológica. En el ambiente “Datos”, seleccione *Main River Headflow* bajo “Sitios de demanda y Cuencas” en el árbol de data. Ingrese la siguiente tabla a “Clima” usando “Mensual Asistente para Series de Tiempo”:

<i>Mes</i>	<i>Precip. (mm/mes)</i>	<i>ETref (mm)</i>
<i>Enero</i>	21	42
<i>Febrero</i>	37	47
<i>Marzo</i>	56	78
<i>Abril</i>	78	86
<i>Mayo</i>	141	131
<i>Junio</i>	114	122
<i>Julio</i>	116	158
<i>Agosto</i>	85	140
<i>Septiembre</i>	69	104
<i>Octubre</i>	36	79
<i>Noviembre</i>	22	43
<i>Diciembre</i>	13	37



Si los datos de precipitación no están disponibles de estaciones en el lugar del modelo, puede ser que los datos de precipitación se pueden derivar de los modelos climáticos mundiales, como lo que Tim Mitchell desarrolló a la Universidad de East Anglia (<http://www.cru.uea.ac.uk/~timm/data/index.html>). Se requiere el uso de software SIG para extraer los datos correspondientes. Estos modelos proporcionan datos promedio en oposición a los datos reales y por eso la calibración es mucho más delicada.

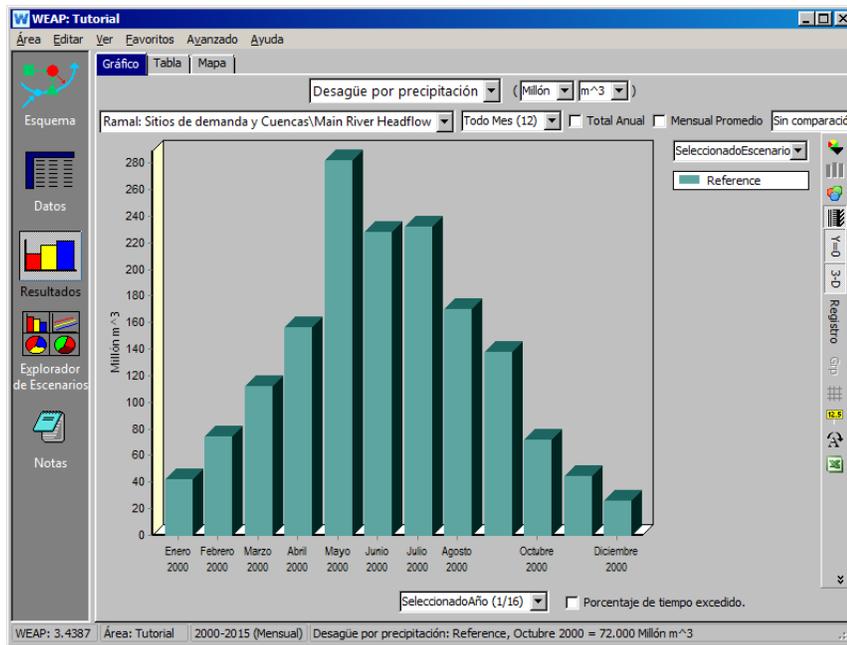
Se puede determinar la evapotranspiración referencia a con un conjunto de parámetros climáticos y topográficos utilizando la ecuación de Penman-Monteith. La publicación de la FAO (menciono anteriormente) proporciona más detalles. Además, existen modelos globales de la evapotranspiración de referencia mensual que la FAO reunió, disponible en el sitio web de la FAO.

## 4. Observar los Resultados

Los resultados para las Unidades Hidrológicas se localizan en “Unidades Hidrológicas” del menú principal.

“Pérdidas de la Precipitación” a *Main River* debe parecer semejante al gráfico abajo.

*Escoja el “Reference” el guion del baja menú encima de la leyenda de gráfico, Main River Headflow como la rama/sitio de Demanda del menú a la izquierda superior del gráfico, y del año 2000 del “Seleccionado Año” la opción que utiliza el menú en el fondo del gráfico.*

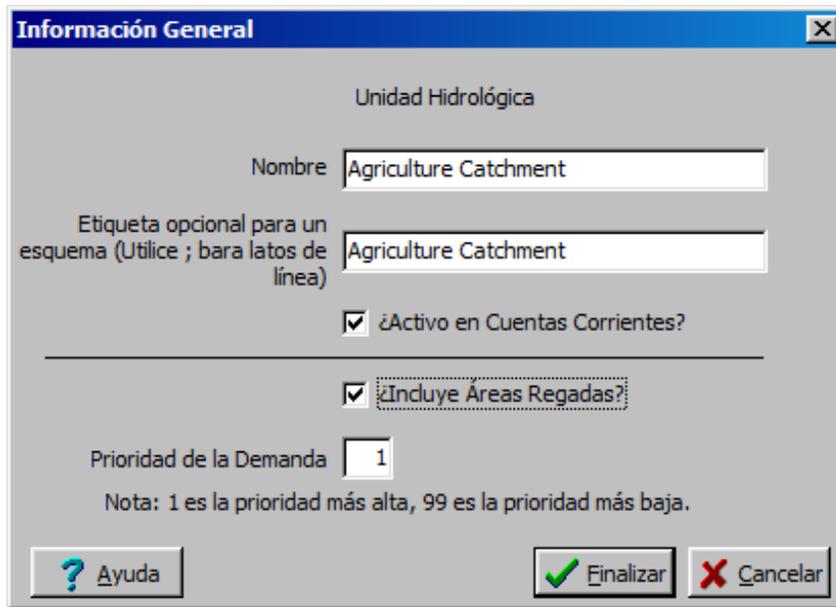


## Modelando Unidades Hidrológicas: modelo de humedad de suelo

### 5. Reemplazar la demanda agrícola por un sitio de Unidad Hidrológica

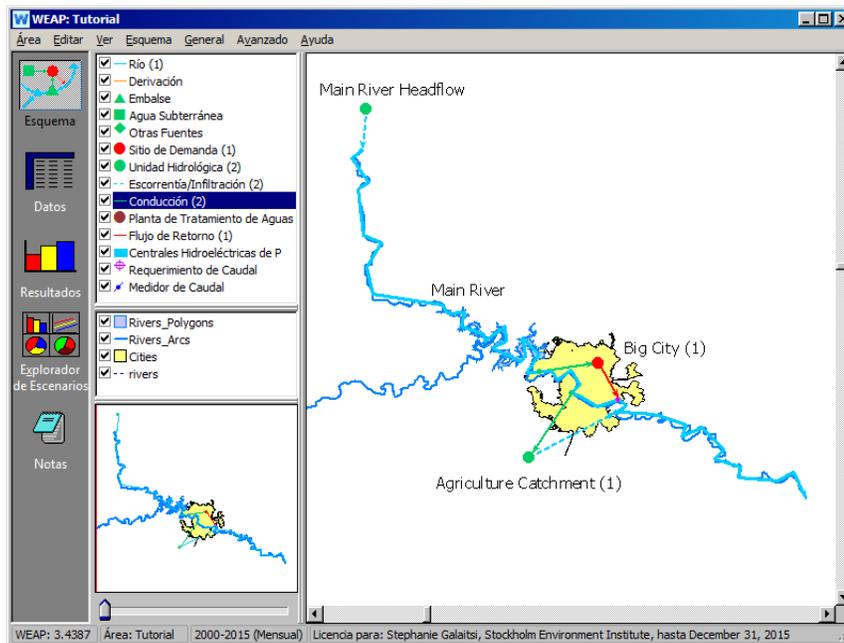
*Borre el sitio de demanda Agriculture y cree una Unidad Hidrológica en su lugar. Nómbralo Agriculture Catchment. Seleccione "¿Activo en Cuentas Corrientes?" y "¿Incluye Áreas Regadas?"*

Note que la prioridad de demanda aparece en la ventana solo después de seleccionar "¿Incluye Áreas Regadas?" Seleccione 1.



## 6. Conectar la nueva Unidad Hidrológica

*Agregue una Conducción a el Main River (mismo punto de partida como el sitio anterior de demanda de Agricultura), con una Preferencia del Suministro de 1. Agregue un Escorrentía/Infiltración aguas abajo de "Return Flow Node 1" de Big City. Su modelo ahora debe parecer semejante a la figura abajo:*





Esta conducción permite el suministro del área regadío con agua del río cuando la lluvia es insuficiente.

## 7. Crear una subestructura en la Unidad Hidrológica

Asumiremos que esta Unidad Hidrológica tiene tres tipos de utilización de la tierra.

*En el ambiente “Datos”, agrega las ramas siguientes a Agriculture Catchment en el árbol. Si usted está preguntado escoger de antemano un método de simulación - escoge el “Lluvia Escurrimiento (método de la humedad del suelo).” Si no está preguntado, va a “Avanzado” en Agriculture Catchment y selecciónelo del menú.*

*En “Cuentas Corrientes” agregue las ramas siguientes en el árbol de datos de Agriculture Catchment:*

*Irrigated*

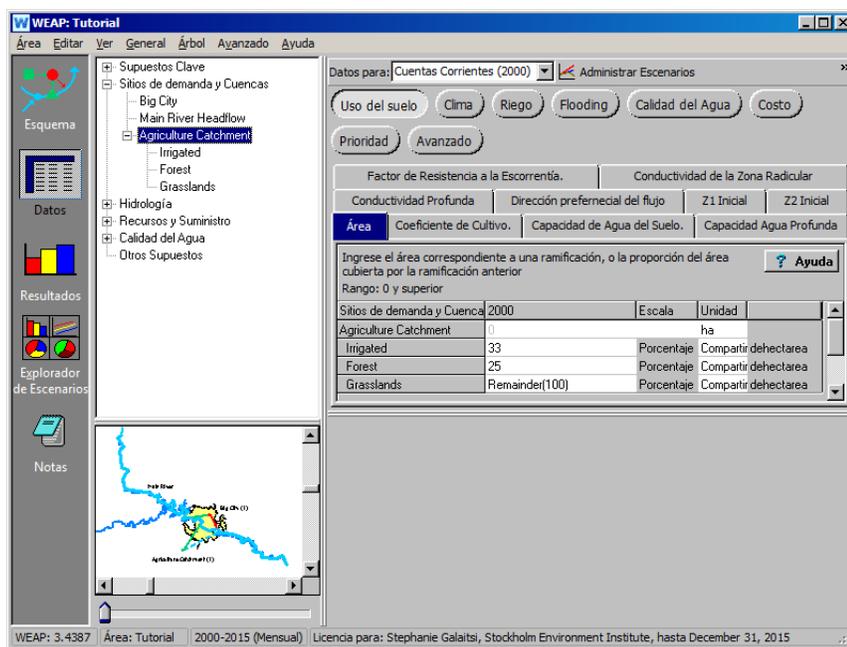
*Forest*

*Grasslands*

## 8. Entre los datos apropiados de uso de suelo

*Entre los datos siguientes después de hacer clic en el “Uso del suelo” el botón:*

<b>Área [Total]</b>	<b>300,000 ha</b>	<b>(tiene que seleccionar las unidades)</b>
<b>Irrigated</b>	<b>25%</b>	<b>Compartir</b>
<b>Forest</b>	<b>33%</b>	<b>Compartir</b>
<b>Grasslands</b>	<b>Remainder(100)</b>	



	<i>Factor de Resistencia a la Escorrentía</i>	<i>Conductividad de la Zona Radicular</i>	<i>Dirección preferencial del flujo</i>	<i>Z1 Inicial</i>
<i>Irrigated</i>	3.6	60	0.15	50%
<i>Forest</i>	3.0	35	0.15	20%
<i>Grasslands</i>	1.7	45	0.15	20%

*Las restantes variables son las mismas:*

<i>Z2 Inicial</i>	20%
<i>Capacidad de Agua del Suelo</i>	900 mm
<i>Capacidad de Agua Profunda</i>	35,000 mm
<i>Conductividad Profunda</i>	240 mm/month

*Para “Kc” (Coeficiente de Cultivo), use los mismos valores de Kc para Main River Headflow Unidad Hidrológica en el ejercicio anterior. Puede simplemente copiar y pegar esa expresión.*



<i>Mayo</i>	24
<i>Junio</i>	27
<i>Julio</i>	29
<i>Agosto</i>	29
<i>Setiembre</i>	27
<i>Octubre</i>	22
<i>Noviembre</i>	16
<i>Diciembre</i>	11
<i>Precipitación</i>	<i>Utilice los mismos valores ingresados para Main River Headflow en el ejercicio anterior.</i>



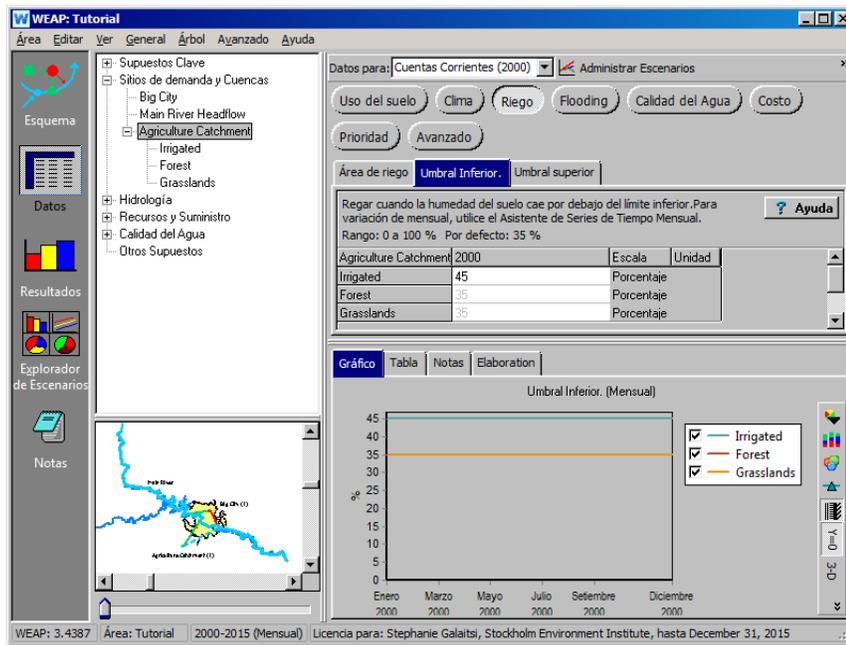
No necesitan datos sobre la cobertura de nieve si la Cuenca no tiene la nieve. WEAP determina el aspecto de la nieve utilizando la base de la temperatura y los parámetros de fusión y puntos de congelación. Si los dos últimos se quedan vacíos, no permitirá que la nieve se acumule.

---

## 10. Defina las áreas de riego

*En la misma ventana (o ambiente), seleccione "Riego" e ingrese lo siguiente*

	<i>Area de riego</i>	<i>Umbral Inferior</i>	<i>Umbral Superior</i>
<i>Irrigated</i>	100%	45%	55%
<i>Forest</i>	0%	N/D	N/D
<i>Grasslands</i>	0%	N/D	N/D

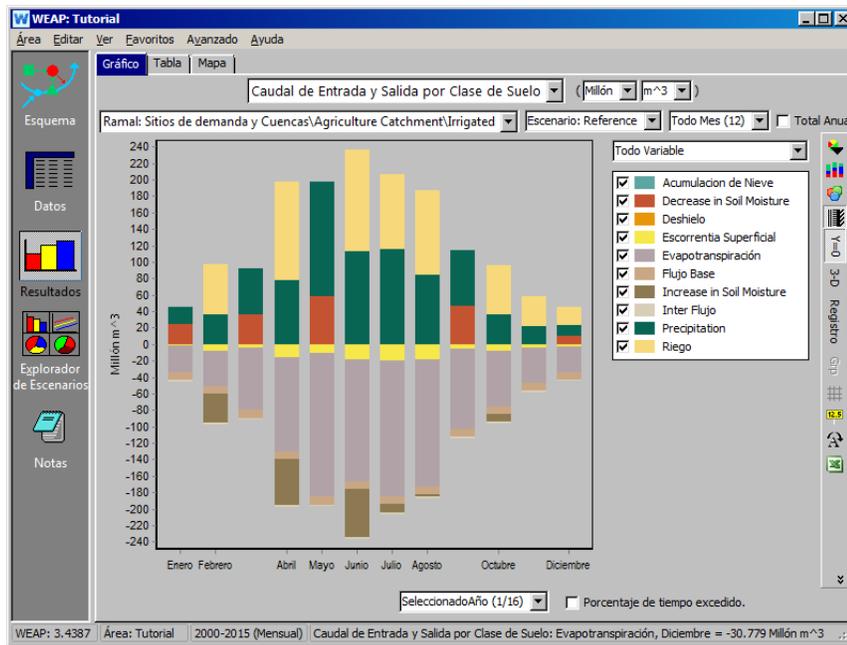


## 11. Observar los Resultados

Mire los resultados siguientes. Aquí como otra vez, los resultados se localizan en el “Unidad Hidrológica.”

*Escoja “Caudal de Entrada y Salida por Clase de Suelo” bajo la variable primaria baja menú. Escoja “Todo Variable” del baja menú encima de la leyenda del gráfico. Para ver el “Irrigated,” el segmento de la captación de la Agricultura, escoge “Rama: los Sitios de la Demanda y Captaciones \ Captación de Agricultura \ Irrigado” del baja menú a la izquierda superior del gráfico. Escoja el año 2000 del “Años Escogidos” la opción que utiliza el baja menú en el fondo, y el clic en “el Promedio Mensual” en la extrema derecha superior.*

“Caudal de Entrada y salida por Clase de Suelo” representa en una manera muy detallada el equilibrio de agua para cada clase de utilización de la tierra. Usted debe obtener un gráfico semejante a la figura abajo para el “Irrigó” afluencias de clase de tierra y gráfico de desagües:



Usted puede observar también tales parámetros como “Humedad Relativa del Suelo 1(%)”, o “Fracción de flujo retorno de riego hacia AS (SMM).”



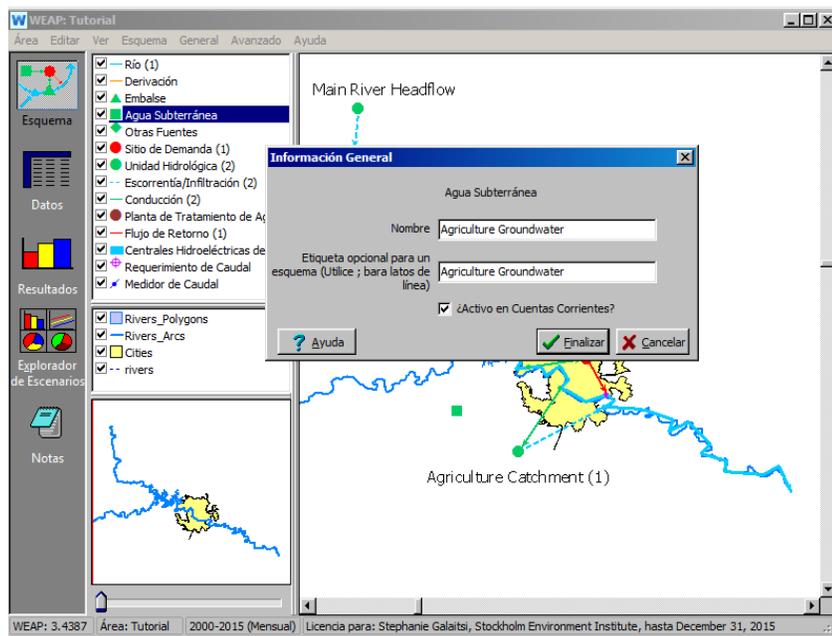
Se puede ver en la serie de gráficos que el riego ocurre de abril a septiembre, no en el invierno. La humedad del suelo en la primera cubeta es bastante constante durante todo el año, entre 45% y 50%, lo que es consistente con el umbral inferior establecimos.

## Simulando interacción superficie y aguas subterráneas

### 12. Crear un objeto “Agua Subterránea”

*Crear nuevo nodo de Agua Subterránea.*

*Localice el objeto Agua Subterránea junto a la Unidad Hidrológica de Agriculture Catchment que Ud. creó previamente. Nombre el objeto de agua subterránea Agriculture Groundwater.*

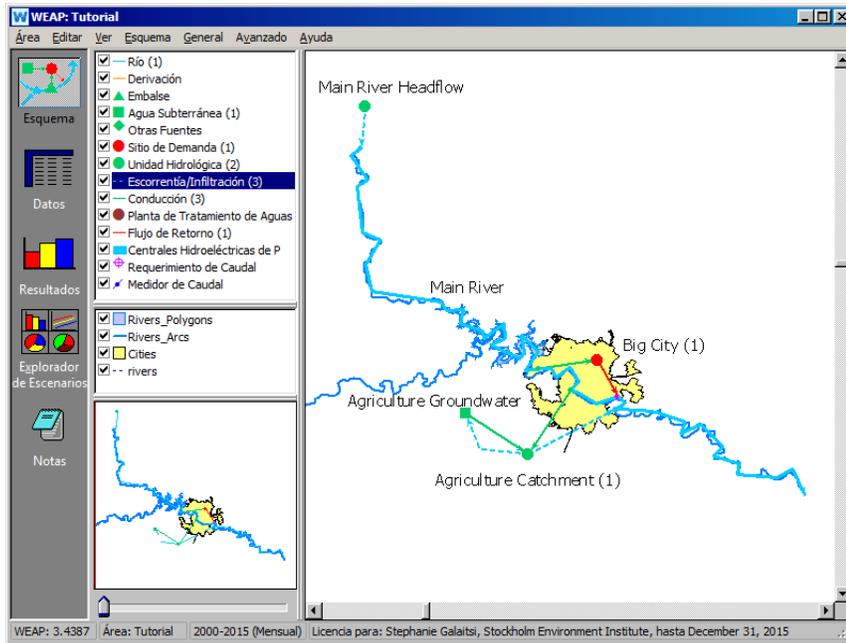


### 13. Conecte el objeto Agriculture Groundwater con la Unidad Hidrológica

Crear las siguientes conexiones:

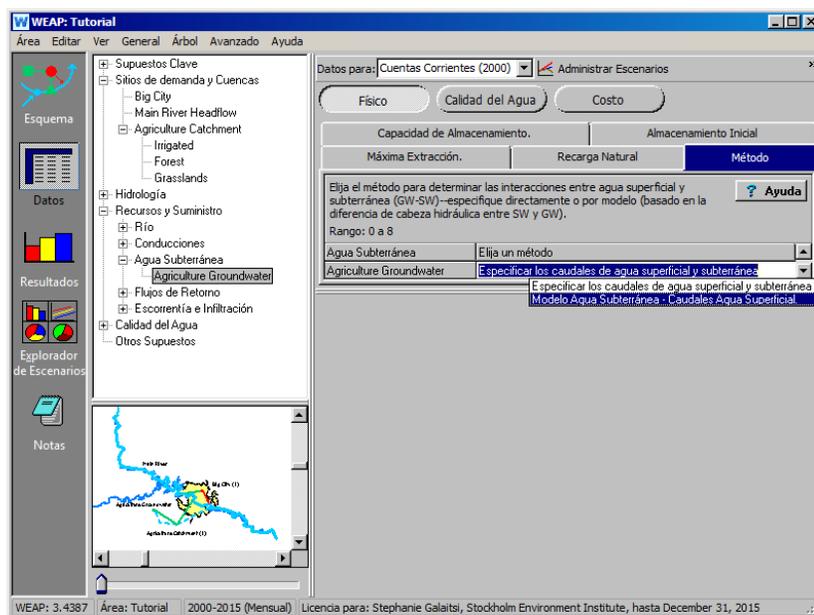
- 1) *Conducción desde Agriculture Groundwater hasta Agriculture Catchment (Suministro de Preferencia 1)*
- 2) *Escorrentía/Infiltración desde Agriculture Catchment hasta Agriculture Groundwater.*

Su modelo debería verse como este:



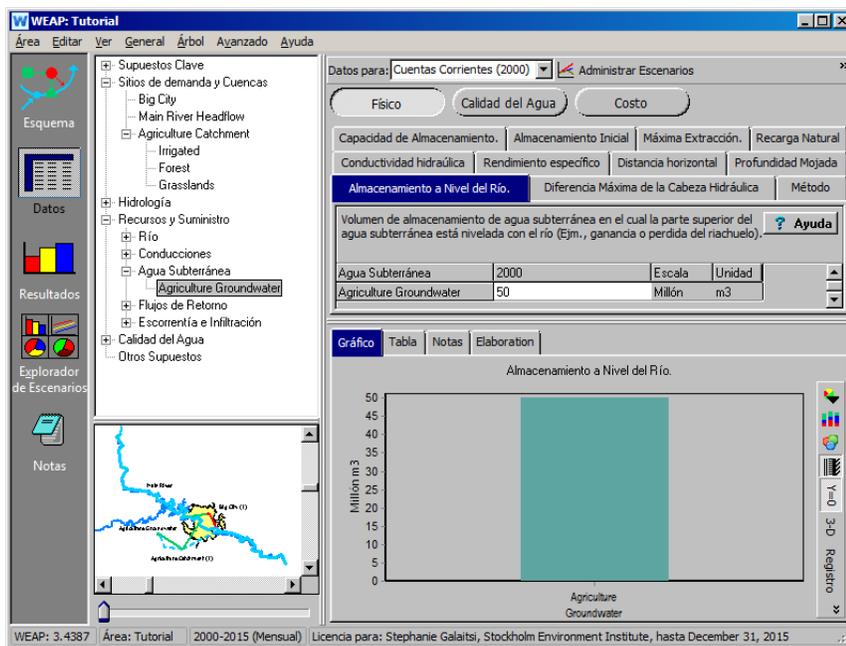
## 14. Ingrese los datos apropiados

*En el ambiente “Datos,” seleccione Agriculture Groundwater (bajo Recursos y Suministro/Agua Subterránea en el árbol de datos). En la carpeta “Físico” seleccione “Método” y “Modelo Agua Subterránea – Caudales Agua Superficial.”*



*Cambie al “Calidad del Agua” y entonces regrese a “Físico” ventana para el cambio para que surta efecto (usted ahora verá varias etiquetas nuevas en la ventana “Físico”). Entre los datos siguientes (blanco de hoja si nada se especifica) bajo las etiquetas o carpetas apropiadas:*

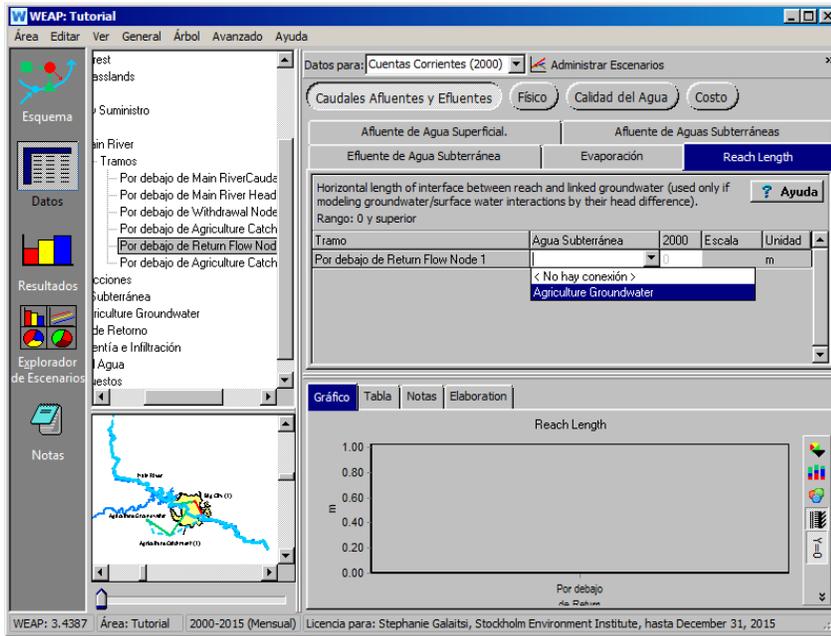
- Almacenamiento Inicial**                      **50 Millón m<sup>3</sup>**
- Conductividad hidráulica**                **10 m/día**
- Rendimiento específico**                    **0.1**
- Distancia horizontal**                        **5 000 m**
- Profundidad Mojada**                        **5 m**
- Almacenamiento a Nivel del Río**        **50 Millón m<sup>3</sup>**



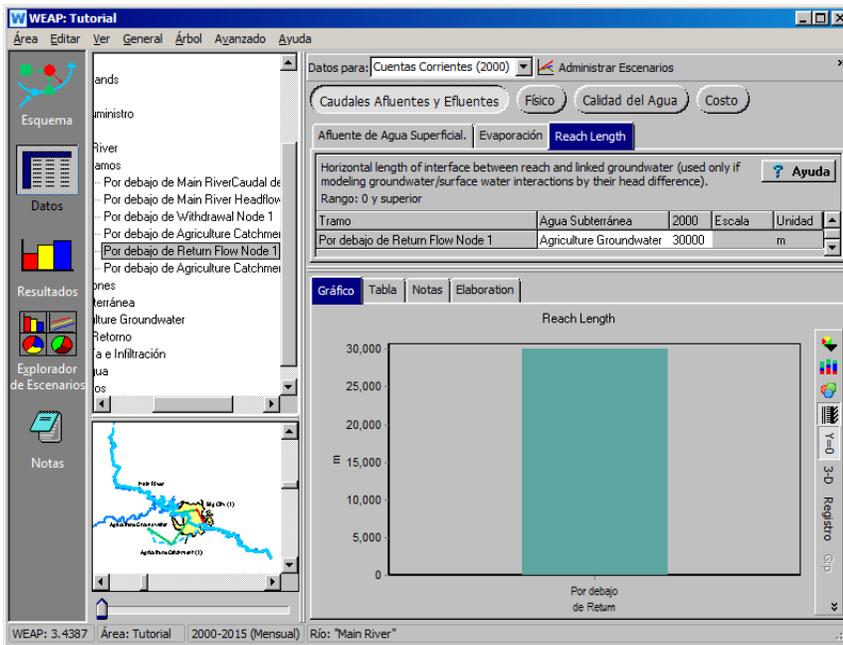
## 15. Seleccione los Tramos que Interactúan con el Agua Subterránea

*En el árbol de Datos, ensanche todos los tramos de Main River haciendo clic en el “+” luego a en “Recursos y Suministro \ Rio \ Tramos.” Escoja el tramos que está debajo del nodo del flujo del retorno de la Big City (Return flow node 1; usted quizás tenga que cambiar a “Esquema” y hacer clic en el botón derecho para encontrar el nombre de ese nodo en su modelo). Entonces entre los datos siguientes en el “Reach Length” la etiqueta para este tramo:*

**Agua Subterranean [Seleccione Agriculture Groundwater]**

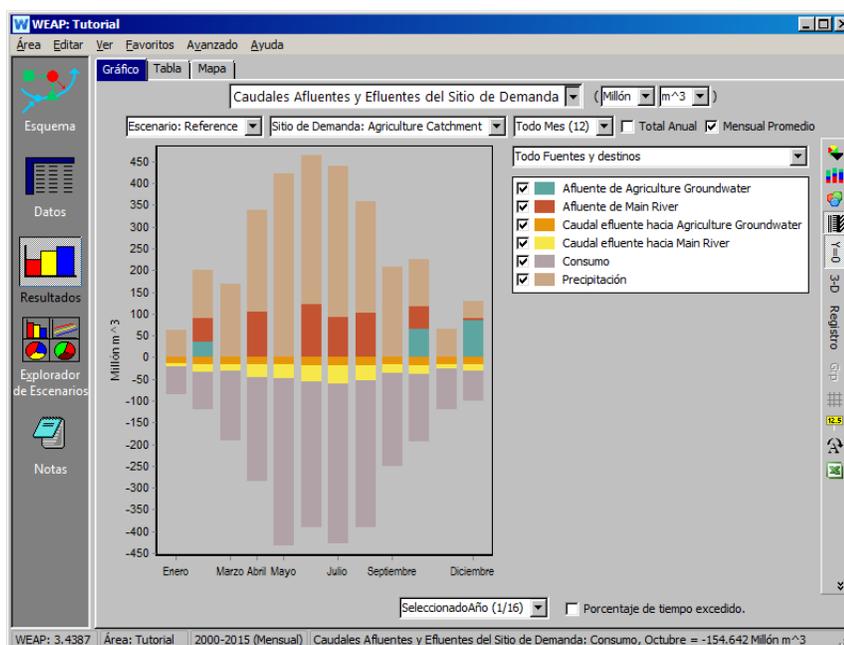


*Reach Length*      30 000 m



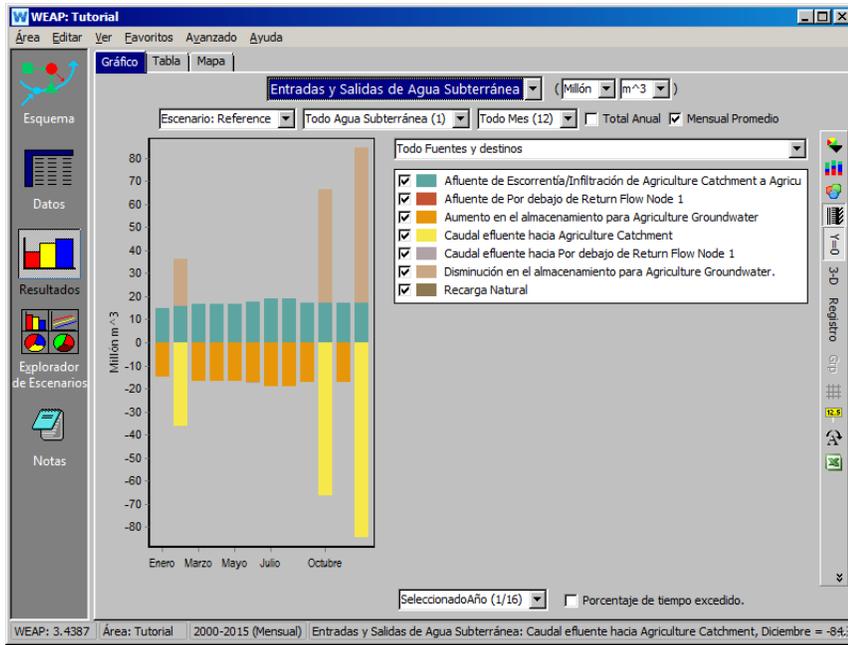
## 16. Observar los resultados

Mire a la “Caudales Afluentes y Efluentes del Sitio de Demanda” para *Agriculture Catchment*, y seleccione “Todo Fuentes y destinos” para el año 2000. Clic en “Mensual Promedio” y seleccione las columnas apiladas.



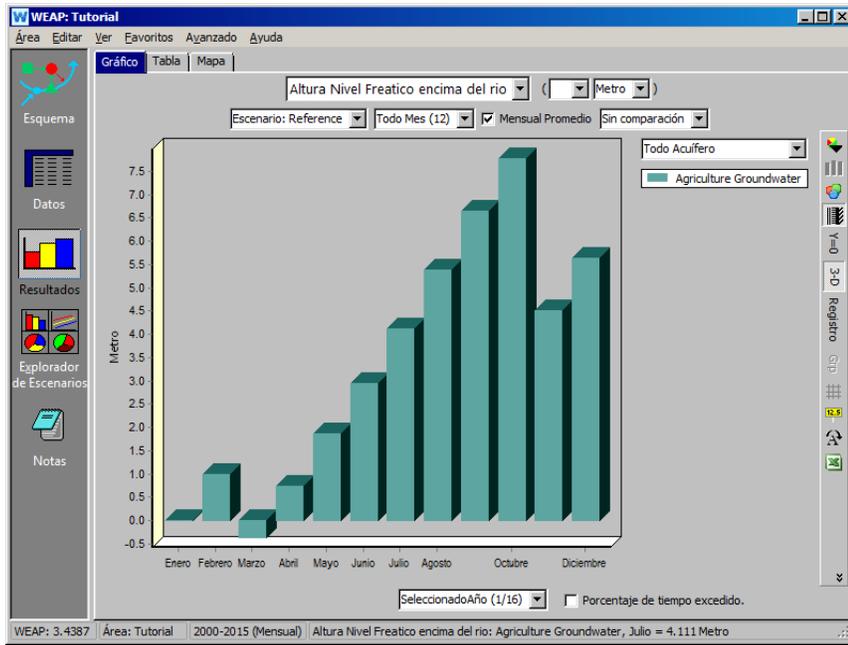
Tengo en cuenta que estos resultados incluyen “Afluyente de Agriculture Groundwater” (debido a la designación del nodo Agriculture Groundwater como Fuente de suministro de agua de riego para la agricultura de la unidad hidrológica) y “Caudal efluente hacia Agriculture Groundwater” (debido a la creación de un enlace de Escorrentía/Infiltración).

Miremos también en “Groundwater Inflows and Outflows” (Recursos y Suministro \ Aguas Subterránea \ Caudales Afluente y Efluente) para el año 2000 (Mensual Promedio).



Tenga en cuenta que el “Afluente de por debajo de Return Flow Node 1” categoría indica infiltración de agua de Main River a la Agriculture Groundwater al largo del río alcanza selecciono anteriormente. Del mismo modo, “Caudal efluente hacia por debajo de Return Flow Node 1” representa filtración de aguas subterráneas al Main River.

Mire también en la altura de agua subterránea encima de la etapa del río. Esto puede ser visto escogiendo “Recursos y Suministro \ Aguas Subterránea \ Altura sobre el río” de la variable primaria en el menú.



Tenga en cuenta que en el mes cuando ocurre la filtración de aguas subterráneas al Main River (el mes febrero), la elevación de las aguas subterráneas es mayor que la profundidad moja del río como señalado en los datos (es decir, la diferencia de elevaciones es positivo). Del mismo modo, cuando Main River produce infiltración de aguas subterráneas, la diferencia de elevación es negativa.



# WEAP

Sistema de Evaluación y Planificación del Agua

# Calibración hidrológica

## *Un tutorial para*

<i>Reunir los datos observados y seleccione las ubicaciones para calibración del modelo.....</i>	<i>217</i>
<i>Completar los datos observados y seleccione el período de calibración del modelo .....</i>	<i>219</i>
<i>Evaluar visualmente la calibración del modelo .....</i>	<i>228</i>
<i>Ajustar los parámetros clave y realice un análisis de sensibilidad del modelo .....</i>	<i>237</i>
<i>Optimizar la calibración en función de la evaluación visual y estadística .....</i>	<i>256</i>
<i>Consejos de calibración del modelo.....</i>	<i>272</i>

**noviembre de 2023**

**Nota:**

Para este módulo, deberá haber completado los módulos anteriores (WEAP en una hora, Herramientas básicas y Escenarios) o tener un conocimiento regular de WEAP. También es una buena idea haber completado o revisado el módulo de Hidrología. Para comenzar este módulo, vaya al menú principal, seleccione "Volver a la versión" y elija la versión denominada "*Starting Point for Catchment Calibration*".

En esta actividad, demostraremos cómo calibrar hidrológicamente un modelo WEAP usando el método Rainfall Runoff (método de humedad del suelo) que se presentó en el módulo de Hidrología. Los otros cuatro métodos de modelar unidades hidrológicas en WEAP y las relaciones entre lluvia, escurrimiento, evapotranspiración e infiltración son: Rainfall Runoff (método de coeficiente simplificado); Solo demandas de riego (método del coeficiente simplificado); MABIA; y el crecimiento de las plantas no se tratan aquí. Sin embargo, se aplican muchos de los mismos principios.

No se puede exagerar la importancia de la calibración. Los modelos representan sistemas del mundo real para permitir que los investigadores y los tomadores de decisiones hagan preguntas sobre el futuro. Un modelo que no represente adecuadamente el pasado no representará adecuadamente el futuro y, por lo tanto, no debe usarse para guiar decisiones en el mundo real. Para garantizar que las simulaciones del modelo se aproximen a la realidad, se deben calibrar los modelos WEAP.

Los principales pasos principales utilizados para calibrar un modelo son:

- 1) Recopilar datos observados y seleccione ubicaciones de calibración del modelo
- 2) Completar los datos observados y seleccione el período de calibración del modelo
- 3) Evaluar visualmente la calibración del modelo
- 4) Ajustar los parámetros clave y realice un análisis de sensibilidad del modelo
- 5) Optimizar la calibración en función de la evaluación visual y estadística

Una vez que el modelo esté calibrado hidrológicamente, incluya las principales demandas y reservorios, y calibrelo operativamente, incluidos datos sobre extracciones, elevaciones de reservorios, elevaciones de aguas subterráneas y datos de medidores de flujo aguas abajo.

# Reunir los datos observados y seleccione las ubicaciones para calibración del modelo

## 1. Recopilar datos observados

Tenga en cuenta que el resultado principal que utilizamos para evaluar la calibración del modelo para WEAP es el caudal observado. La calibración también puede incluir observaciones históricas (o estimaciones) de la capa de nieve, la evapotranspiración, la recarga de aguas subterráneas y/o la elevación de las aguas subterráneas. Para este ejercicio, solo veremos el flujo de agua.

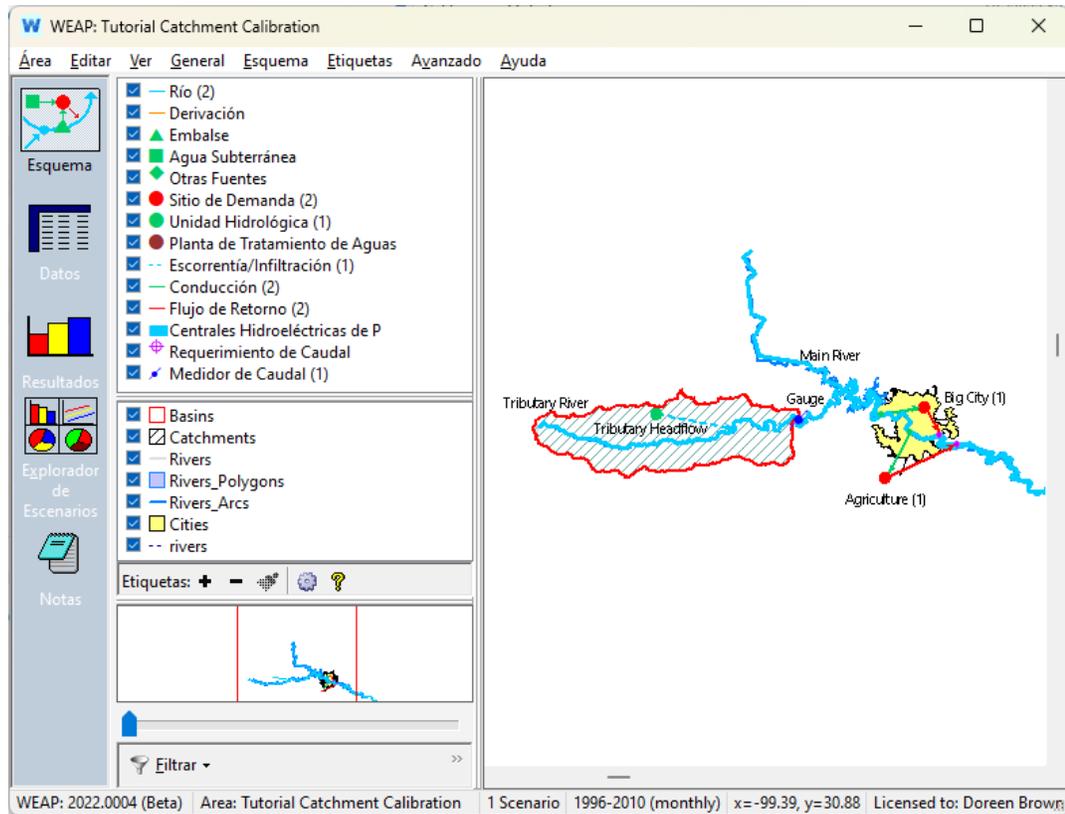
Para la calibración hidrológica del modelo, lo ideal es comenzar con datos de flujo fluvial intactos (aguas arriba de las principales extracciones o embalses) durante un período de 10 años en un paso de tiempo mensual, semanal o diario que coincida con los datos climáticos disponibles, para garantizar que el modelo esté calibrado para años húmedos, medios y secos. En este ejemplo, hemos recopilado datos de caudal mensual observados sin obstáculos en la ubicación de "Gauge", así como datos climáticos mensuales para la unidad hidrológica correspondiente. Después de recopilar los datos, guardamos un archivo con los datos en formato csv en la carpeta Áreas WEAP del proyecto (Tutorial\archivos adicionales\SMMdata.csv).

## 2. Seleccionar la(s) ubicación(es) para calibración del modelo

La vista "Esquema" incluye un objeto WEAP tipo Unidad Hidrológica WEAP y un shapefile del área de captación generado con el modo de delineación automática de unidad hidrológica de WEAP.

Una unidad hidrológica está determinada por la elevación, donde las fronteras de la unidad hidrológica crean una frontera de puntos de alta elevación que los flujos de agua no pueden cruzar. Por lo tanto, una unidad hidrológica denota un área de tierra donde toda el agua superficial de lluvia, nieve derretida o hielo converge en un solo punto en la elevación más baja del área, conocido como el "punto de vertido" o "punto de descarga". Es este punto el que determina la forma de una unidad hidrológica, ya que un punto aguas

abajo tendría una elevación más baja y, por lo tanto, incluiría un área más grande que descarga en él.



En este ejemplo, la ubicación que escogemos para la calibración de nuestro modelo es la de "Gauge" y hemos diseñado el límite de la unidad hidrológica cerca de la ubicación de "gauge" para que se corresponda con la ubicación física de la estación de medición en el río tributario. De esta manera, el caudal modelado de la unidad hidrológica, cuando se calibra, debería coincidir con los datos históricos disponibles del medidor, que mide el caudal real. Hemos elegido intencionalmente una ubicación de aforo y un período histórico en el que no hay demandas ni reservorios aguas arriba del aforo (caudales intactos, sin interferencia humana).



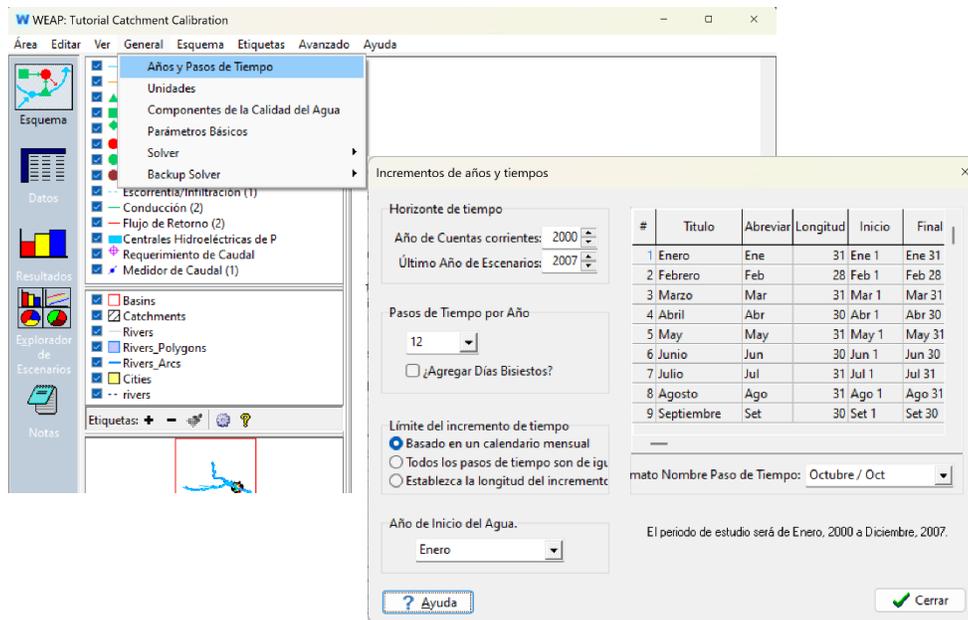
Ni la ubicación esquemática del nodo de captación ni del punto de fluidez del “ Caudal Tributario ” afectan el cálculo del flujo por WEAP, porque los modelos WEAP fluyen por entradas y salidas. El área de la unidad hidrológica , sobre la cual cae y se acumula la precipitación, tiene un impacto directo en la hidrología de la unidad hidrológica, incluida la afluencia al río. Los puntos de frontera de cada unidad hidrológica cuenca abajo, determinados por los modeladores, afectan el área de la unidad hidrológica y deben colocarse cuidadosamente para permitir que el modelo examine los puntos de interés específicos: los lugares donde los modeladores necesitan información precisa sobre el caudal.

## Completar los datos observados y seleccione el período de calibración del modelo

### 3. Cambiar horizonte de tiempo modelado

Para calibrar nuestro modelo, tenemos datos históricos mensuales de caudal y clima disponibles para los años 2000 a 2007. Este será nuestro período de calibración. Cambie los años del modelo para que coincidan con el período de calibración.

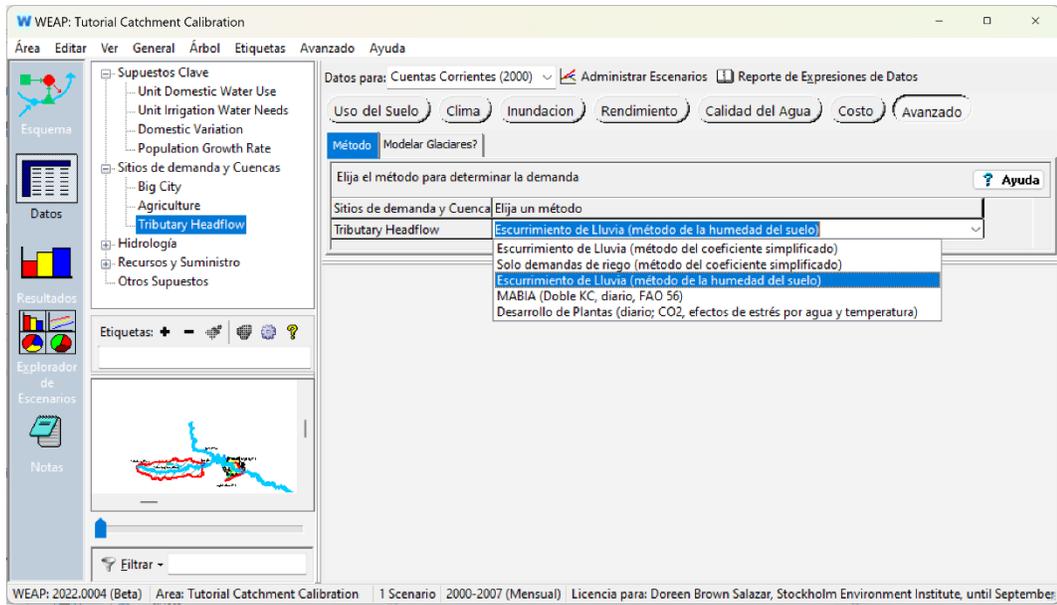
*Vaya a **Menú principal**> **General/Año y pasos de tiempo** y cambie el *Horizonte de tiempo para que sea 2000-2007.**



Tenga en cuenta que cuando cambie el año de inicio del modelo (el año de las cuentas actuales), es posible que deba modificar las condiciones iniciales (por ejemplo, población) de su modelo.

#### 4. Seleccione el método de modelación de la unidad hidrológica

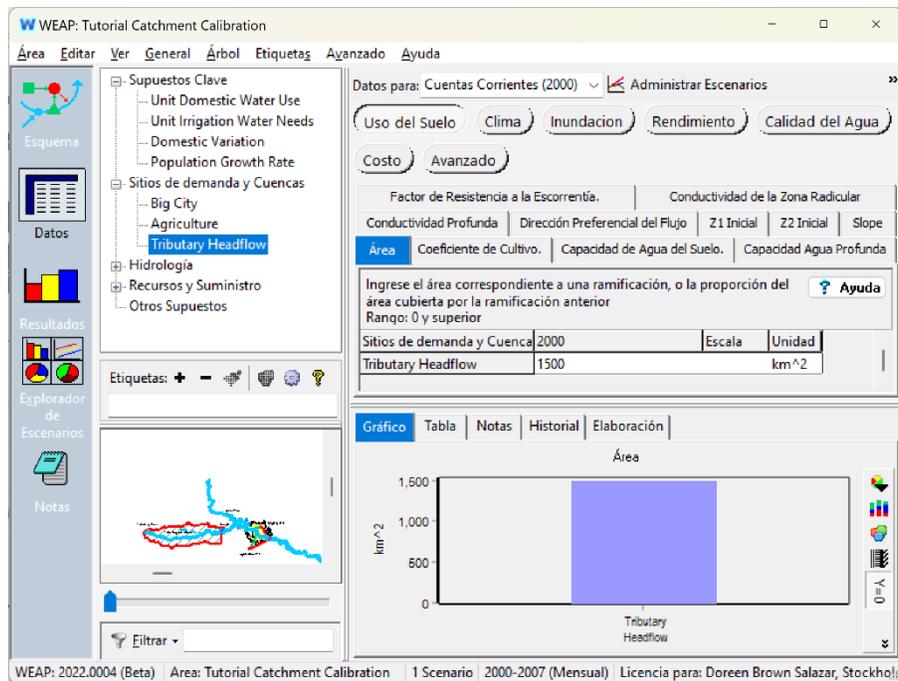
En la Vista de datos haga clic en **Sitios de demanda y unidad hidrológicas hidrográficas/Tributary Headflow**, y clic en "Avanzado". En la ventana que aparece, seleccione la tercera opción para el método de captación: "Escorrentía de lluvia (método de humedad del suelo)".



## 5. Introduzca los datos

Antes de la calibración, es importante completar los datos de caudal observados, el uso de la tierra, la latitud, la precipitación, la temperatura y el indicador de acumulación de nieve durante el período de tiempo utilizado para la calibración, ya que afectan los resultados del modelo.

*Para la unidad hidrológica de captación “Tributary Headflow”, en la categoría Uso del suelo y en la pestaña Área, ingrese las unidades en  $\text{km}^2$  y asigne el valor 1500.*



Agregue designaciones de cobertura terrestre de bosques y pastizales a su unidad hidrológica.

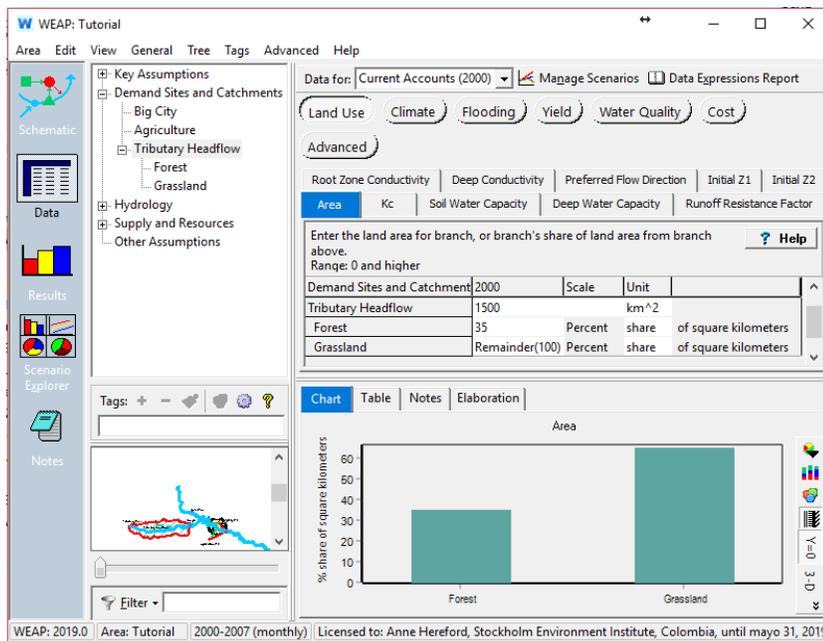
*Haga clic con el botón derecho en el Caudal tributario de la unidad hidrológica en el árbol Vista de datos, seleccione "Agregar" y escriba el nombre de dos subdivisiones de cobertura terrestre: una para bosque ("Forest") y otra para pastizales ("Grassland").*

*Seleccione las unidad "porción" para los dos. Las porciones asignadas seran:*

*Forest            35                            [%]*

*Grassland        Remainder(100)            [%]*

*La funcion "Remainder(100)" instruye a WEAP que el área restante se asigna a este elemento.*

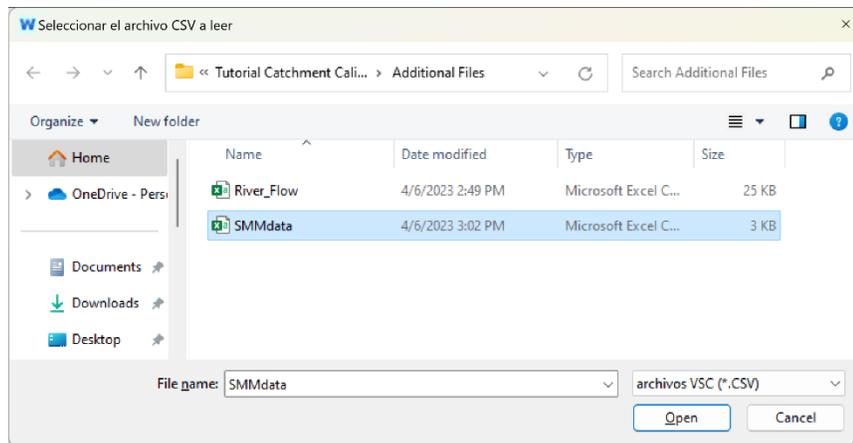


*En la vista de datos, navegue hasta los datos del caudal del medidor ( **Recursos y Suministro/Rio/Tributary River/Medidores de Caudal/Gauge** ).*

El medidor de caudal no afecta los cálculos de WEAP; sus datos son caudales históricos observados de la unidad hidrológica representada en el modelo. El valor de un modelo histórico es la capacidad de conectar datos registrados del pasado para compararlos con datos simulados por el modelo. Los datos históricos se pueden formatear en un archivo .csv para cargarlos en WEAP.

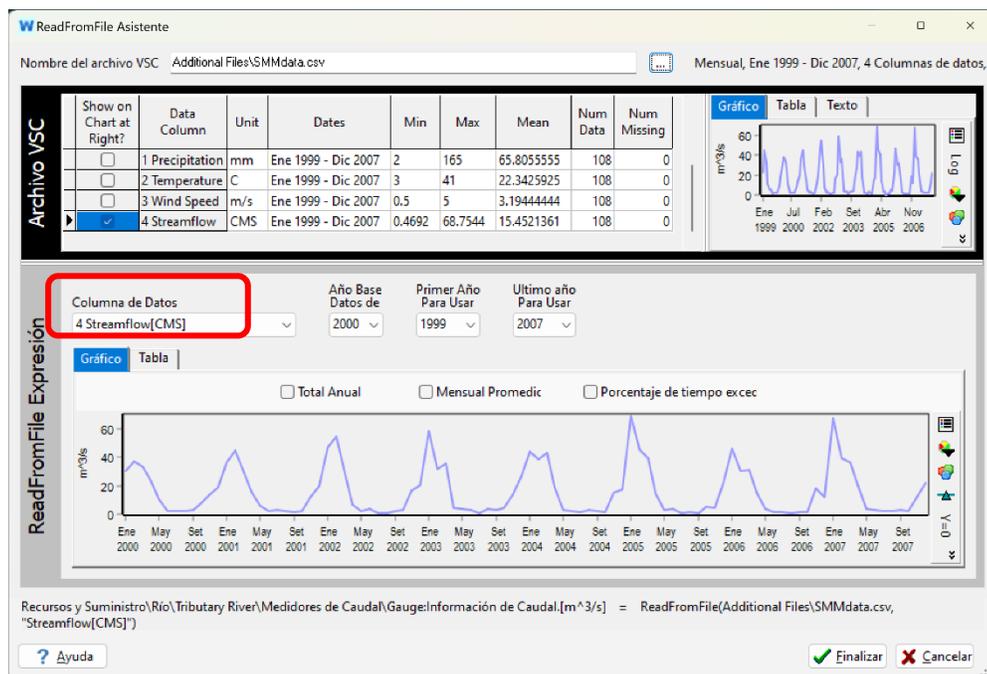
*Bajo **Caudales Afluentes y Efluentes/Información de Caudal**, haga clic en el espacio en blanco debajo del año "2000" y seleccione Asistente de lectura desde archivo en el menú desplegable.*

*Seleccione el archivo SMMdata.csv en la carpeta Archivos adicionales.*



El archivo SMMdata.csv contiene cuatro columnas de datos históricos: precipitación, temperatura, velocidad del viento y caudal. Necesitamos asegurarnos de que se muestre la información correcta para los datos del indicador de caudal.

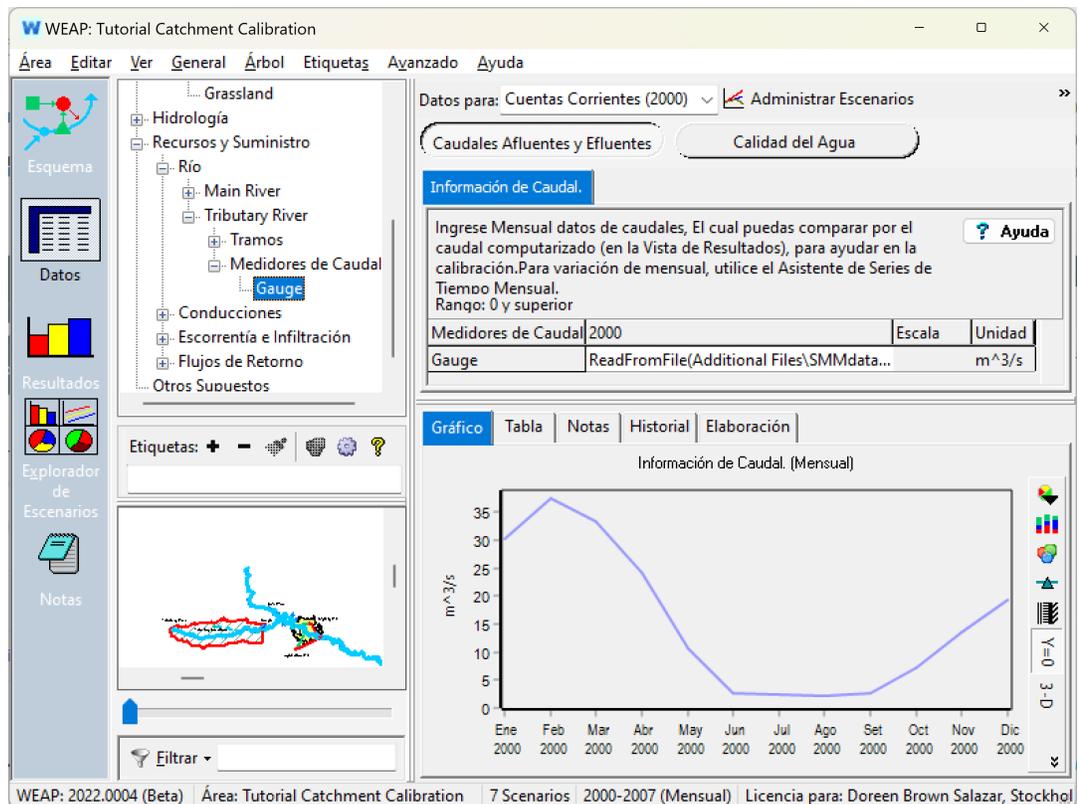
*En la sección inferior del asistente ReadFromFile, cambie la línea en la columna de datos a "4 Streamflow[ CMS] " y luego haga clic en el botón Finalizar.*





El archivo SMMdata.csv contiene una directiva en la parte superior que le dice a WEAP cómo etiquetar las diferentes columnas de datos: el texto  $\$Columns = Precipitation[mm], Temperature[C], Wind\ Speed[m/s], Streamflow[CMS]$  para avisar a WEAP los nombres y unidades de cada columna de datos. Para obtener más información sobre el asistente ReadFromFile, vea el video del asistente ReadFromFile en [www.WEAP21.org/videos](http://www.WEAP21.org/videos).

Su pantalla debería verse así:



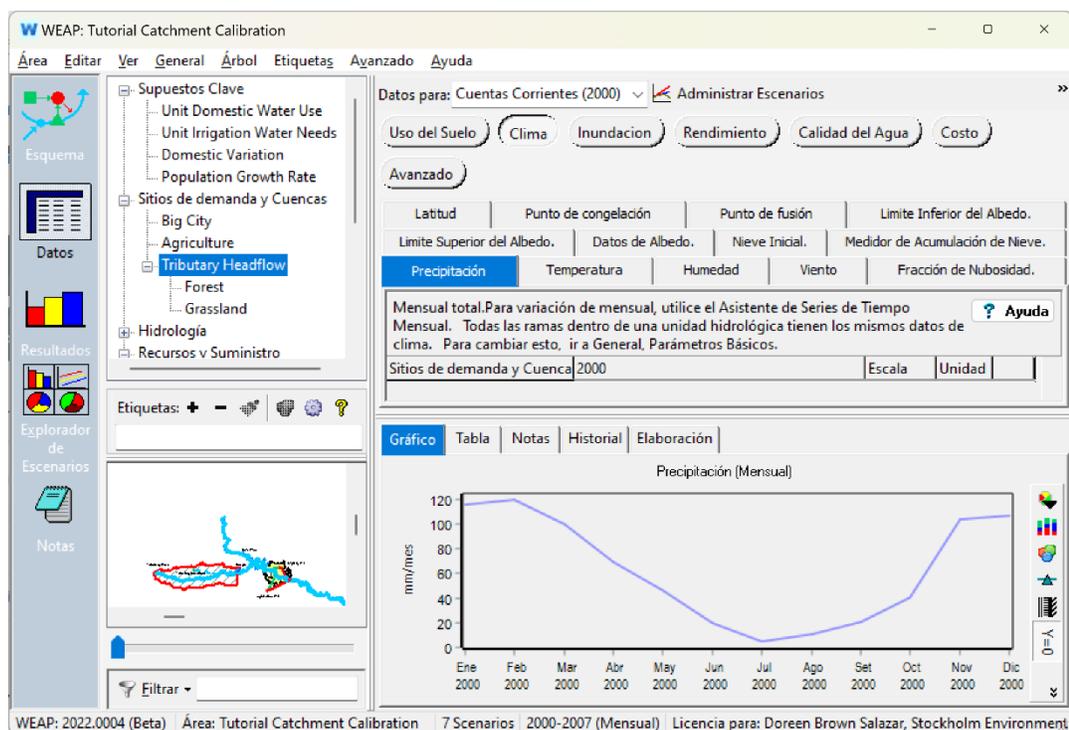
Ahora debemos ingresar los datos restantes en el archivo SMMdata para la unidad hidrológica del Tributario. El supuesto es que los datos son representativos de toda la unidad hidrológica, con la excepción de algunos datos de uso de la tierra que son específicos para ciertos tipos de uso de la tierra.

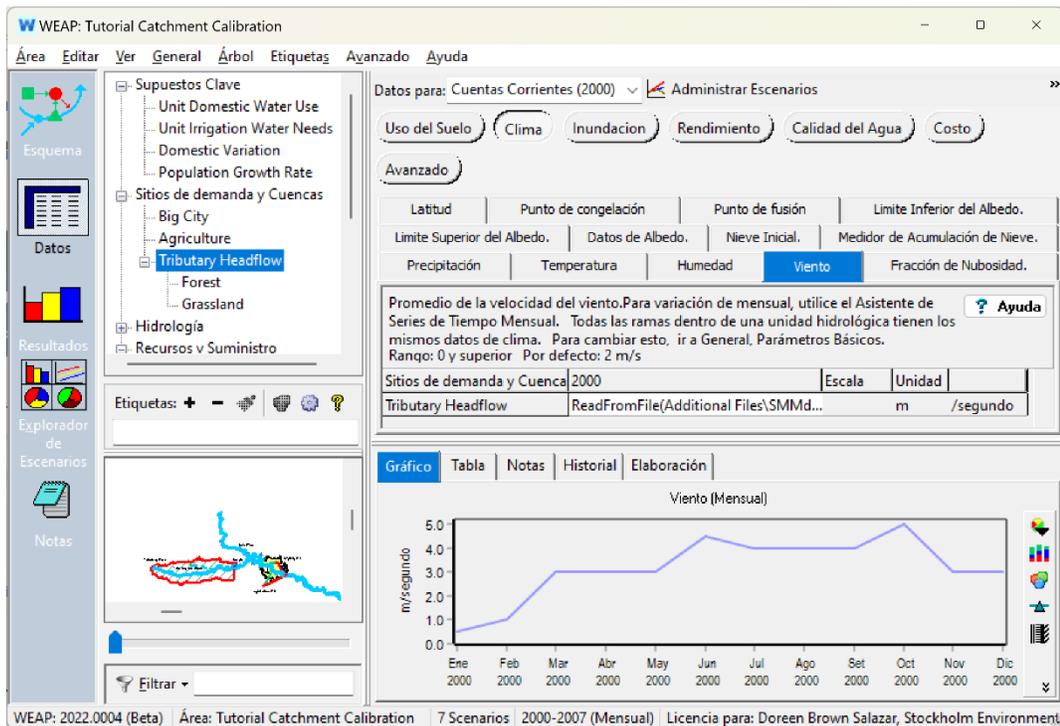
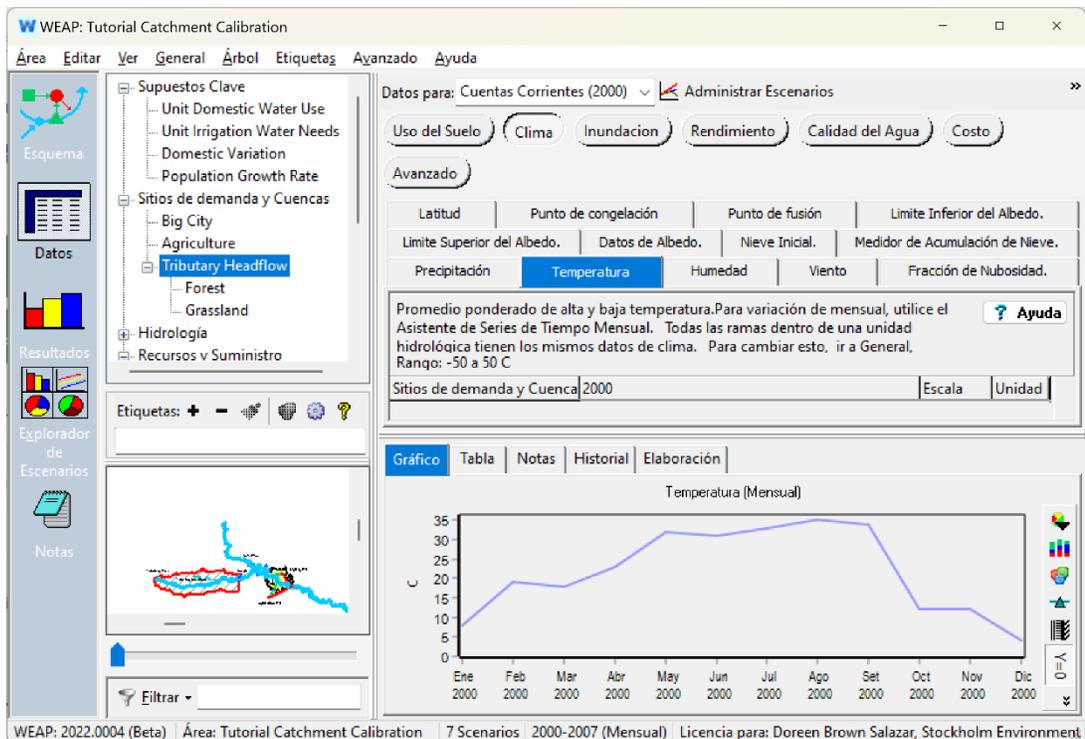


Las estaciones meteorológicas miden variables climáticas como la precipitación, la temperatura y la velocidad del viento en la ubicación de la estación. Sin embargo, WEAP requiere estos datos para caracterizar toda la unidad hidrológica. Cuando sea posible, es mejor recopilar datos y ubicaciones para tantas estaciones como sea posible. Esto permite al usuario calcular un valor promedio para toda la unidad hidrológica para cada parámetro y para cada paso de tiempo. En este ejemplo, se supone que los datos climáticos del archivo .csv de datos SMM ya se han interpolado.

*En la Vista de datos, navegue hasta la unidad hidrológica de captación Tributary Headflow en la categoría Clima para ver los datos climáticos. Utilice el mismo asistente ReadFromFile y el archivo SMMdata.csv para importar datos de precipitación, temperatura y velocidad del viento en la unidad hidrológica de captación Tributary Headflow.*

Siempre verifique dos veces que las unidades en su archivo sean las mismas que usa WEAP y recuerde indicar la columna correcta. Verifica que tus gráficas coincidan con las siguientes gráficas.





El conjunto de datos *SMMdata.csv* no incluye la humedad relativa. Puede usar el asistente de series de tiempo mensuales si tiene valores mensuales promedio para la unidad hidrológica, pero aquí usaremos solo un valor para todo el año.

*Humedad*            35 (%)

Finalmente, WEAP necesita conocer la latitud de cada unidad hidrológica para estimar la evapotranspiración potencial. Introduzca un valor de 30.

*Latitud*            30 (*grados norte*)

## Evaluar visualmente la calibración del modelo

Los parámetros de ingresada utilizados por el Método de humedad del suelo se analizan en detalle en el capítulo anterior del Tutorial (Hidrología). Los parámetros climáticos y de uso de la tierra se basan en datos históricos y no se utilizan para la calibración. Los valores predeterminados utilizados por WEAP para los parámetros restantes, junto con un breve resumen de cómo impactan en el modelo, se enumeran en la siguiente tabla. Como se describe más adelante en este capítulo, los parámetros que tienen el mayor impacto en la calibración del modelo son los seis parámetros de uso del suelo de suelo radicular: capacidad de agua del suelo, factor de resistencia a la escorrentía,  $K_c$ , dirección de flujo preferida, conductividad de la zona radicular y  $Z_1$  inicial.

No realice ningún ajuste en los valores predeterminados de los parámetros de calibración por ahora para poder observar los resultados de un modelo inicial sin calibrar.

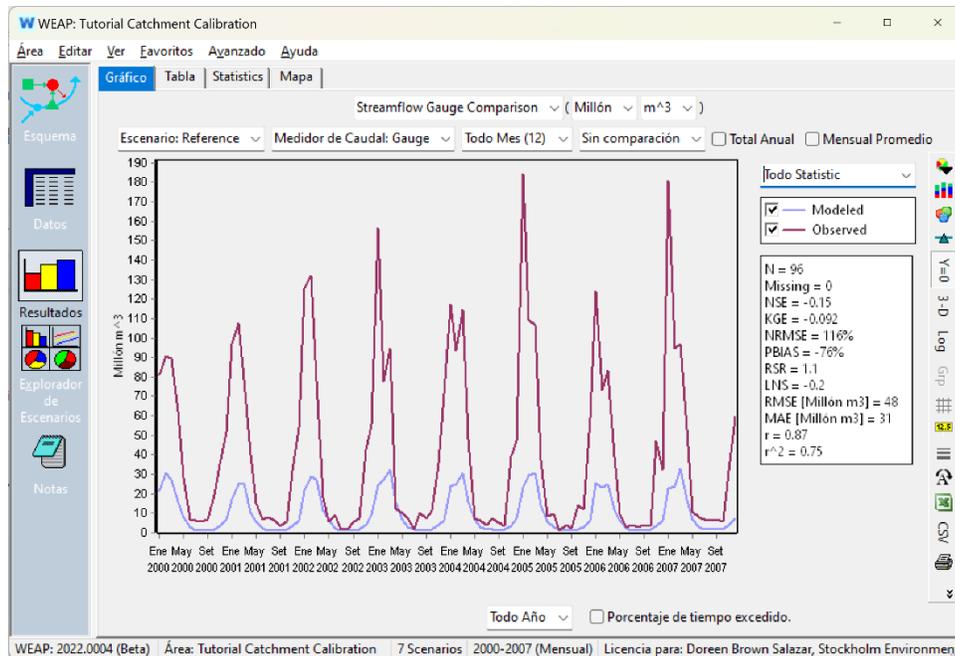
	Parámetro	Valor por defecto	Rango válido	Impacto en el modelo
Uso del suelo	Kc	1	0 – ∞	El aumento del parámetro conduce a una mayor evapotranspiración y, por lo tanto, a una menor contribución del agua al caudal.
	Factor de resistencia a la escorrentía	2	0 – ∞	El aumento de los parámetros enruta menos agua al caudal, ya que en su lugar se filtra en el suelo. Mientras está en el suelo, es posible una mayor evaporación y, por lo tanto, menos agua contribuye al caudal.
	Conductividad de la zona radicular	20 mm /mes	0 – ∞	El aumento del parámetro acorta el tiempo de viaje del agua en la cubeta superior (menos evaporación posible, menos pérdida de agua del sistema).
	Capacidad de agua del suelo	1000 mm	0 – ∞	El aumento del parámetro aumenta el tiempo de viaje de cualquier agua en la cubeta superior (más evaporación posible, más pérdida de agua del sistema)
	Dirección de flujo preferida	0.15	0 – 1	0: toda el agua que sale del balde superior fluye al balde inferior y nada al río. 1: toda el agua que sale del balde superior fluye al río y nada al balde inferior.
	Z1 inicial	30%	0 – 100	0: El balde superior comienza vacío y retendrá mucha humedad en los primeros pasos de tiempo. 100: El balde superior comienza a plena capacidad y retendrá poca humedad en los primeros pasos de tiempo.
	Conductividad profunda	20 mm /mes	0 – ∞	El aumento del parámetro disminuye el tiempo de viaje del agua en el balde inferior antes de que fluya hacia el río.
	Capacidad de agua profunda	1000mm	0 – ∞	El aumento del parámetro aumenta el tiempo de viaje de cualquier agua en el balde inferior antes de que fluya hacia el río.
	Z2 inicial	30%	0 – 100	0: El balde inferior comienza vacío y retendrá mucha humedad en los primeros pasos de tiempo. 100: El balde inferior comienza a plena capacidad y retendrá poca humedad en los primeros pasos de tiempo.
Clima	<b>Precipitación, temperatura, latitud, indicador de acumulación de nieve</b>			Estos parámetros generalmente se basan en datos históricos y no deben modificarse durante la calibración.
	Humedad	0%	0 – 100	Afecta a la evapotranspiración.
	Viento	2 m/s	0 – ∞	Afecta a la evapotranspiración.
	Fración de nubosidad	1	0 – 1	Afecta a la evapotranspiración. 1=sin nubes. 0=completamente nublado.
	Punto de congelación	-5 °C	-20 – 20	Determina a qué temperatura la lluvia se convierte en nieve, lo que retrasa la infiltración/escorrentía. Relevante solo para unidad hidrológicas con nieve y afecta al modelo solo durante los meses fríos.
	Punto de fusión	5°C	-20 – 20	Determina a qué temperatura la nieve se convierte en agua, después de lo cual está sujeta a todos los parámetros que controlan el flujo de agua en la unidad hidrológica. Relevante solo para unidad hidrológicas con nieve y afecta al modelo solo durante los meses fríos.
	Nieve inicial	0 mm	0 – ∞	Profundidad equivalente del agua derretida de la capa de nieve al comienzo del primer paso de tiempo del modelo.
	Límite inferior del albedo	0.15	0 – 1	Albedo de la superficie cuando la acumulación de nieve es 0. Solo se usa cuando la variable <i>Albedo</i> se deja en blanco.
	Límite superior del albedo	0.25	0 – 1	Albedo de la superficie cuando la acumulación de nieve es de 10 mm*(número de días en el intervalo de tiempo). Solo se usa cuando la variable <i>Albedo</i> se deja en blanco.
	Albedo	Blanco	0 – 1	Valor estático del albedo. Si está en blanco, WEAP calcula el albedo como una función lineal de la acumulación de nieve, entre el <i>límite inferior de albedo</i> y el <i>límite superior de albedo</i> . Un albedo más bajo aumenta la tasa de derretimiento de la nieve.

## 6. Observar los resultados

*Ejecute el modelo.*

Compare el caudal modelado con los datos del medidor de caudal:

*En la pestaña de resultados/gráficos, vaya a **Suministro y recursos>Río>Streamflow Gauge Comparison (Comparación de caudales modelados con observados)***



Podemos observar que nuestro río modelado (azul) no está simulando muy bien los flujos picos del río.

## 7. Guardar gráfico como favorito

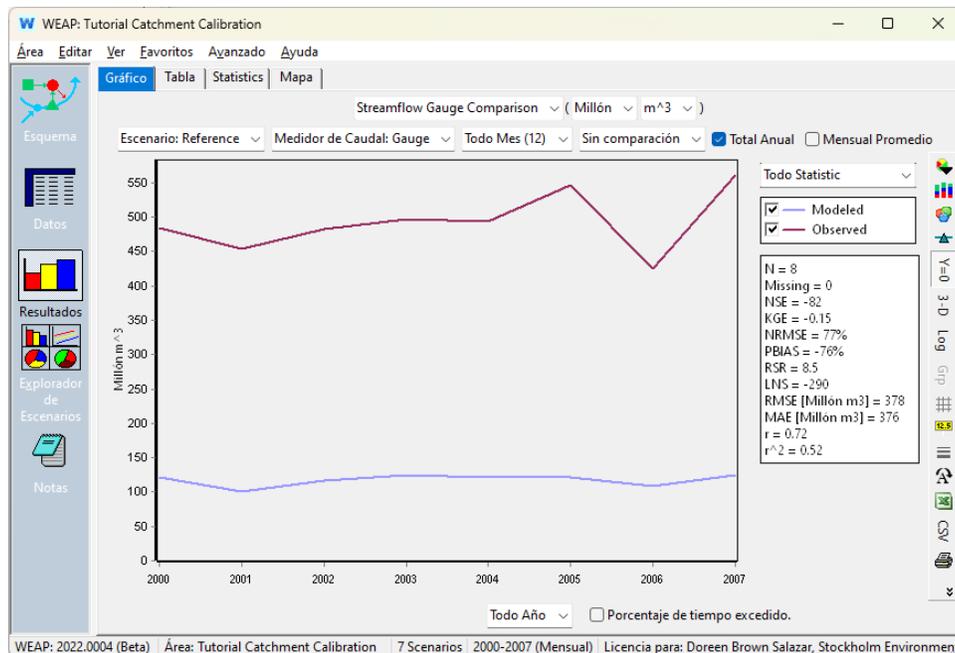
Antes de comenzar el proceso de calibración, guarde este gráfico como favorito para que podamos volver fácilmente a él más tarde.

*Vaya a **Favoritos/Guardar gráfico como favorito...** el nombre predeterminado será "Streamflow Gauge Comparison".*

## 8. Explorar la calibración

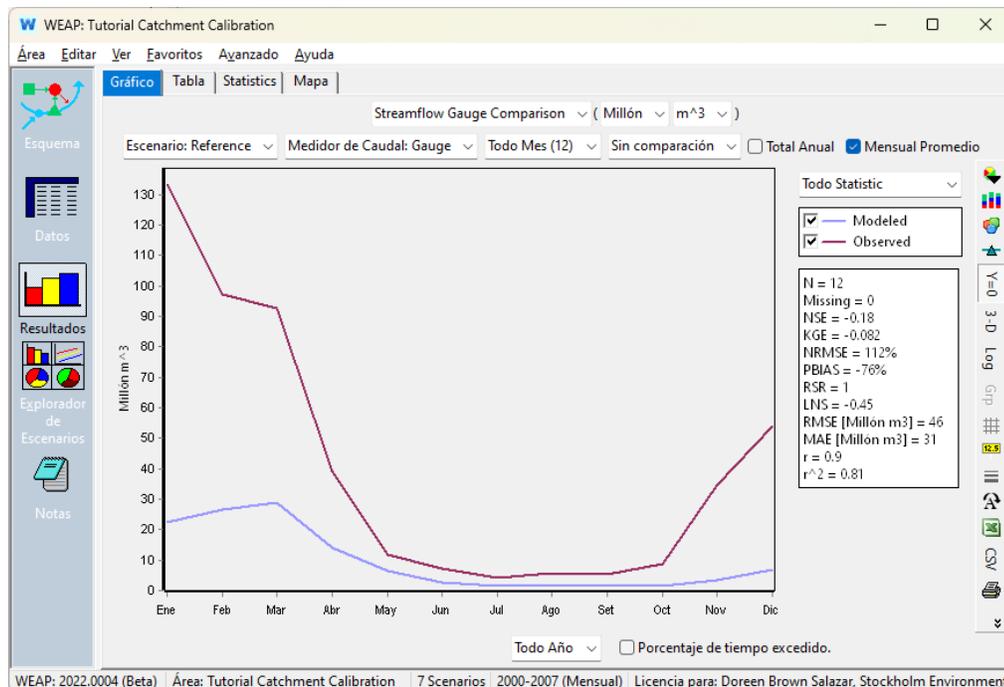
En los resultados producidos hasta el momento, no existe un buen ajuste entre el caudal modelado y el caudal histórico. Hay mucho margen para mejorar. Hay siete gráficos que recomendamos considerar en el proceso de calibración:

- 1) La serie de tiempo mensual para caudales observados y modelados (generados arriba). Este gráfico nos permite observar qué tan bien el flujo modelado coincide con los flujos base, flujos pico y la estacionalidad para un rango de años secos y húmedos.
- 2) Total anual de caudal observado y modelado (mientras ve la serie temporal generada anteriormente, marque la casilla " **Total anual** " en la Vista de resultados)



El total anual proporciona una buena idea del ajuste general del modelo a lo largo del tiempo y de qué tan bien el volumen anual total modelado de escorrentía coincide con los valores observados. Por ejemplo, aquí vemos que nuestro flujo modelado es mucho más bajo y no captura muy bien las variaciones anuales, especialmente el año de bajo flujo en 2006.

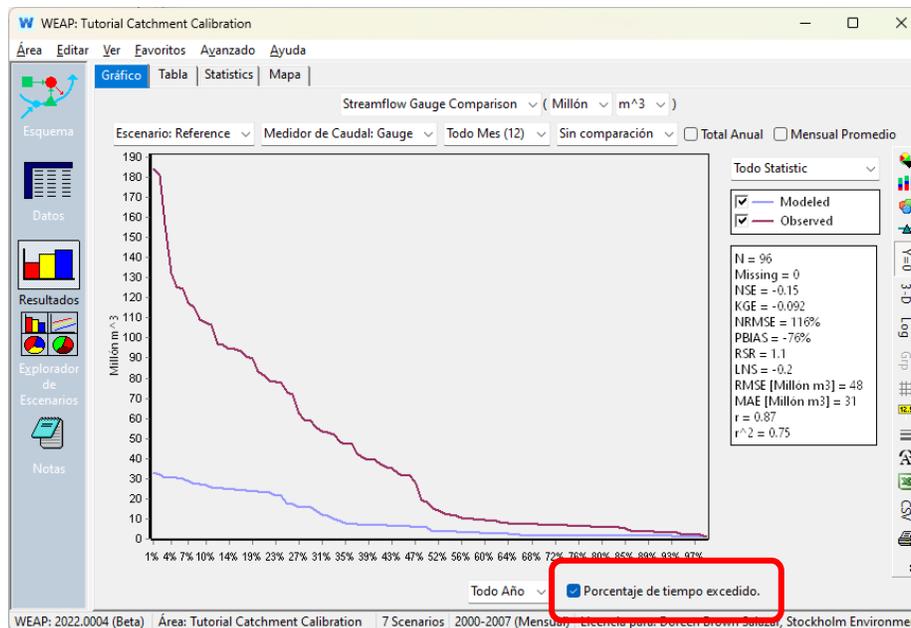
- 3) Promedio mensual de caudal observado y modelado (marque la casilla "Mensual Promedio" en la Vista de resultados)



El promedio mensual muestra cómo los valores de caudal modelados se desvían del registro histórico, en promedio, cada ciclo anual. Aquí vemos que los caudales bajos modelados del verano están más cerca a los valores observados que los caudales altos modelados del invierno, que están considerablemente subestimados.

*Mientras ve estos resultados, haga clic en el ícono para exportar resultados a Excel (  ) en el lado derecho de su pantalla. Guárdelos en su computadora como "Resultados de caudal promedio mensual no calibrados". Los revisaremos después de nuestro primer intento de calibración.*

- 4) Porcentaje de tiempo excedido (asegúrese de que no esté marcado el "Promedio mensual" ni el "Total anual", y marque la casilla en la parte inferior derecha de la Vista de resultados que dice "Porcentaje de tiempo excedido").

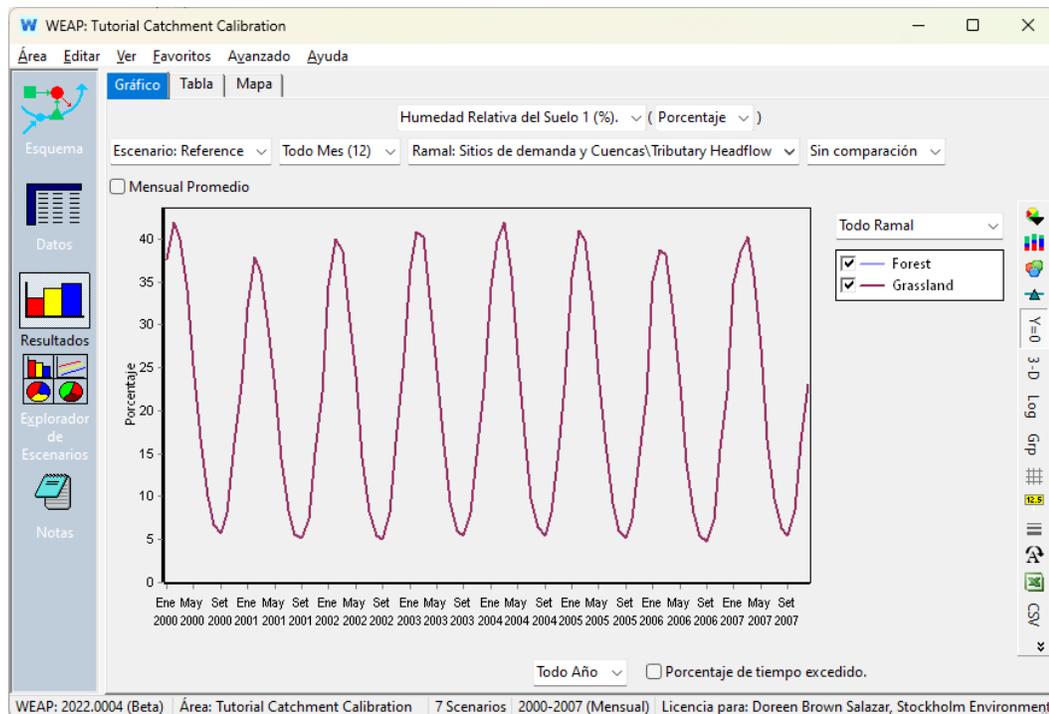


El gráfico de probabilidad de excedencia clasifica cada medición de caudal por valor, el más bajo a la derecha y el más alto a la izquierda, tanto para el caudal modelado como para el observado. Los valores en el eje x muestran el porcentaje de caudales que superan los valores de caudal. El flujo modelado y observado debe mostrar una estrecha coincidencia de porcentajes de excedencia para los dos registros de flujo.

Los datos de los medidores graficados arriba sugieren que alrededor del 48% de las mediciones de flujo deberían ser mayores que alrededor de 34 millones de  $m^3$ . Sin embargo, la Escorrentía simulada de la Unidad hidrológica 1 muestra 0% de caudales  $>34$  millones de  $m^3$ . Como hemos señalado, nuestro modelo actualmente no está haciendo un buen trabajo al capturar el caudal, particularmente durante los períodos de caudal alto.

- 5) Humedad relativa del suelo 1 (%) (En los resultados, navegue hasta **Captaciones/ Humedad relativa del suelo 1 (%)** . Asegúrese de que la Rama seleccionada sea " *Caudal tributario* ". Asegúrese de que " *Porcentaje de tiempo excedido* " está desmarcado. )

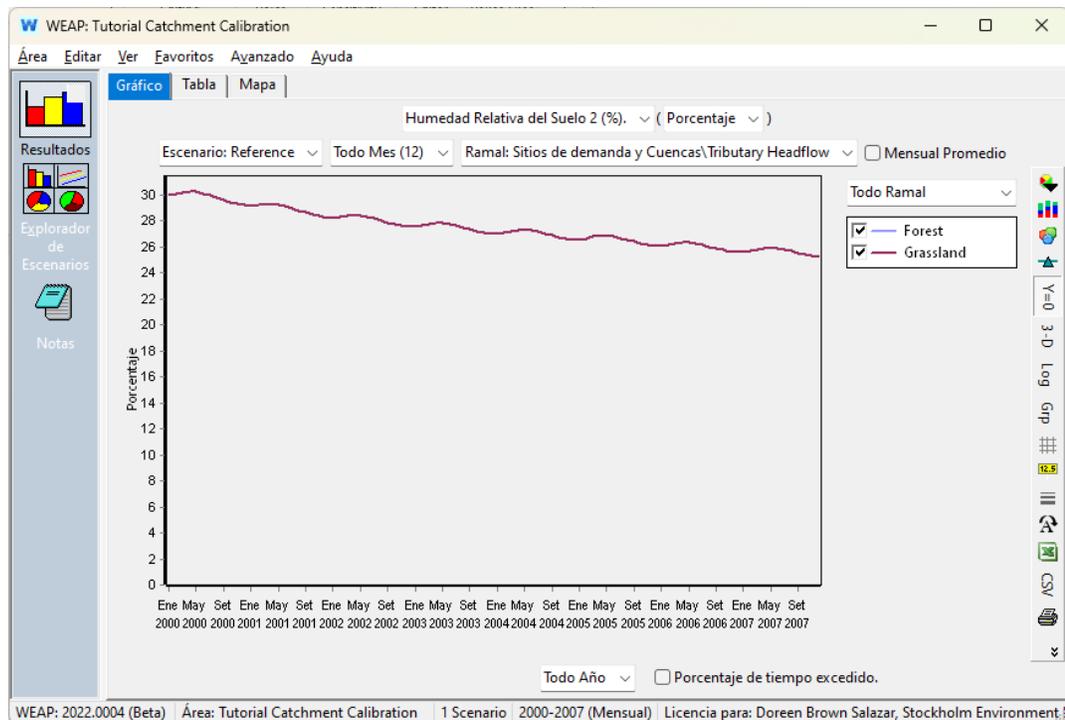
Guarde este gráfico como favorito.



Este gráfico muestra un resultado de la dinámica del uso de la tierra de la unidad hidrológica modelada. La humedad relativa del suelo 1 (%) representa la humedad del suelo en la cubeta superior de la estructura de 2 cubetas del método de humedad del suelo de captación. (Refiérase a **Error! Reference source not found.** en el Capítulo de Hidrología). El balde superior de la unidad hidrológica se ve afectado por el uso del suelo designado en el modelo, así como por las estaciones. Excepto en circunstancias extremas (sequías de varios años), la humedad relativa del suelo 1 (%) debe permanecer estable a lo largo del tiempo, incluso cuando muestra patrones estacionales. Los resultados actuales para el cubo superior son aceptables. Tenga en cuenta que los valores máximos y mínimos son bastante consistentes de un año a otro.

- 6) Humedad relativa del suelo 2 (%) (en el Menú de resultados, justo debajo del resultado Humedad relativa del suelo 1 (%)).

Guarde este gráfico como favorito.



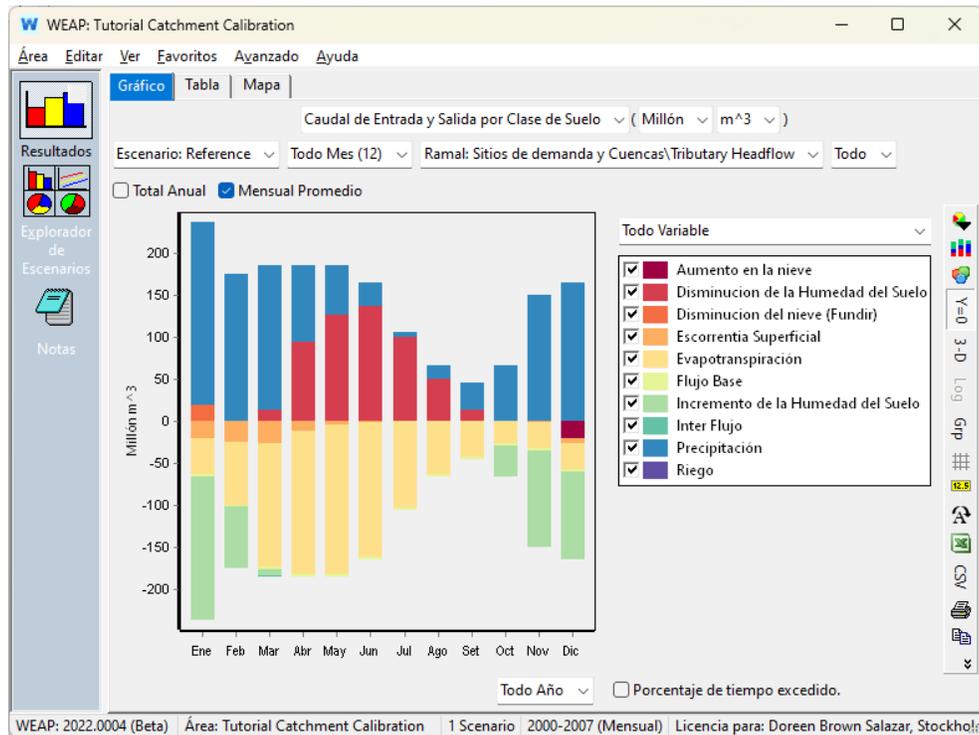
El resultado *Humedad relativa del suelo 2 (%)* muestra la humedad del suelo en el balde inferior de la unidad hidrológica modelada. El cubo inferior es más profundo, no se ve afectado por el uso de la tierra y menos afectado por las estaciones debido a su separación de la superficie. Es aceptable una ligera variación estacional y no debe haber ninguna tendencia (ni creciente ni decreciente) a lo largo del tiempo.

La tendencia decreciente que se observa en este ejemplo de cubeta inferior podría indicar uno o más de varios problemas:

- a. La condición inicial para la humedad del suelo en el balde inferior es demasiado alta.
- b. No se está filtrando suficiente agua en el balde inferior
- c. El agua sale de la cubeta demasiado rápido porque
  - i. La conductividad es demasiado alta.
  - ii. El cubo es demasiado pequeño, por lo que el tiempo de transporte es muy corto.

Exploraremos algunas de estas posibilidades a medida que calibramos.

- 7) Caudal de entrada y salida por clase de suelo (todavía en los resultados de la unidad hidrológica, navegue hasta "*Caudales de entrada y salida por clase suelo*". Vea el resultado como un gráfico de barras promedio mensual y seleccione las barras que se "apilarán" usando el  ícono a la derecha).

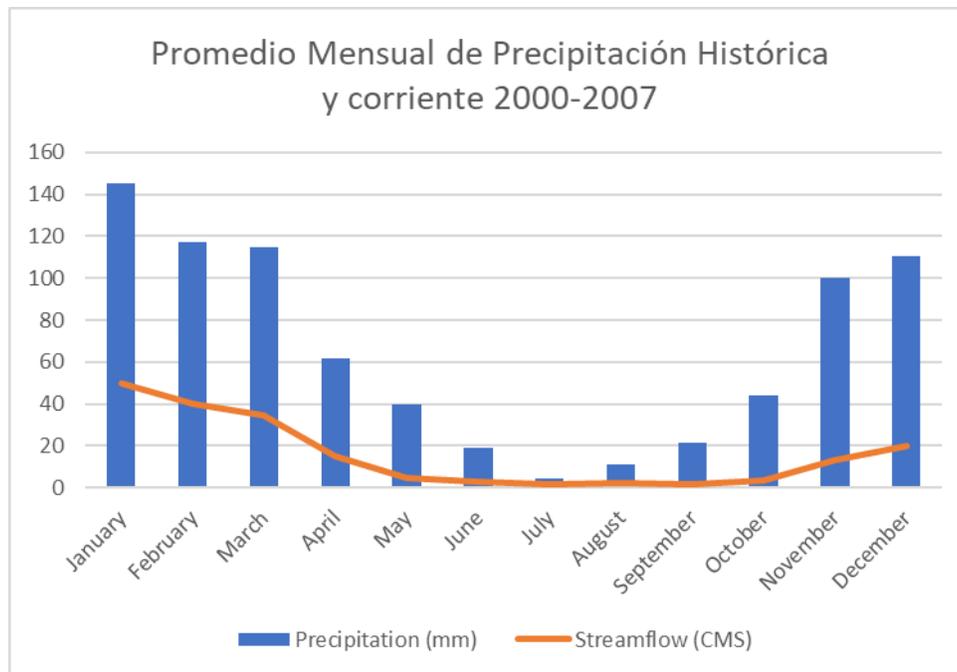


Este gráfico muestra la distribución media del agua que entra en la unidad hidrológica (valores superiores a cero) y cómo sale esa agua (valores inferiores a cero). Observamos que hay una gran cantidad de evapotranspiración desde febrero hasta agosto, que es agua perdida del sistema de contabilidad de WEAP. Eso podría estar relacionado con la subrepresentación de los caudales de nuestro modelo .

Guarde este gráfico como favorito.

Usando la información de estos siete gráficos, podemos comenzar a pensar en cambiar los parámetros del modelo para permitir que WEAP modele el caudal de forma más precisa.

Otra forma de observar los datos que pueden proporcionar información adicional sobre la calibración del modelo es superponer los datos de caudal y precipitación mensual promedio. La siguiente figura muestra la escurrentía media mensual observada y la precipitación media para el período 2000-2007.



El hidrograma superpuesto a los datos de precipitación anteriores revela una fuerte correlación entre la precipitación y la escorrentía y sugiere que el sistema está dominado por el componente de escorrentía superficial; la escorrentía altamente correlacionada con la precipitación suele deberse a que hay poca infiltración. Los flujos de base muy bajos durante la estación seca sugieren una pequeña *capacidad de almacenamiento profundo*, a menudo también asociada con grandes fluctuaciones estacionales en el almacenamiento del balde superior ( $Z_1$ ) y, por lo tanto, grandes variaciones estacionales de la disponibilidad de agua del suelo desde muy húmedo (valores altos de  $Z_1$ ) a muy seco (valores bajos de  $Z_1$ ). De hecho, esto es lo que ya vimos en nuestro resultado *Humedad relativa del suelo 1 (%)*.

## Ajustar los parámetros clave y realice un análisis de sensibilidad del modelo

### 9. Cambiar valores de parámetros

Antes de realizar cualquier ajuste en los valores de los parámetros de calibración del uso de la tierra, describiremos cómo los parámetros clave de

calibración del uso de la tierra afectan los resultados de escorrentía de WEAP y consideraremos qué factores podrían afectar esos parámetros.

Observaciones del modelo sin calibrar	Parámetros relevantes	Impacto en el modelo	Ajuste del modelo a considerar
Los caudales modelados (total anual y máximo mensual) son muy inferiores a los valores observados  Los flujos base modelados son un poco más bajos que los observados	<b>Kc</b>	El aumento del parámetro conduce a una mayor evapotranspiración y, por lo tanto, a una menor contribución del agua al caudal.	Disminuir Kc, quizás estacionalmente, para reflejar una menor evapotranspiración y una mayor escorrentía. Tenga en cuenta que la disminución de Kc afectará tanto los flujos máximos como los flujos base.
	<b>Factor de resistencia a la escorrentía</b>	El aumento de los parámetros enruta menos agua al caudal, ya que en su lugar se filtra en el suelo.	Disminuir RRF, para aumentar la proporción de lluvia dirigida a la escorrentía. RRF tiene poco impacto en los flujos base.
	<b>Capacidad de agua del suelo</b>	El aumento del parámetro aumenta el tiempo de viaje de cualquier agua en la cubeta superior y disminuye el caudal.	Disminuir SWC para aumentar la proporción de lluvia dirigida a la escorrentía. Tenga en cuenta que la disminución de SWC también disminuirá ligeramente los flujos base.
	<b>Dirección preferencial de flujo (PFD)</b>	0: toda el agua que sale del balde superior fluye al balde inferior y nada al río. 1: toda el agua que sale del balde superior fluye al río y nada al balde inferior.	Aumentar el PFD para aumentar la proporción de lluvia dirigida a la escorrentía. El aumento de la PFD disminuirá los flujos base.
	<b>Conductividad de la zona radicular</b>	El aumento del parámetro acorta el tiempo de viaje del agua en la cubeta superior (menos evaporación posible, menos pérdida de agua del sistema).	Aumentar RZC para aumentar la proporción de lluvia dirigida a la escorrentía. El aumento de RZC disminuirá los flujos base.
La humedad del suelo en el balde superior es constante de un año a otro	<b>Z1 inicial</b>	0: El balde superior comienza vacío y retendrá mucha humedad en los primeros pasos de tiempo. 100: El balde superior comienza a plena capacidad y retendrá poca humedad en los primeros pasos de tiempo.	¡No hagas ningún cambio!
	<b>Capacidad de agua del suelo</b>	Ver punto anterior sobre caudales.	Los cambios en SWC y RZC afectarán la consistencia de la humedad del suelo modelada en la cubeta superior.
	<b>Conductividad zona radicular</b>	Ver punto anterior sobre caudales.	
La humedad del suelo en el cubo inferior está disminuyendo de año en año	<b>Conductividad profunda</b>	El aumento del parámetro disminuye el tiempo de viaje del agua en el balde inferior antes de que fluya hacia el río.	Baje el DC para retener el agua en el balde inferior.
	<b>Capacidad de agua profunda (DWC)</b>	El aumento del parámetro aumenta el tiempo de viaje de cualquier agua en el balde inferior antes de que fluya hacia el río.	Aumente el DWC para retener el agua en el balde inferior
	<b>Z2 inicial</b>	0: El balde inferior comienza vacío y retendrá mucha humedad en los primeros pasos de tiempo. 100: El balde inferior comienza a plena capacidad y retendrá poca humedad en los primeros pasos de tiempo.	Aumente el valor de la condición inicial para disminuir la retención de humedad inicial y estabilizar los cálculos.

Los impactos de estos parámetros en el almacenamiento de agua del suelo y el flujo de agua superficial resultante se pueden apreciar en la ecuación de humedad del suelo resumida de WEAP, donde:

- R = capacidad de agua del suelo en la zona radicular
- Kc = coeficiente de cultivo
- RRF = factor de resistencia a la escorrentía
- f = dirección preferencial de flujo
- k<sub>s</sub> = conductividad de la zona radicular
- S<sub>max</sub> (o DWC) = capacidad de agua del suelo profundo
- k<sub>s2</sub> = conductividad del suelo profundo

**WEAP Hydrology - Soil Moisture Method**

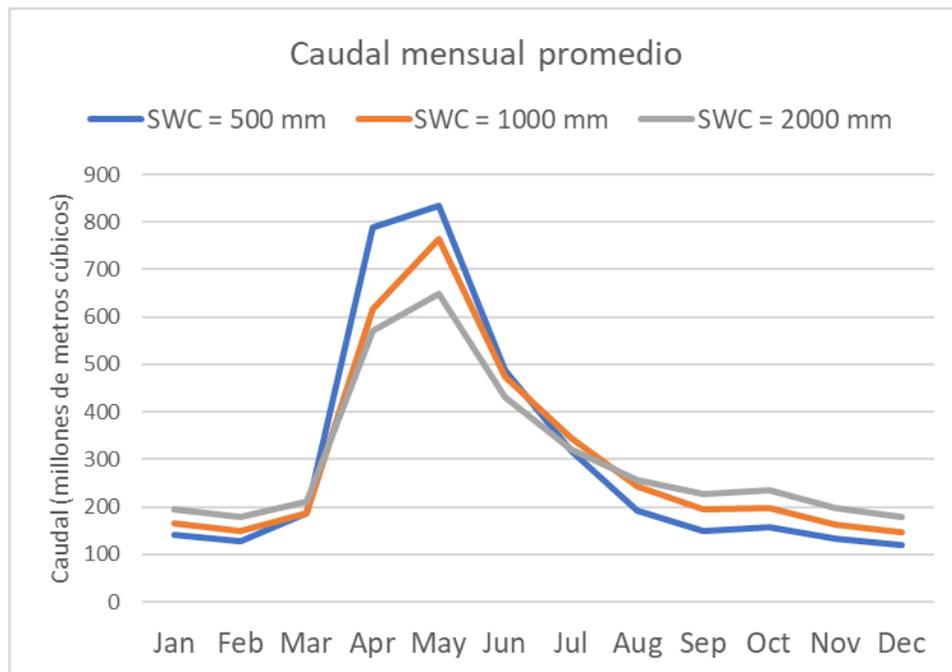
<p>Change in Soil Water Storage = Precipitation - Evapotranspiration</p>	-	<p>Direct Surface Runoff</p>	-	<p>Soil water flow to stream</p>	-	<p>Soil water flow to groundwater</p>
$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_\varepsilon(t) - PET(t)k_{z,j}(t)\left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3}\right) - P_\varepsilon(t)z_{1,j}^{RRF_j} - f_j k_{z,j} z_{1,j}^2 - (1 - f_j)k_{z,j} z_{1,j}^2$						
Shallow Soil Zone	Change in Soil Water Storage =	Percolation from all sub-branches within catchment	-	Flow to River (i.e. Baseflow)		
Deep Soil Zone	$S_{max} \frac{dz_2}{dt} = \left( \sum_{j=1}^N (1 - f_j) k_{z,j} z_{1,j}^2 \right) - k_{z,2} z_2^2$					

La siguiente tabla proporciona una guía para considerar cómo el uso de la tierra, los tipos de cultivos, la elevación, la pendiente y la geología pueden afectar la hidrología y su relación con los factores de calibración. Si bien es importante comprender las implicaciones de los diversos parámetros de calibración, también es importante comprender que algunos parámetros asociados con el cálculo de la humedad del suelo no tienen un significado físico riguroso; más bien se utilizan para ayudar a describir la respuesta hidrológica general de la unidad hidrológica.

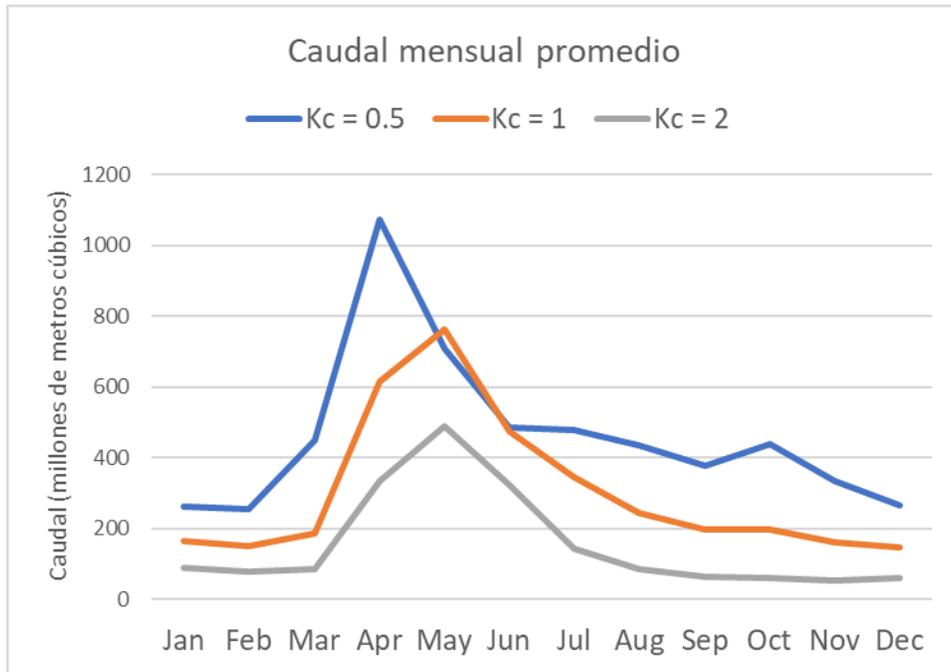
Parámetro	Factores que pueden afectar
<b>Coefficiente de cultivo, Kc</b>	Uso de la tierra, tipo de cultivo, elevación, temporada (a menudo varía mensualmente)
<b>Factor de resistencia a la escorrentía</b>	Uso de suelo, pendiente, temporada (puede variar mensualmente)
<b>Conductividad de la zona radicular</b>	Tipo de suelo, elevación
<b>Capacidad de agua del suelo</b>	Tipo de suelo, elevación
<b>Dirección preferencial de flujo</b>	Pendiente, uso del suelo, elevación
<b>Conductividad profunda</b>	Geología, elevación
<b>Capacidad de agua profunda</b>	Geología, elevación

Los resultados del modelo son más sensibles a los cambios en algunos parámetros de calibración del suelo que otros. En los gráficos a continuación se muestran ejemplos de la sensibilidad del modelo a los cambios en los parámetros.

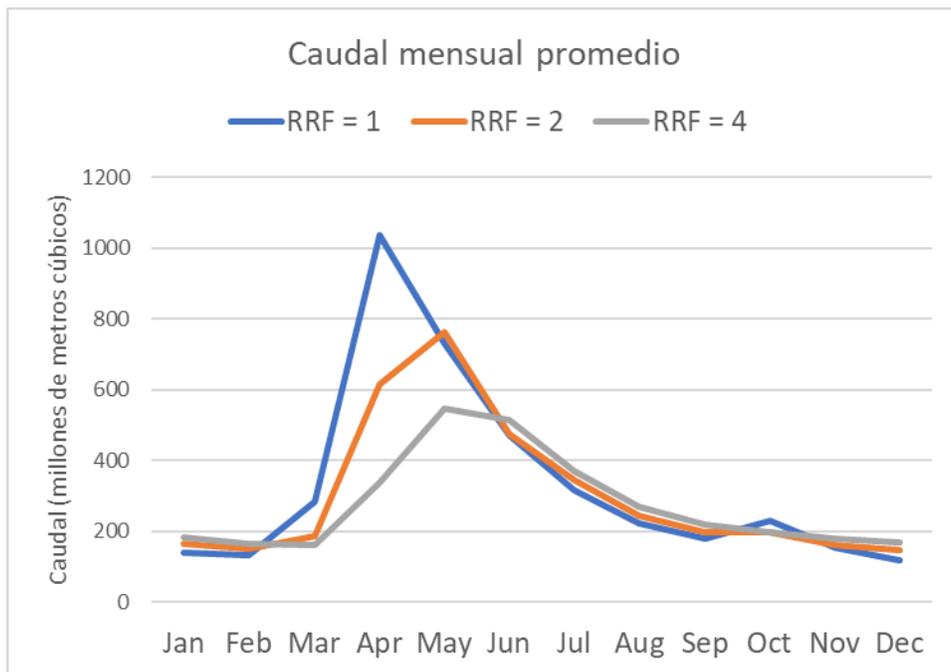
Capacidad de agua del suelo de la zona radicular (SWC)



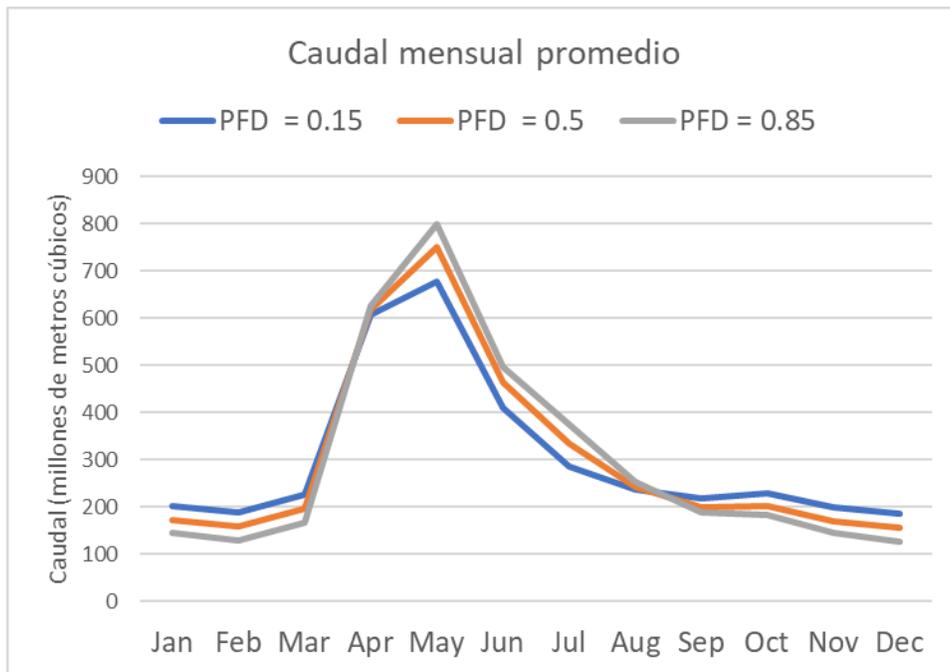
Coefficiente de cultivo,  $K_c$



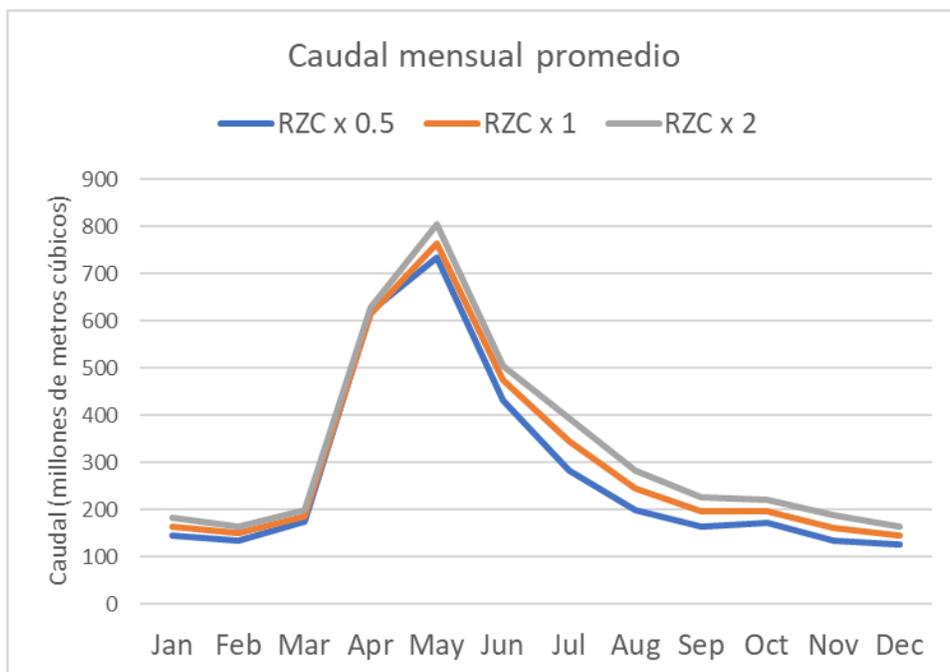
Factor de resistencia a la escorrentía, RRF



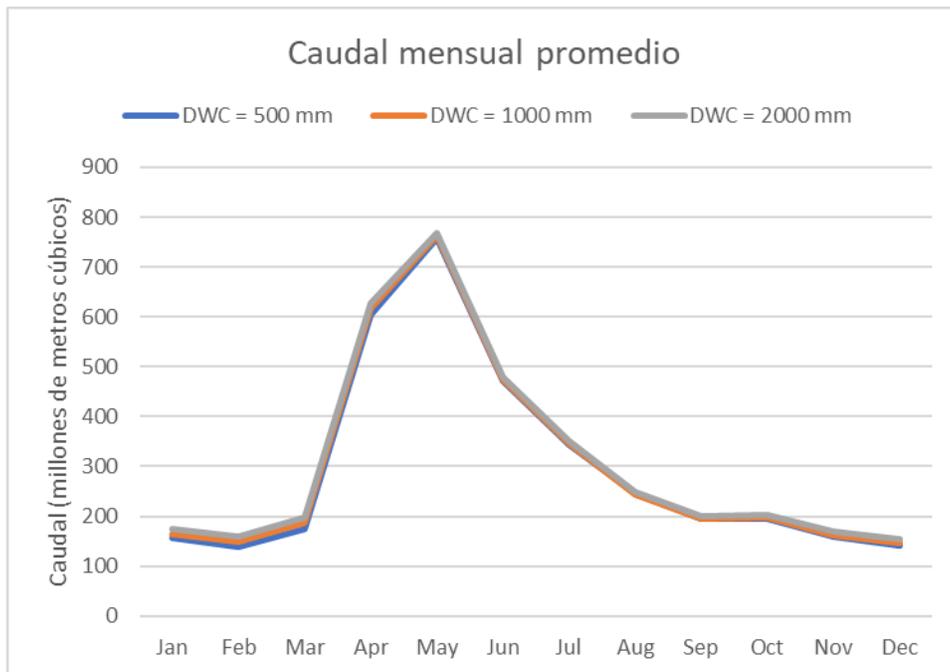
Dirección preferencial de flujo, f



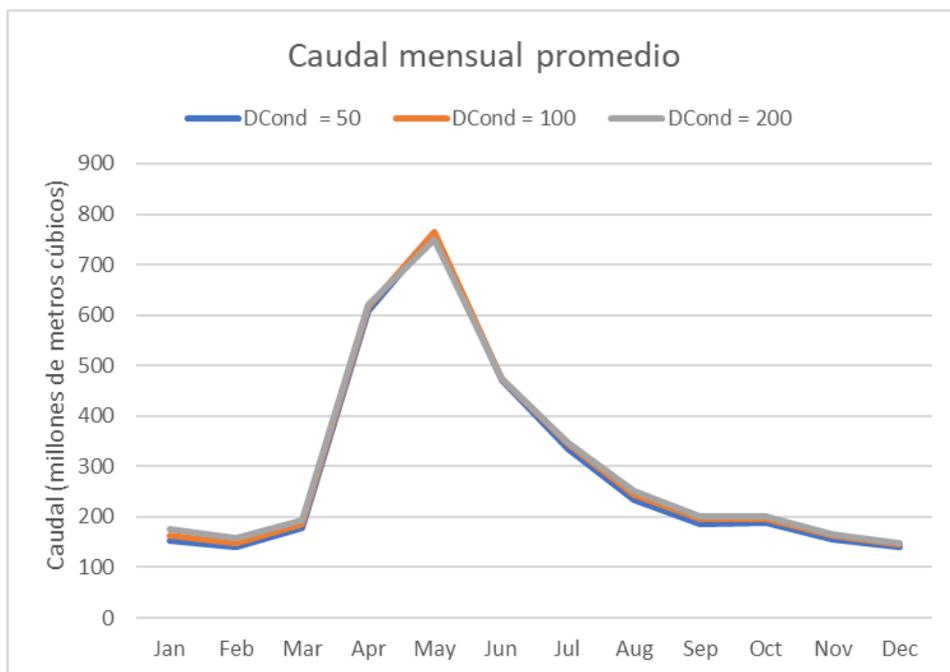
Conductividad de la zona radicular, ks



Capacidad de agua del suelo profundo,  $S_{max}$



Conductividad profunda,  $k_{s2}$



Ahora estamos listos para comenzar a hacer cambios en los parámetros de calibración del uso de la tierra. Ajustaremos las estimaciones iniciales de los parámetros hidrológicos relacionados con los dos tipos de uso de la tierra en la unidad hidrológica de captación del caudal de cabecera tributario.

Comenzaremos ajustando los parámetros que afectan la cubeta superior, enfocándonos en ajustar los parámetros para aumentar el agua que el modelo envía al río, ya que el caudal modelado fue significativamente más bajo que las observaciones históricas.

1) *Factor de resistencia a la escorrentía*

WEAP proporciona un valor predeterminado de 2 para el *factor de resistencia a la escorrentía* de todos los tipos de uso de la tierra cuando se agrega una unidad hidrológica por primera vez a un modelo. Si disminuimos este valor, aumentaremos la escorrentía al río.

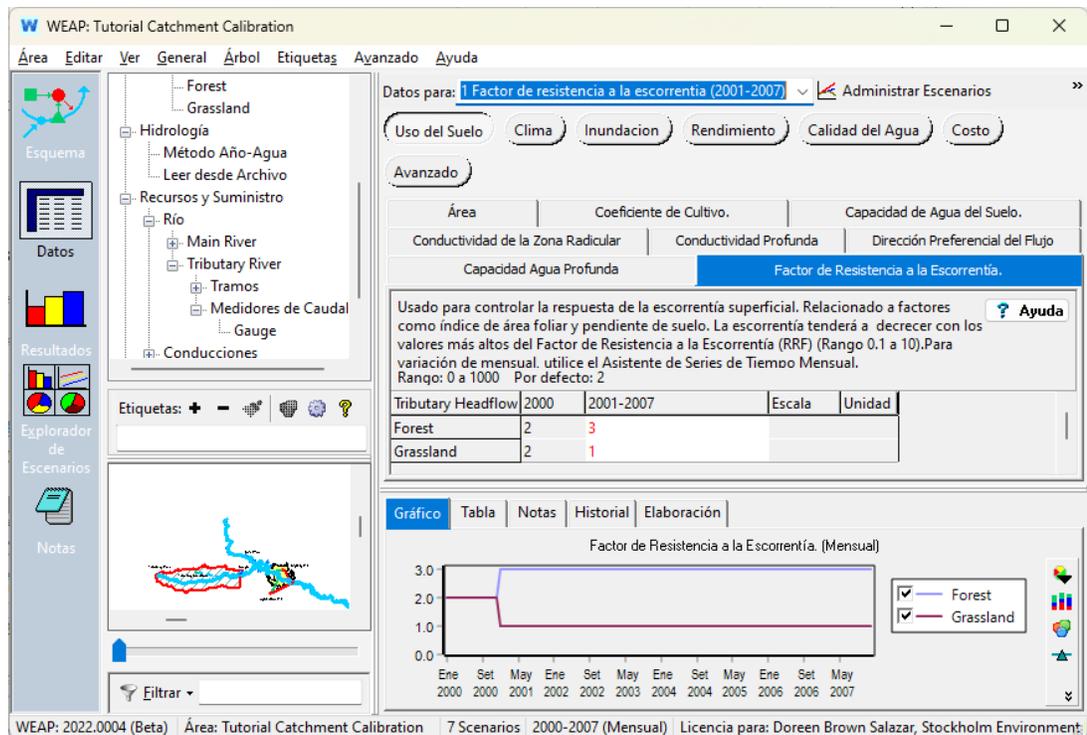
Suponga que, para este modelo, la escorrentía superficial del bosque (35 % del área) suele ser menor que la de los pastizales (65 % del área), quizás porque los pastizales tienen una pendiente promedio más alta además de carecer del dosel forestal. Para caracterizar esta diferencia, utilizaremos un *factor de resistencia a la escorrentía más alto* para tierras forestales que para pastizales.

Cree un nuevo escenario, "1 factor de resistencia a la escorrentía" (consulte el capítulo Escenarios para refrescar su memoria) para que podamos evaluar cómo los cambios en los parámetros de calibración afectan los resultados del modelo.

**En los siguientes pasos, ingrese los parámetros para el nuevo escenario de "factor de resistencia de escorrentía" solamente**

*Factor de resistencia a la escorrentía forestal = 3*

*Factor de resistencia a la escorrentía de pastizales = 1*



El ingreso de datos diferencian entre el tipo de uso de la tierra y aumentan la escorrentía para la mayoría del área de captación (los pastizales). Al aumentar la escorrentía directa, la unidad hidrológica convertirá más precipitación en caudal del río.

Explore los resultados del modelo. Podemos Observar que el escenario de resistencia a la escorrentía tiene valores de escorrentía más altos que el escenario de referencia, pero los flujos totales mensuales promedio en clima húmedo aún son más del doble que los flujos modelados. También puede explorar la sensibilidad del modelo a los factores de resistencia a la escorrentía ajustando aún más estos valores.

## 2) Capacidad de agua del suelo

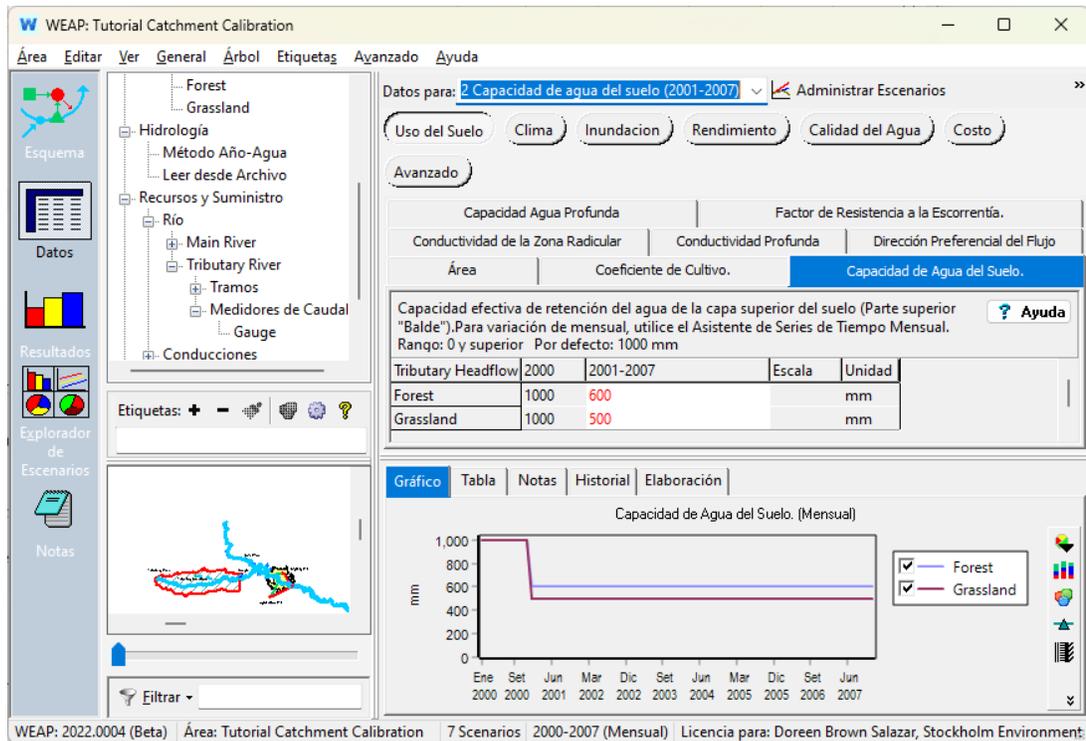
Otra forma de aumentar la cantidad de precipitación convertida en escorrentía fluvial es reducir la *capacidad de agua del suelo*. El valor predeterminado en WEAP es 1000 mm.

Cree un nuevo escenario, basado en el Escenario del factor de resistencia a la escorrentía, denominado "2 Capacidad de agua del suelo".

*Para el escenario de "Capacidad de agua del suelo", reduzca la Capacidad de agua del suelo a lo siguiente.*

*forestal = 600 mm*

*Capacidad de agua del suelo de pastizales = 500mm*



**Explore los resultados del modelo. Podemos Observar que el escenario de capacidad de agua del suelo tiene una mayor escorrentía y menos evapotranspiración que el escenario de referencia, pero los flujos totales mensuales promedio de clima húmedo siguen siendo aproximadamente dos veces más altos que los flujos modelados. También puede explorar la sensibilidad del modelo a la capacidad de agua del suelo ajustando aún más estos valores.**

### 3) Dirección preferencial de flujo

El flujo intermedio y el flujo base también contribuyen de manera importante al volumen del río. El mes de mayor caudal, según un promedio del registro de aforo de los años 2000-2007, es enero (49,7 CMS en promedio). El más bajo es julio (1,6 CMS en promedio), que probablemente esté dominado por el flujo base, ya que hay muy poca precipitación en ese momento.

El valor predeterminado de WEAP para *la dirección preferencial de flujo* para ambos tipos de uso de la tierra es 0,15, que dirige solo el 15 % del agua del balde superior al río como flujo intermedio (el 85 % restante se filtra al balde inferior). Para aumentar el flujo intermedio, el usuario puede dirigir más agua desde el balde superior para que fluya hacia el río aumentando los valores de *la Dirección de flujo preferida* para ambos tipos de uso del suelo.

Cree un nuevo escenario llamado "3 direcciones preferencial de flujo", basado en el escenario del factor de resistencia de escorrentía.

*Cambie los valores de Dirección de flujo preferida para la captación de flujo de cabeza afluente para indicar que dominan los flujos horizontales; el área boscosa genera más flujo horizontal que los pastizales.*

***Dirección preferencial de flujo del bosque = 0.7***

***Dirección preferencial de flujo de pastizales = 0.6***

Tenga en cuenta que esto dirige menos agua al balde inferior, lo que disminuye la humedad del suelo del balde inferior, que ya mostraba una tendencia a la baja. Nos ocuparemos de esto más adelante.

Explore los resultados del modelo. Este ajuste no tuvo un gran impacto en los resultados del modelo.

#### *4) Conductividad radicular*

En nuestros resultados iniciales para el promedio mensual *de Entradas y Salidas de Clases de Suelo*, vimos que el valor más alto para el interflujo fue en marzo (0,7 millones de m<sup>3</sup>/mes). Pero también sabemos por nuestros resultados mensuales promedio *de caudal* que durante la temporada de lluvias (aproximadamente de diciembre a marzo) el caudal modelado fue demasiado bajo en 45,9 millones de m<sup>3</sup>/mes (diciembre) a 109,7 millones de m<sup>3</sup>/mes (enero). (Para obtener estos resultados, reste el caudal modelado del caudal observado en el archivo Excel Monthly Average Streamflow Results).

Dado que el hidrograma muestra que la escorrentía del río está bien correlacionada con la precipitación, gran parte de este volumen del río durante la estación húmeda debería ser escorrentía superficial.

Podemos hacer una suposición inicial del volumen de interflujo mensual en función de los volúmenes de caudal mensuales observados, y usar esa suposición, combinada con una estimación del almacenamiento relativo del

balde superior (Z1), y nuestras estimaciones de la conductividad radicular *para* estimar matemáticamente conductividad radicular (Observar Consejos al final de este capítulo). Ajustaremos la conductividad del bosque y de la zona radicular para que coincida con los valores calculados. Si bien nuestros cálculos matemáticos son una base sólida para establecer relaciones entre parámetros, debemos ser conscientes de la incertidumbre de nuestros supuestos de referencia.

*Cree un nuevo escenario de "4 Conductividad radicular" e ingrese estos valores en su modelo para este escenario. El ejercicio de calibración ayudará a sugerir cómo cambiarlos aún más.*

*del bosque = 23.3 mm/mes*

*de los pastizales = 27.2 mm/mes*

Explore los resultados del modelo. Tanto los caudales base como los caudales máximos siguen siendo bajos. Además de calcular matemáticamente la conductividad de la zona radicular, vale la pena explorar la sensibilidad del modelo a este parámetro.

##### 5) *Capacidad de agua profunda*

Nuestro resultado inicial para *la humedad relativa del suelo 2 (%)* mostró una tendencia a la baja. Probemos qué sucede si cambiamos el valor predeterminado de la capacidad inferior del cucharón de 1000 mm a 500 mm.

*Cree un escenario de "5 capacidad de agua profunda" y cambie el valor de*

*Capacidad agua profunda = 500 mm*

Explore los resultados del modelo. Este ajuste aumentó la tendencia decreciente de la Humedad Relativa del Suelo 2. Podemos entender esto si imaginamos que si sale del sistema el mismo volumen de agua que antes, representaría el doble del porcentaje del volumen total en el segundo balde. Sin embargo, cambiar este parámetro también cambiará los flujos de salida del balde inferior. Puede explorar la sensibilidad del modelo a este parámetro.

### 6) Conductividad profunda

Puede estimar la conductividad profunda de manera similar al método utilizado para calcular la conductividad radicular (vea los Consejos al final del capítulo), utilizando los valores de flujo bajo observados mensualmente en millones de metros cúbicos por mes, el área de la unidad hidrológica y humedad relativa del suelo en el balde inferior.

*Cree un escenario de "6 conductividad profunda"*

*Aumente la conductividad profunda predeterminada ( $k_2$ ). (20 mm/mes) a 30 mm/mes. Esto puede alentar a que el balde inferior escurra el agua más rápido, lo que también se ve favorecido por el hecho de que hicimos el balde más pequeño.*

**Conductividad profunda = 30 mm/mes**

Explore los resultados del modelo. Los valores de caudal base han aumentado, pero siguen siendo la mitad de los caudales modelados.

### 7) Coeficiente de cultivo

Los cultivos suelen mostrar patrones anuales: meses en los que crecen mucho (y evaporan mucha agua) y meses en los que crecen poco o nada, por lo que  $K_c$  es un valor que puede variar mes a mes.

Sin embargo, para nuestra calibración inicial supondremos que en esta unidad hidrológica, tanto el bosque como los pastizales son perennes y siempreverdes. No ajustaremos  $K_c$ , el coeficiente de evaporación (o coeficiente de cultivo en contexto agrícola) ni lo variaremos por mes.



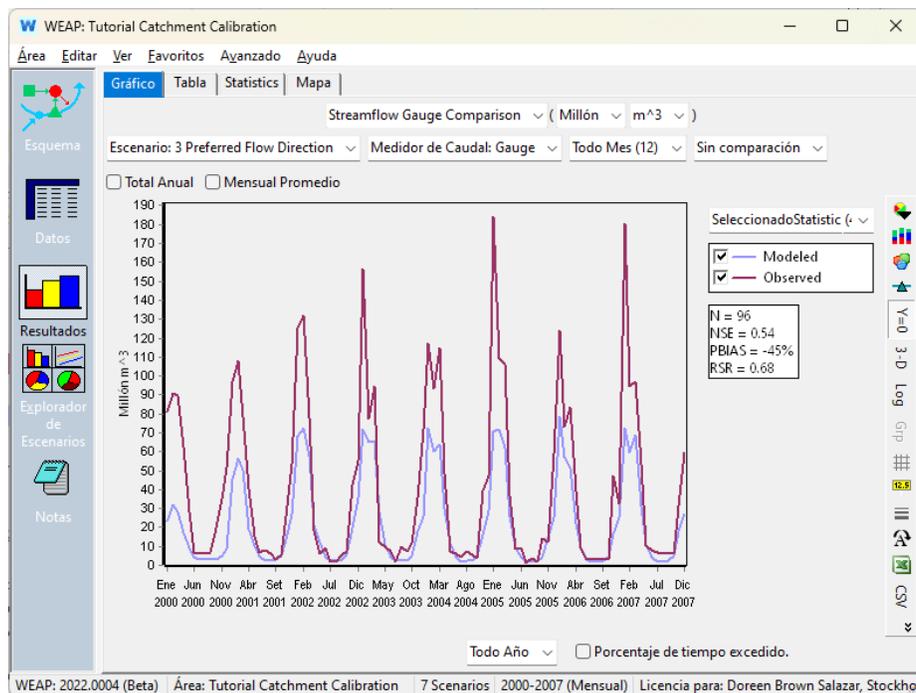
**Para los cultivos, las bibliotecas como el coeficiente de cultivo único de la FAO ( <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e0b.htm> ) son útiles para sugerir valores para  $K_c$ . Sin embargo, es posible que estos valores deban ajustarse según el contexto local de su modelo.**

---

## 10. Observar todos los resultados

*Ejecute los resultados y mire su gráfico favorito que hizo anteriormente.*

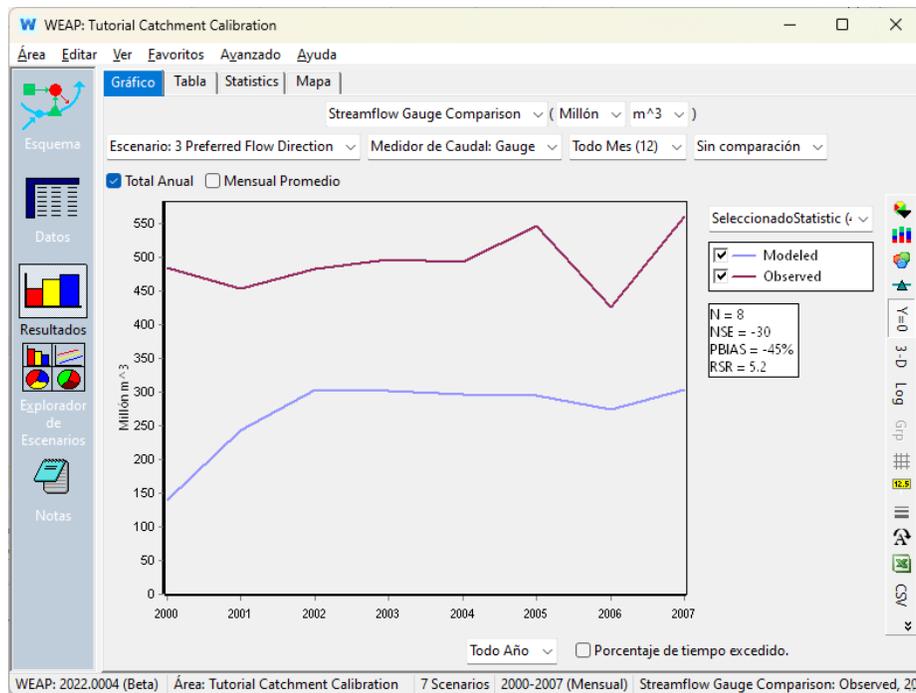
*Vaya a Favoritos en el menú principal y seleccione "Streamflow Gauge Comparison" (comparación de caudal observado y modelado)*



Esto se ve mucho mejor que antes. Los flujos altos simulados son más altos, aunque no tan altos como los datos históricos, y los flujos bajos aún se aproximan a los flujos históricos.

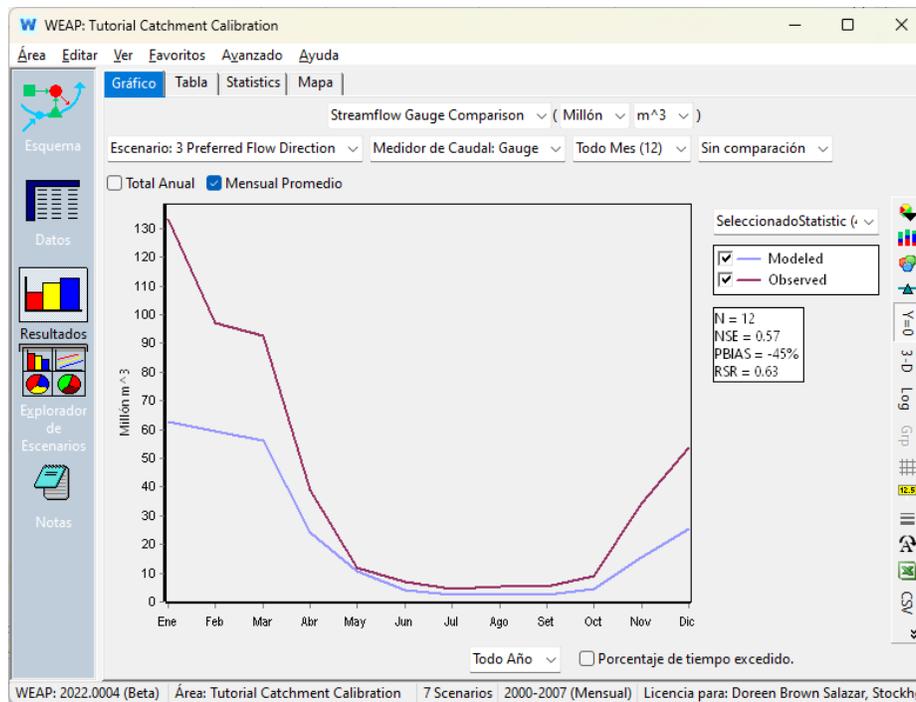
Si su modelo no se parece a este, puede revertir la versión "Clave de respuesta para el paso 1 de calibración de unidad hidrológicas".

*Marque la casilla de "Total anual" en la vista de gráfico de resultados.*



El modelo todavía está subestimando el caudal en general, y las tendencias anuales todavía no siguen muy bien los datos observados. Tenga en cuenta que los valores modelados para el año base (2000) no se ven afectados por los parámetros modificados en nuestro nuevo escenario.

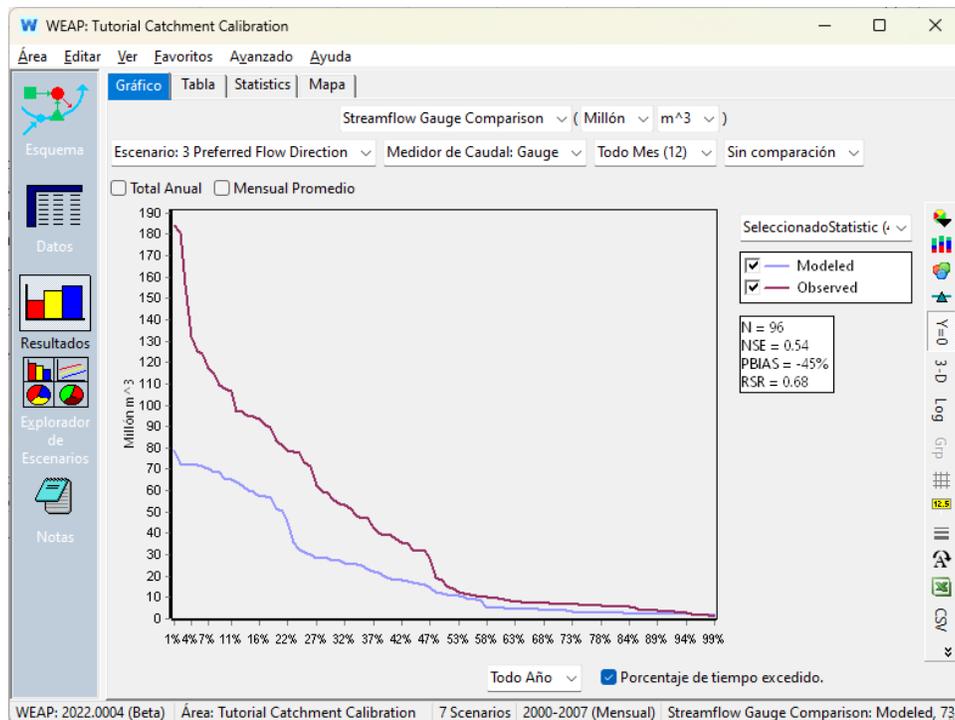
*Marque la casilla "Promedio mensual" para Observar los resultados.*



Puede comparar esto con los resultados que guardó anteriormente en Excel como "Resultados de caudal promedio mensual no calibrados". El gráfico anterior nos muestra que el modelo sigue subestimando el caudal cada mes y que este error es más pronunciado durante los meses de caudal alto. Esto puede estar relacionado con la forma en que estamos modelando la escorrentía.

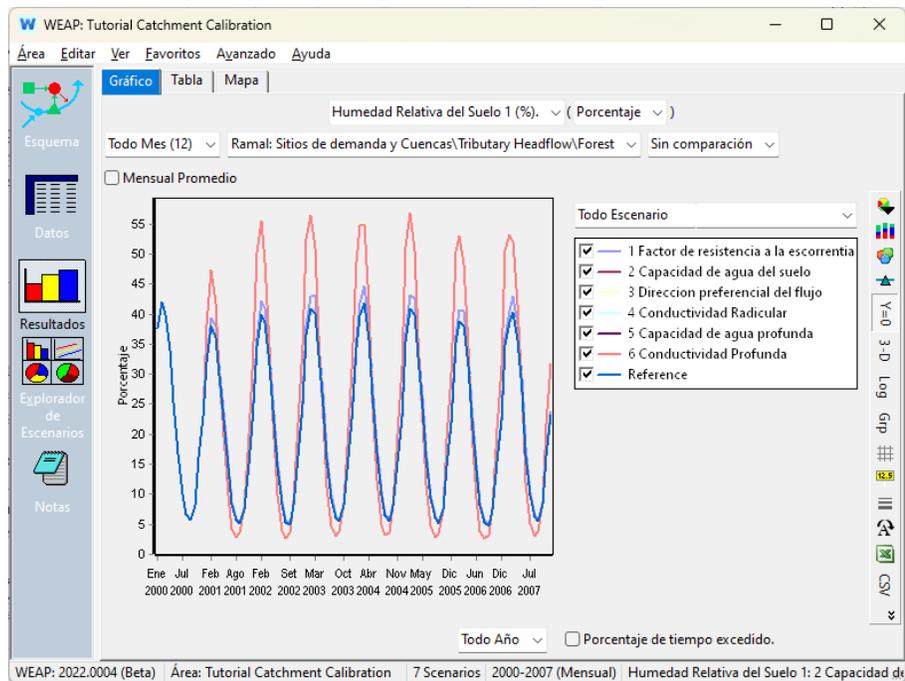
Finalmente, se puede visualizar la curva de duración del flujo:

*Después de desmarcar "Promedio mensual", seleccione "Porcentaje de tiempo excedido" en la parte inferior de la vista de resultados.*

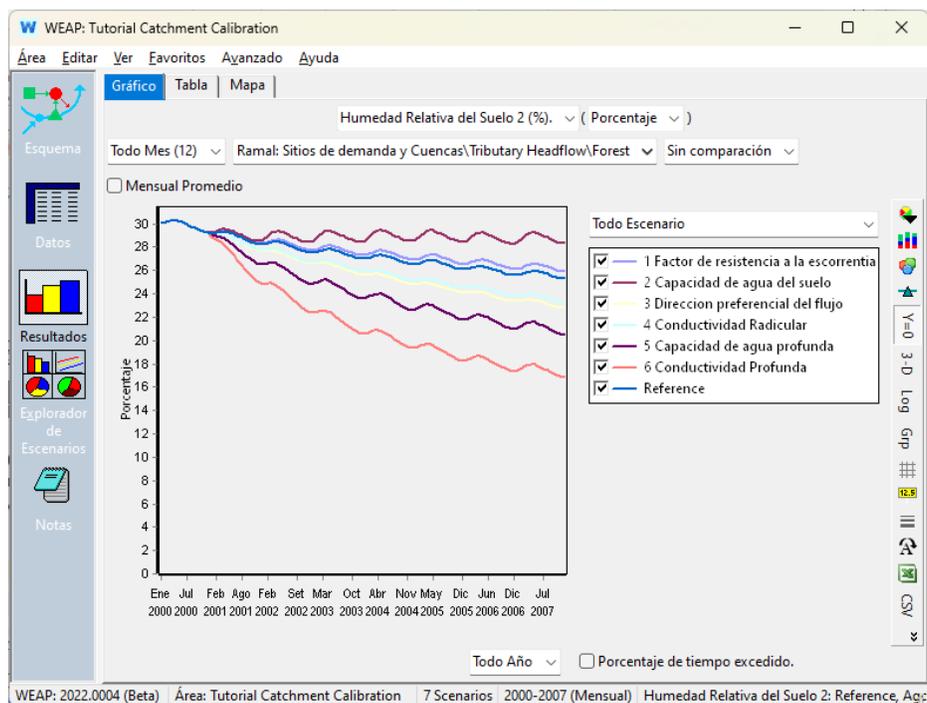


En este gráfico podemos Observar que el modelo calculó que el caudal es mayor que 10 MCM alrededor del 56 % del tiempo, mientras que los datos observados muestran que el 58 % del tiempo, el caudal es mayor que 10 MCM. Para un flujo mayor, 75 MCM, el modelo estima que alrededor del 2 % de los flujos son mayores, mientras que los datos muestran que la cifra debería rondar el 25 %. Nuevamente, vemos que nuestro modelo está subestimando el caudal.

La *humedad relativa del suelo 1 (%)* todavía muestra una tendencia estacional estable:



Y la *humedad relativa del suelo 2 (%)* inicialmente disminuye rápidamente, pero la tasa de disminución disminuye, por lo que el modelo podría estabilizarse a medida que avanza. Esto sugiere que podría ser una buena idea cambiar la condición inicial.



# Optimizar la calibración en función de la evaluación visual y estadística

Una vez que haya probado la sensibilidad del modelo a los parámetros clave de calibración del uso de la tierra y esté listo para optimizar su calibración, puede usar parámetros estadísticos como ayuda, especialmente si está usando métodos de optimización automatizados. Tenga en cuenta que los expertos en modelado siempre recomiendan revisar los resultados visualmente, así como revisar los resultados de las métricas de rendimiento estadístico.

WEAP incluye cálculos estadísticos incorporados de la cantidad de puntos de datos, la cantidad de puntos de datos faltantes y diez medidas estadísticas de calibración del modelo (DN Moriasi et al., 2007; Ferreira et al., 2020; Gupta et al., 2009). ; Yoon et al., 2015).

Los valores ideales y la interpretación de estas diez medidas estadísticas incorporadas se resumen en la siguiente tabla y se describen con más detalle en el texto que sigue.

Medida estadística	Valores ideales y aceptables	Interpretación
Coefficiente de correlación de Pearson, $r$	Si $r = 1$ existe una relación lineal positiva perfecta	Describe el grado de colinealidad entre los datos simulados y medidos
Coefficiente de determinación de Pearson, $r^2$	El valor ideal es 1, los valores de 0,5 a 1 se consideran aceptables	Es un índice del grado de relación lineal entre los datos observados y simulados
Eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)	El valor ideal es 1, valores > 0,5 = aceptable > 0.6 = deseado > 0,7 = bueno > 0,8 = muy bien	Qué tan bien el caudal modelado coincide con el caudal observado
NSE en registro de flujo diario transformado (LNS)	El valor ideal es 1	Igual que NSE, pero con sensibilidad reducida a valores altos y bajos
Eficiencia Kling-Gupta (KGE)	El valor ideal es 1. Los valores deseados están por encima de 0,8.	Compila tres métricas: correlación de valores simulados y observados, sesgo del modelo y simulación de variaciones de caudal
Error medio medio (MAE)	0 indica un ajuste perfecto, un valor inferior a la mitad de una desviación estándar se considera aceptable	El grado en que los flujos modelados y observados coinciden
Error cuadrático medio (RMSE)		
Error cuadrático medio normalizado (NRMSE)		
Relación entre el error cuadrático medio y la desviación estándar (RSR)	Un valor ideal es cero, pero los valores inferiores a 0,7 se consideran buenos.	Una medida de cuánto se desvían los flujos simulados de los hidrogramas observados
Porcentaje de sesgo (PBIAS)	Un valor ideal es cero, pero se considera aceptable un PBias de más o menos el 25 % de	Tendencia de sobreestimación o subestimación constante de los flujos/coincidencia del volumen total simulado con el observado

**El coeficiente de correlación de Pearson (r)** es un índice del grado de relación lineal entre los datos observados y simulados. Va de -1 a 1. Si  $r = 0$ , no existe una relación lineal. Si  $r = 1$  o  $-1$ , existe una relación lineal positiva o negativa perfecta.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o(i)} - \overline{Q^{obs}})(Q_i^{sim} - \overline{Q^{sim}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \overline{Q^{obs}})^2 * \sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - \overline{Q^{sim}})^2}}$$

**El coeficiente de determinación de Pearson ( $r^2$ )** también compara datos simulados y medidos; describe la proporción de la varianza en los datos medidos explicada por el modelo.  $R^2$  varía de 0 a 1, donde los valores más altos indican una menor varianza del error y, por lo general, los valores superiores a 0,5 se consideran aceptables.

$$r^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o(i)} - \overline{Q_{o(i)}})(Q_{c(i)} - \overline{Q_{c(i)}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{o(i)} - \overline{Q_{o(i)}})^2 * \sum_{i=1}^n (Q_{c(i)} - \overline{Q_{c(i)}})^2}} \right]^2$$

El coeficiente **de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE)** se usa comúnmente en el modelado hidrológico para evaluar qué tan bien el caudal modelado coincide con el caudal observado. El valor ideal es 1, los valores de 0,5 son aceptables, pero la mayoría de los modeladores apuntan a valores que están en o por encima de 0,7.

$$NSE = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \overline{Q^{obs}})^2} \right]$$

**NSE en Log Transformed Daily Flow (LNS)** es el NSE calculado con el logaritmo de los caudales diarios (LNS). Esta transformación reduce la sensibilidad de NSE a valores altos y aumenta su sensibilidad a valores bajos.

$$LNS = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (\log Q_i^{obs} - \log Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (\log Q_i^{obs} - \overline{\log Q^{obs}})^2} \right]$$

**La eficiencia de Kling-Gupta (KGE)** es un indicador que tiene como objetivo capturar tres objetivos diferentes de calibración del modelo: correlación de valores simulados y observados, minimización del sesgo del modelo y simulación óptima de variaciones de flujo. El valor ideal es 1, se desean valores superiores a 0,8.

$$KGE = 1 - \sqrt{(r - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + \left(\frac{\overline{Q^{sim}}}{\overline{Q^{obs}}} - 1\right)^2}$$

Donde  $\alpha$ , la variabilidad relativa se define como:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - \overline{Q^{sim}})}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \overline{Q^{obs}})}$$

**El error absoluto medio (MAE)** es un promedio simple del valor absoluto de la diferencia entre los datos observados y simulados. Un valor óptimo sería cero. Un valor inferior a la mitad de una desviación estándar se considera aceptable.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_i^{sim} - Q_i^{obs}|$$

**El error cuadrático medio (RMSE)** es una medida del error medio entre los flujos simulados y observados. Un valor óptimo sería cero. Un valor inferior a la mitad de una desviación estándar se considera aceptable.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2}$$

**El error cuadrático medio normalizado (NRMSE)** es el RMSE dividido por el rango de datos observados. Para la comparación de los resultados del modelo para los mismos datos utilizando diferentes parámetros, no proporciona información adicional que el RMSE solo, pero puede ser un parámetro útil para comprender las diferencias en el rendimiento del modelo para años húmedos versus años secos o entre diferentes unidades hidrológicas.

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\text{range of observed data}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2}}{Q_{max}^{obs} - Q_{min}^{obs}}$$

La **proporción de la El error cuadrático medio de la desviación estándar (RSR)** es una medida de cuánto se desvían los flujos simulados de los hidrogramas observados. Un valor ideal es cero, pero los valores inferiores a 0,7 se consideran aceptables.

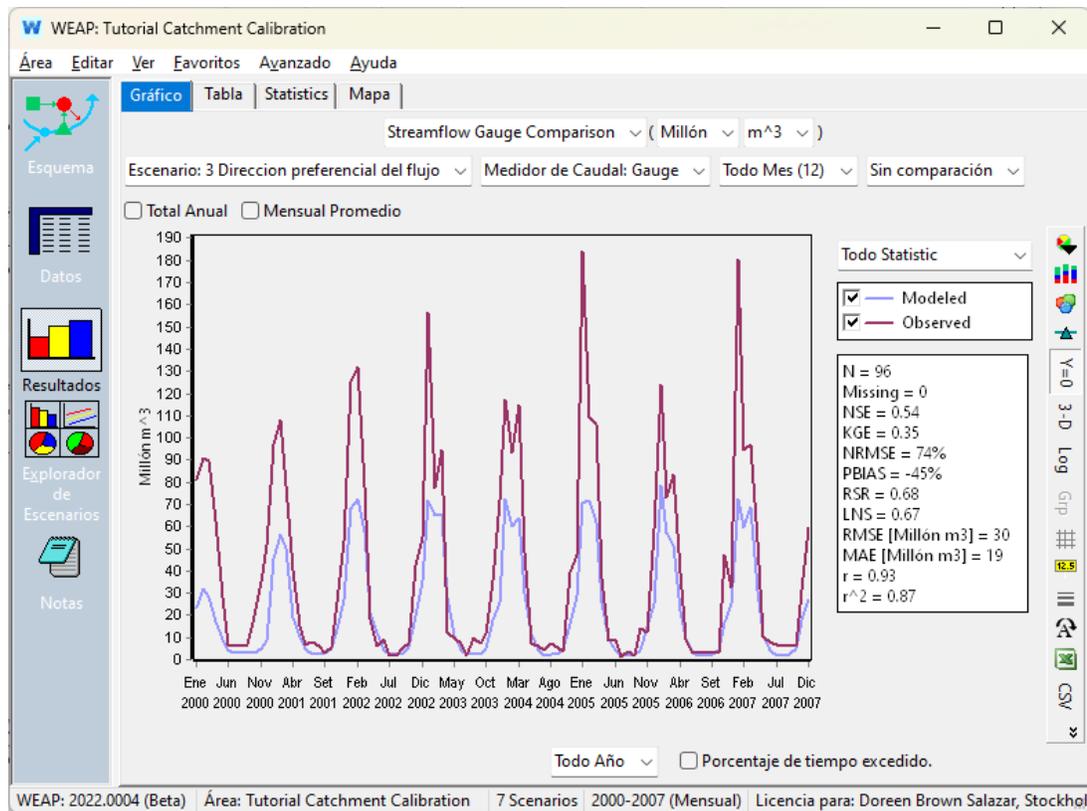
$$RSR = \frac{RMSE}{STDEV_{obs}} = \frac{\left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2} \right]}{\left[ \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - \bar{Q}^{obs})^2} \right]}$$

El **sesgo porcentual (PBIAS)** es una medida de la capacidad del modelo para igualar el volumen total de flujo. Un valor ideal es cero, pero se considera aceptable un PBias de más o menos el 25 % del caudal observado.

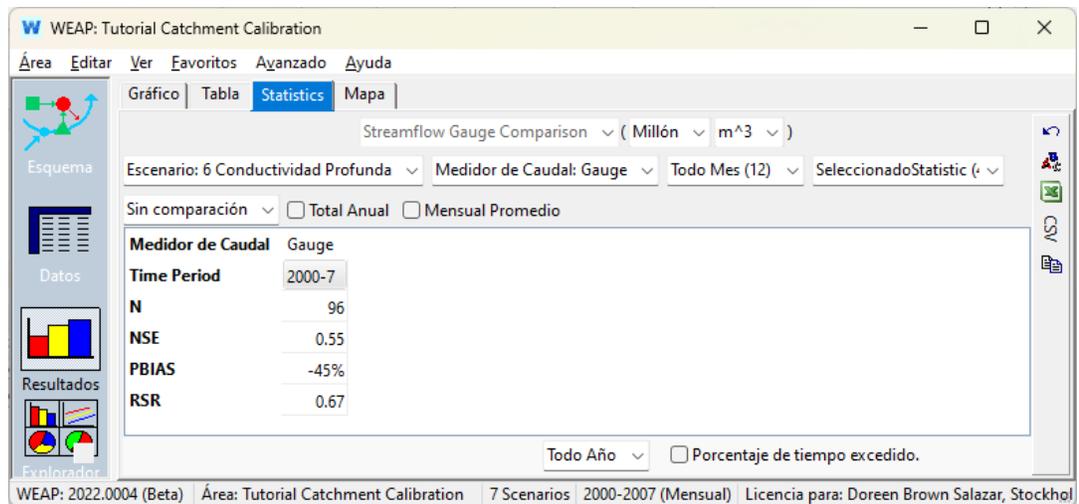
$$PBIAS = 100 * \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs})} \right]$$

Estos diez valores estadísticos se enumeran a la derecha de las comparaciones de medidores de caudal en WEAP. La mayoría de los modeladores no utilizan todos estos valores para la calibración del modelo. Usan más de una métrica para asegurarse de que sus modelos simulen bien: caudales altos, volúmenes de caudal total anual, estacionalidad del caudal mensual y caudal base. Los estudios que analizan el uso de métricas para la calibración del modelo señalan que, aunque  $r$  y  $r^2$  son estadísticas bien reconocidas que se usan para muchos tipos de modelos, son muy sensibles a valores atípicos altos e insensibles al sesgo del modelo. La mayoría de los modeladores usan métricas como NSE y KGE para capturar variaciones estacionales, junto con medidas como MAE o RSR para capturar flujos máximos y PBIAS para optimizar la simulación de flujos anuales totales.

Vaya al favorito de comparación de medidores de caudal con "Total anual" y "Promedio mensual" sin marcar, y el escenario de "Conductividad profunda": puede seleccionar los valores estadísticos que muestra WEAP haciendo clic en "Todas las estadísticas" (a la derecha), luego "Estadísticas seleccionadas", luego verifique qué parámetros le gustaría que WEAP muestre. Seleccione N (número de puntos de datos), NSE, RSR y PBIAS.



Si luego hace clic en la pestaña de estadísticas (en la parte superior), verá solo los valores de las medidas estadísticas que seleccionó, y puede exportar los valores a Excel o CSV haciendo clic en el ícono de Excel o en las palabras CSV a la derecha. Tenga en cuenta que si selecciona "Total anual" o "Promedio mensual", la cantidad de puntos de datos, N, será la cantidad de años o meses, mientras que si deja ambos en blanco, incluirá todos los datos. Todos los parámetros estadísticos se calcularán en función de estas opciones. Tenga en cuenta que el estándar de oro para la calibración del modelo y las estadísticas asociadas es la serie temporal completa del modelo en el paso de tiempo más pequeño modelado. Sin embargo, las estadísticas promedio mensuales pueden ayudarnos a obtener información sobre el comportamiento del modelo.



Si comparamos los resultados del modelo para estos valores estadísticos con los valores deseados, obtenemos lo siguiente:

Parámetro	Valor del modelo mensual (N=96)	Valores mensuales promedio del modelo (N= 12)	Valores objetivo
NSE	0,55	No aplica	> 0,5 = aceptable > 0.6 = deseado > 0,7 = bueno > 0,8 = muy bien
PBIAS	-45%	-45%	$\pm < 25\%$ = aceptable
RSR	0,67	0,62	<0.7 = bueno

Hay mucho más trabajo por hacer para mejorar esta calibración. El sesgo del modelo sigue siendo particularmente bajo, y el modelo produce aproximadamente la mitad de los flujos observados. La NSE y la RSR también podrían mejorar. Incluimos los valores estadísticos mensuales y mensuales promedio para Observar si estos afectan los resultados estadísticos. Tenga en cuenta que algunos valores estadísticos, como NSE, no son apropiados para una serie de tiempo mensual promedio.

*Guarde una versión del modelo como "Calibración hidrológica 1"*

Habiendo visto los resultados, tenemos una idea de qué cambiar.

## 11. Alterar los parámetros del modelo

Primero, debido a que nuestro flujo de agua aún es demasiado bajo, disminuirémos el *factor de resistencia de escorrentía* en un 20 %. Esto dirigirá más agua a la escorrentía al río inmediatamente. Los valores fueron 3 y 1 para bosque y pastizal, respectivamente. Los editaremos usando operaciones matemáticas para que podamos Observar en WEAP cómo se calcularon los nuevos valores.

*En la vista de datos, multiplique los valores del factor de resistencia a la escorrentía de bosques y pastizales por 0,8 (en el escenario de 1 factor de resistencia a la escorrentía).*

The screenshot shows the WEAP software interface for 'Tutorial Catchment Calibration'. The 'Datos' (Data) view is selected, showing the 'Factor de Resistencia a la Escorrentía' parameter. The parameter is set to '1 Factor de resistencia a la escorrentía (2001-2007)'. The 'Uso del Suelo' (Land Use) tab is active, showing the parameter values for Forest and Grassland. The values are 2 for both, with the new values (3\*0.8 and 1\*0.8) shown in red. The 'Gráfico' (Graph) view shows the parameter values over time for Forest and Grassland, with the values decreasing from 2 to 1.6 for Forest and 0.8 for Grassland.

Tributary Headflow	2000	2001-2007	Escala	Unidad
Forest	2	3*0.8		
Grassland	2	1*0.8		

También podemos disminuir la evaporación acelerando el tiempo de viaje en la cubeta superior. Empezaremos por reducir los valores de la *Capacidad de Agua del Suelo* en un 60%. Esto reduce la cantidad de agua que se puede almacenar, lo que fomentará un mayor interflujo y debería aumentar los flujos máximos y ajustar el PBIAS que anteriormente mostraba una subestimación. *La capacidad de agua del suelo* también puede hacer que WEAP responda mejor a los cambios en una escala de tiempo anual.

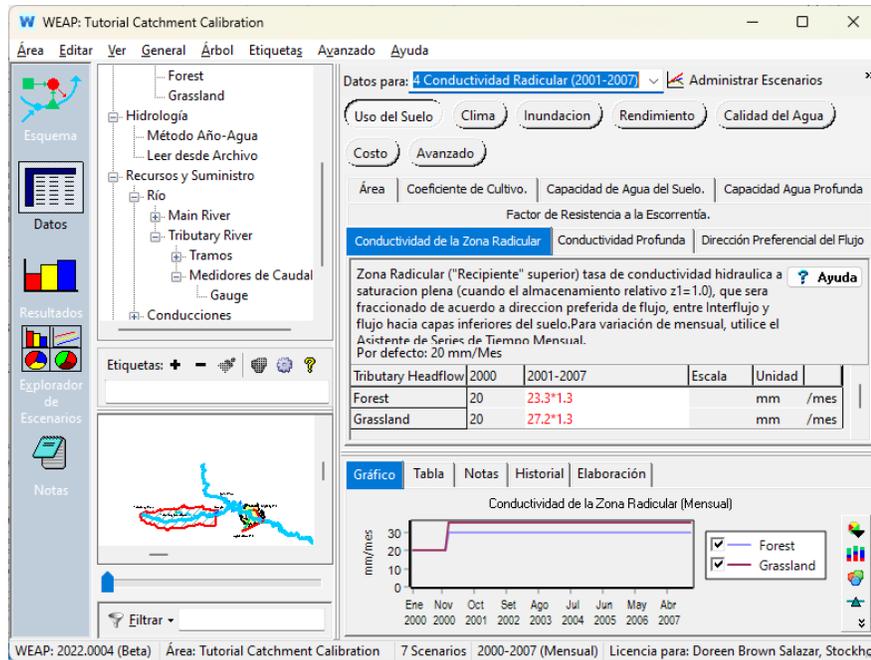
*Multiplique los valores de Capacidad de agua del suelo de bosques y pastizales por 0,4 (en el escenario 2 de Capacidad de agua del suelo).*

The screenshot shows the WEAP software interface for 'Tutorial Catchment Calibration'. The 'Datos' (Data) tab is active, showing the 'Capacidad de Agua del Suelo' (Soil Water Capacity) parameter for the '2001-2007' scenario. The parameter is set to 'Capacidad de Agua del Suelo' under the 'Uso del Suelo' (Land Use) category. The table below shows the values for Forest and Grassland, both set to 1000 mm in 2000 and 600\*0.4 mm from 2001 onwards. A line graph below the table shows the monthly soil water capacity (mm) for Forest and Grassland from 2000 to 2007, with both lines showing a sharp drop from 1000 mm in 2000 to 240 mm in 2001 and remaining constant thereafter.

Tributary Headflow	2000	2001-2007	Escala	Unidad
Forest	1000	600*0.4		mm
Grassland	1000	500*0.4		mm

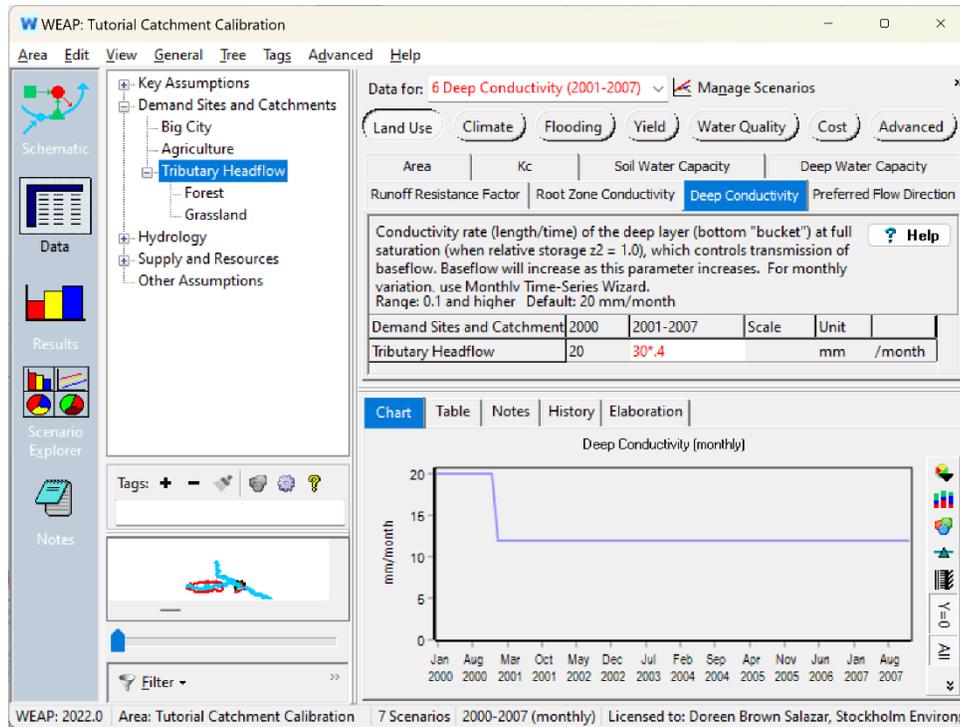
También aumentaremos la *conductividad radicular* en un 30 % para fomentar un flujo más rápido desde la cubeta superior.

*Multiplique los valores de conductividad de la zona radicular por 1,3 (en el escenario de 4 conductividades de la zona radicular).*



Finalmente, queremos que el resultado de *Humedad relativa del suelo 2 (%)* sea estable a lo largo del tiempo. Vimos que el balde inferior perdía agua demasiado rápido, por lo que una respuesta podría ser reducir el tiempo de viaje.

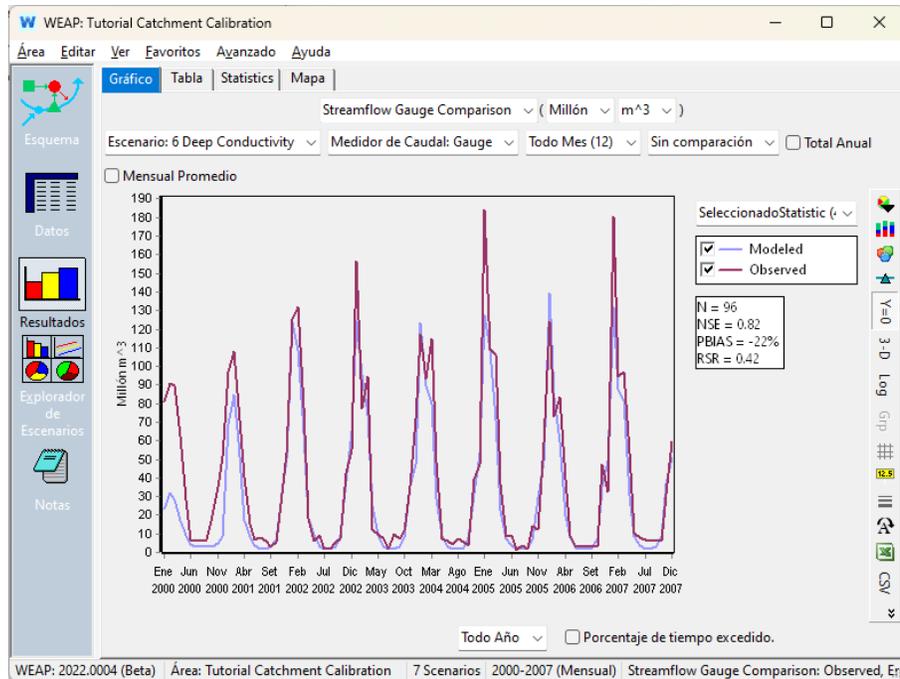
*Multiplique la conductividad profunda por 0,4 (en el escenario de conductividad profunda).*



## 12. Observar los resultados

Ejecute los resultados y, en la Vista de resultados, vaya a Gráfico favorito para Flujo de flujo observado y modelado.

Guarde una versión de este modelo como " *Calibración 2* "

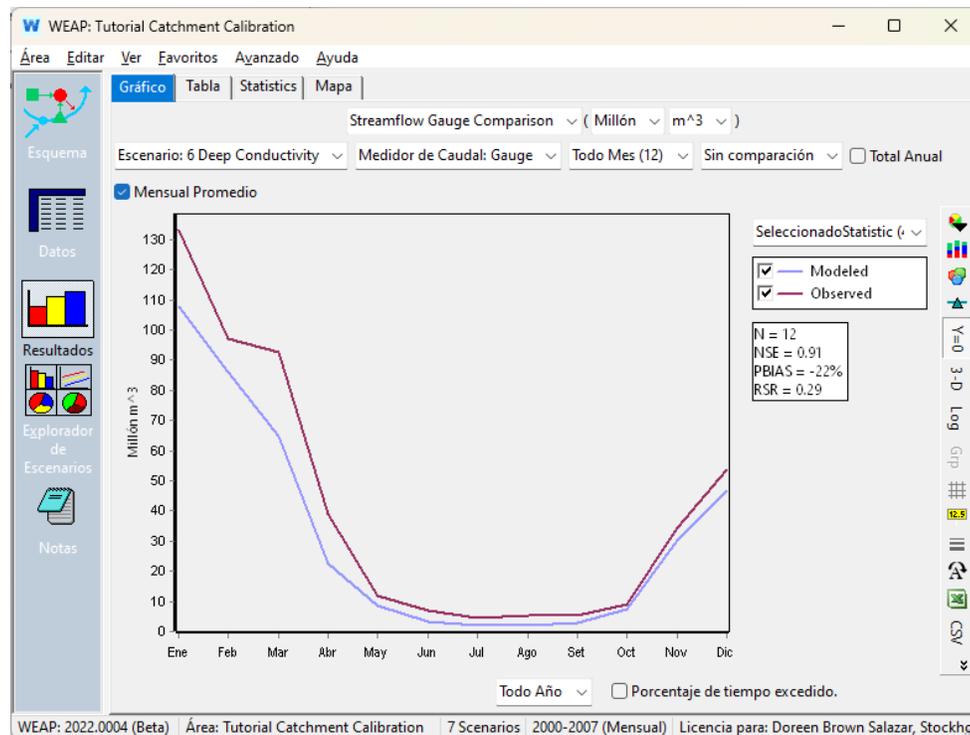


Si observamos nuestros parámetros de evaluación estadística, podemos Observar que todos nuestros parámetros de evaluación seleccionados han mejorado y ahora todos se encuentran dentro de los rangos de valores objetivo. Siempre hay más mejoras por hacer; tendrá que decidir qué tan cerca necesita su modelo para simular los datos históricos disponibles y qué tan cerca debe representar las condiciones conocidas.

Parámetro	Valor mensual del modelo anterior (N=96)	Valor mensual del nuevo modelo (N=96)	Valores objetivo
NSE	0,55	0.82	> 0.6 = deseado > 0,7 = bueno > 0,8 = muy bien
PBIAS	-45%	-22%	± < 25% = aceptable
RSR	0,67	0.42	<0.7 = bueno

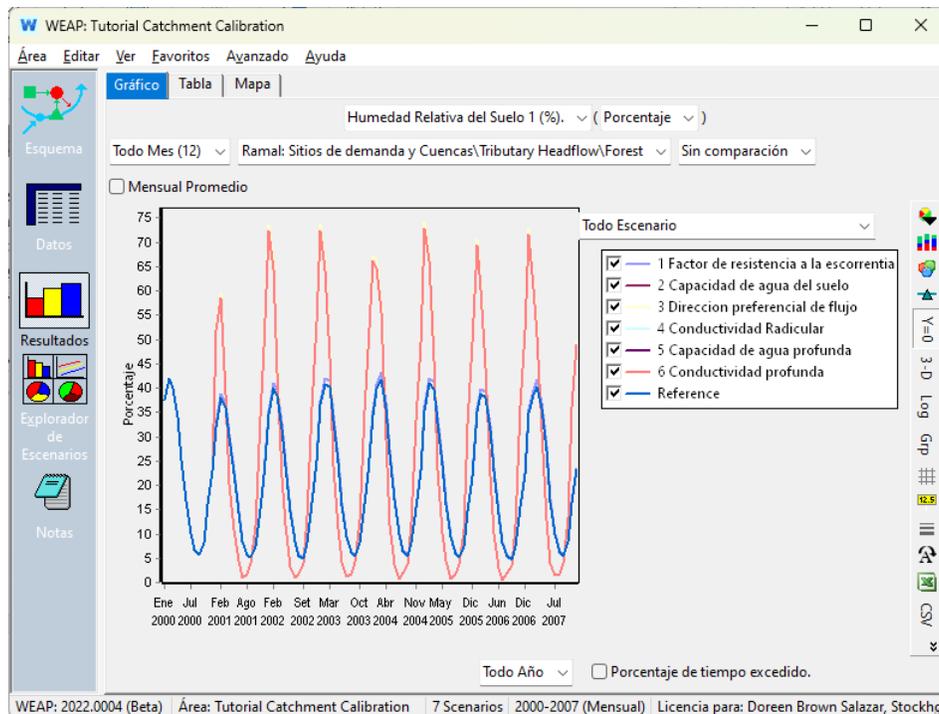
Para comprender mejor su modelo, consulte los distintos gráficos que utilizamos para la calibración. Para el cuadro de comparación de medidores de flujo mensual anterior, podemos Observar que, de manera interesante, durante algunos años, los flujos máximos se pronostican en exceso, y otros años se pronostican por debajo. Algunos años, los flujos bajos se ajustan muy bien, mientras que otros años el modelo predice por debajo de los flujos bajos.

*Haga clic en el cuadro para ver el promedio mensual del caudal observado y modelado*

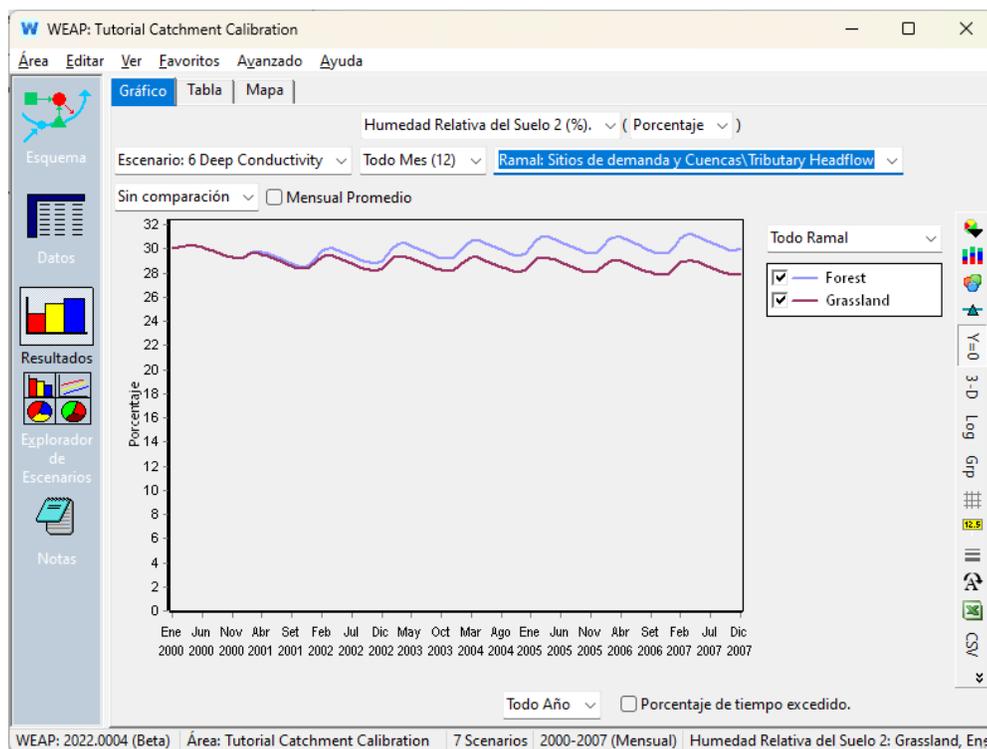


Tenga en cuenta que los meses de otoño muestran un ajuste más cercano, en promedio, que el resto del modelo. Esto podría sugerir una oportunidad para editar algunas variables por mes, como el *factor de resistencia a la escorrentía* o los valores *de Kc* para los tipos de uso del suelo. También tenga en cuenta que los parámetros estadísticos ahora se calculan para  $N = 12$  (los valores mensuales promedio).

También podemos verificar que el ciclo de *Humedad Relativa del Suelo 1 (%)* sigue siendo estable en el tiempo (deberá desmarcar "Promedio Mensual").



La humedad relativa del suelo 2 (%) también parece ser constante, aunque los resultados dividen la humedad por tipos de uso de la tierra. Estos son inevitablemente diferentes, porque filtran el agua de manera diferente.



## 13. Identificar variables compensatorias

La calibración de nuestro modelo ha sido exitosa, pero tendríamos razón al preguntarnos sobre los factores que no cambiamos. ¿Podríamos haber obtenido resultados similares alterando diferentes variables? Cuando los parámetros tienen diferentes combinaciones pero los mismos resultados generales de calibración, esos parámetros se denominan "compensatorios". En WEAP, hay muchos ejemplos de combinaciones de parámetros compensatorios. Sin embargo, el tema en juego sigue siendo el mismo: ¿el modelo captura la dinámica del caudal en respuesta a factores climáticos?

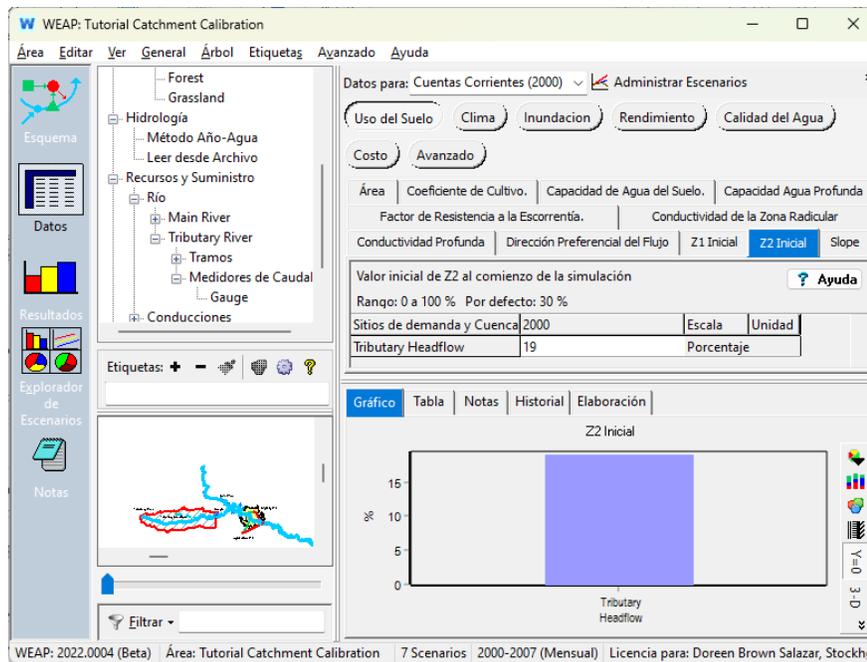
Como ejercicio, podemos explorar cómo podría haber sido otro conjunto de variables.

*Vuelva a la Vista de datos y elimine el factor de multiplicación del parámetro Conductividad profunda (en el escenario Conductividad profunda), de modo que el valor vuelva a ser 30 mm/mes.*

Habíamos cambiado esta variable con la esperanza de brindar estabilidad a nuestro resultado *Humedad relativa del suelo 2 (%)*, reduciendo la velocidad del agua que sale de la unidad hidrológica y manteniendo la humedad del suelo alrededor de su valor inicial del 30 %.

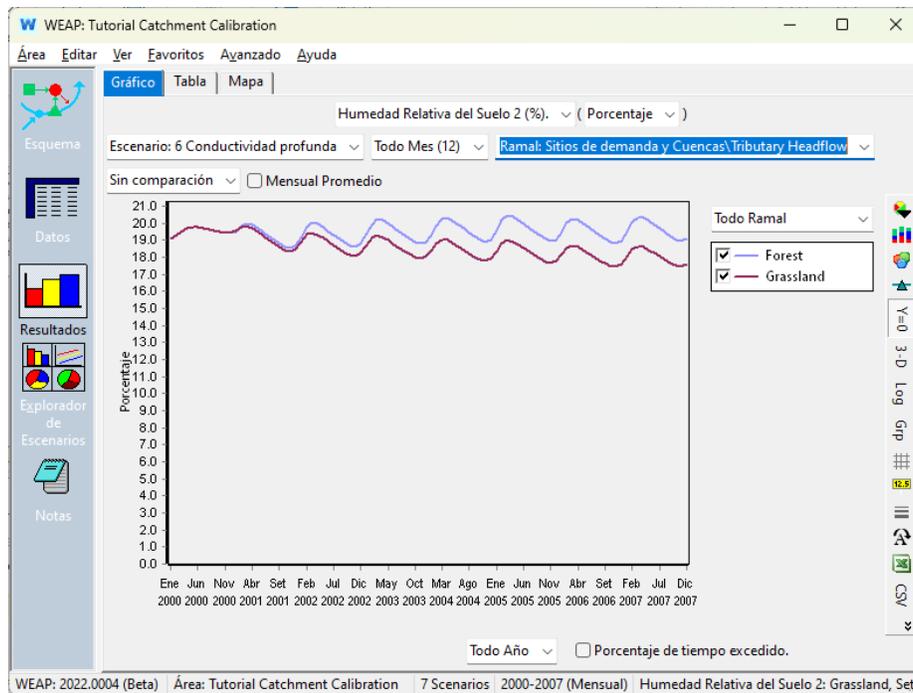
En su lugar, supondremos que el agua todavía tiene un tiempo de viaje rápido, pero el valor inicial de humedad del suelo era más bajo.

*Cambie la variable para Z2 Inicial a 19% (Nota: esta variable solo se puede cambiar en Cuentas Corrientes).*



Debido a que la humedad del suelo ejerce un impacto no lineal en el tiempo de viaje en el balde inferior (los valores más altos de humedad del suelo hacen que el balde expulse el agua más rápido), especificar un valor de humedad del suelo más bajo junto con una tasa de conductividad más rápida es otra forma de mantener la estabilidad en la humedad del suelo cubo inferior.

*Ejecute los resultados. Observar los resultados de Humedad relativa del suelo 2 (%).*



Este gráfico se parece a nuestros resultados de calibración anteriores.

¿Esta alteración en la caracterización de nuestro balde inferior cambió los resultados estadísticos?

*Vuelva al cuadro favorito para la comparación de medidores de caudal y vea los resultados estadísticos.*

Parámetro	Valor del modelo de calibración 1, mensual	Valor del modelo de calibración 2, mensual	Valor del modelo de la variable compensatoria, mensual	Valores objetivo
NSE	0,55	0.82	0.82	> 0.6 = deseado > 0,7 = bueno > 0,8 = muy bien
PBIAS	-45%	-22%	-22%	$\pm < 25\%$ = aceptable
RSR	0,67	0.42	0.43	<0.7 = bueno

La similitud de los resultados muestra que, si bien los diferentes valores de los parámetros cambiaron los resultados individuales (la humedad del suelo en el balde inferior durante el curso del modelo), el modelo general no se vio muy afectado.

En algunos casos, los modeladores experimentados pueden considerar el modelo y determinar que un conjunto de valores de parámetros compensatorios es más realista que otro. En otro caso, como este, cualquiera

de los conjuntos podría ser igualmente bueno y, dado que son efectivamente indistinguibles en términos de los resultados producidos, cualquiera puede usarse dentro del modelo WEAP. Como dice el dicho en inglés, hay muchas formas de despellejar a un gato.

## Consejos de calibración del modelo

### 14. Usar referencias relativas y supuestos clave para modelos grandes

- 1) Usar referencias relativas para parámetros para distintos tipos de uso de la tierra

Los modeladores experimentados de WEAP recomiendan configurar el modelo de manera que se reconozcan las diferencias que los tipos de uso del suelo pueden tener en los parámetros, mientras que un cambio de calibración para un parámetro se refleje proporcionalmente en todos los tipos de uso del suelo. Lo hacen con referencias relativas, un ejemplo de lo cual se ilustra en la siguiente tabla. Tenga en cuenta que la dirección de flujo preferida no usa esta estrategia en este ejemplo, ya que no puede superar un valor de 1. Saber cómo los tipos de uso de la tierra pueden diferir en sus características hidrológicas requiere una buena comprensión del área e, idealmente, mediciones, si están disponibles. También tenemos la opción de elegir diferentes valores para diferentes tipos de uso del suelo. No todas las variables cambian según el tipo de uso de la tierra; por ejemplo, las temperaturas de congelación y fusión son las mismas para toda la unidad hidrológica, y la cubeta inferior del Método de humedad del suelo es demasiado profunda para verse afectada por las diferencias de uso de la tierra en la superficie.

*Ejemplo de configuración de parámetros de calibración hidrológica*

	Kc	Factor de resistencia a la escorrentía	Dirección de flujo preferida	Conductividad radicular	Capacidad de agua del suelo
Agricultura	1.1 * Pastizales	2	0.85	20	1000
Bosque	1.25 * Pastizales	2 * Agricultura	0.85	Agricultura	2 * Agricultura
Pradera	1	1.5 * Agricultura	0.85	Agricultura	1.5 * Agricultura
Humedal	1.25 * Pastizales	3 * Agricultura	0.5	Agricultura	3 * Agricultura
Urbano	0.7 * Pastizales	0.5 * Agricultura	0,95	Agricultura	0.5 * Agricultura
matorral	Pradera	1.5 * Agricultura	0.85	Agricultura	1.5 * Agricultura
Vegetación estéril o escasa	0.8 * Pastizales	0,75 * Agricultura	0.9	Agricultura	0,75 * Agricultura
Agua abierta	Pradera	0.2 * Agricultura	0,95	Agricultura	0.2 * Agricultura
Nieve y hielo	0.5 * Pastizales	0.2 * Agricultura	0,95	Agricultura	0.2 * Agricultura

## 2) Utilice supuestos clave para modelos grandes

Puede ser tedioso editar valores por unidad hidrológica, especialmente cuando se trabaja con varias unidad hidrológicas que pueden tener los mismos valores dentro del tipo de uso del suelo. Para facilitar el proceso de calibración para modelos grandes, recomendamos estructurar sus parámetros de captación dentro de Supuestos clave. Si no está familiarizado con los supuestos clave, consulte el capítulo del Tutorial de WEAP: Herramientas básicas. De esta forma, puede editar fácilmente los parámetros de varias unidad hidrológicas a la vez.

Cuanto más unidad hidrológicas y tipos de uso de la tierra tenga un modelo, más útil será para estructurar los Supuestos clave para el proceso de calibración.

## 3) Usar el asistente de series temporales mensuales

El valor predeterminado para los parámetros es que cada uno tenga un valor para todo el año. Sin embargo, puede tener sentido cambiarlos por mes. Esto introduce 11 valores adicionales para modificar en el proceso de calibración para cada parámetro. Sin embargo, no todos los parámetros se prestan a

valores mensuales: es la superficie la que más se ve afectada por los cambios estacionales.

Existen razones particularmente convincentes para calibrar mensualmente las siguientes dos variables: factor de resistencia a la escorrentía y  $K_c$ . Si el follaje y la cobertura del suelo cambian a lo largo del año,  $K_c$  puede variar mensualmente y la cobertura del suelo puede desalentar la escorrentía (un factor de resistencia a la escorrentía más alto) durante algunos períodos de tiempo más que en otros.

Para calibrar en función de los valores mensuales, el examen de los promedios mensuales en los resultados mostrará para qué meses el modelo arroja un flujo por debajo del esperado y para qué meses por encima del flujo esperado.

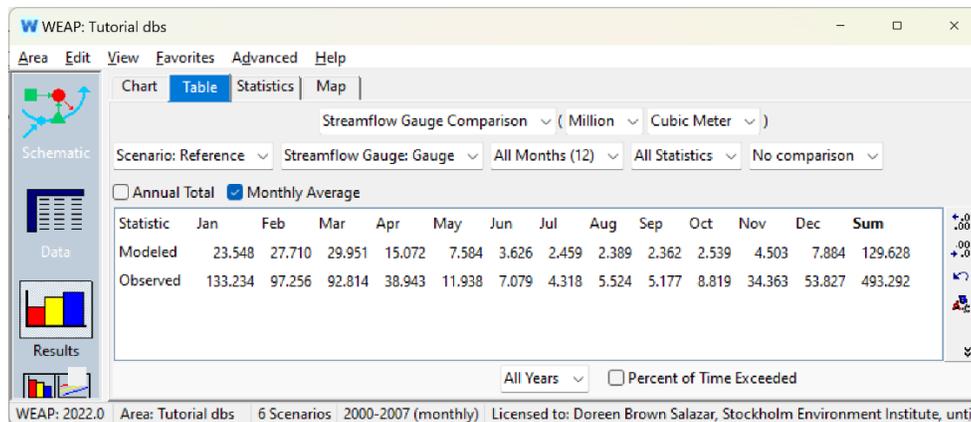
## 15. Use cálculos matemáticos para estimar la conductividad radicular y la conductividad profunda

### 1) *Conductividad radicular*

Un proceso que puede usar para estimar la conductividad radicular es:

- Identificar el caudal mensual más alto y el caudal mensual más bajo ( $m^3/mes$ ) en la serie temporal observada.
- Suponga que el caudal mensual más bajo representa el caudal base.
- Estimar el volumen de interflujo mensual ( $m^3/mes$ ) como un valor superior al caudal base e inferior a la escorrentía de aguas superficiales, usando el hidrograma lluvia-escorrentía como guía aproximada.
- Dividir el volumen de interflujo ( $m^3/mes$ ) por el área de la unidad hidrológica ( $m^2$ ) para obtener una estimación de la profundidad del interflujo ( $m/mes$ ).
- Use la ecuación:  $Q_i = k_s * Z_1^2$  (donde  $Q_i$  es la profundidad del interflujo,  $k_s$  es la conductividad radicular y  $Z_1$  es la saturación inicial del primer balde en el Método de humedad del suelo).

Revisar los valores promedio mensuales de caudal observado en MCM. El caudal promedio mensual más alto es de 133 MCM (enero) y el más bajo es de 4,3 MCM (julio). Supondremos que el caudal base es de 4,3 MCM y calcularemos la escorrentía superficial como el 20 % de 133 o 27 MCM.



Dado que el hidrograma de lluvia-escorrentía muestra que la escorrentía del río está bien correlacionada con la precipitación, gran parte de este volumen del río en la estación húmeda debería ser escorrentía superficial. Utilizamos un supuesto de punto de partida de un componente de interflujo mensual promedio de 12 millones de  $m^3$  (MCM) durante la temporada de lluvias.

El valor de 12 millones de  $m^3$  en un área de  $1500 \text{ km}^2$  se traduce en una profundidad equivalente de 8 mm/mes de interflujo:

$$\frac{12 * 10^6 \text{ m}^3}{\text{month}} * \frac{1}{1500 \text{ km}^2} * \frac{\text{km}^2}{10^6 \text{ m}^2} * \frac{1000 \text{ mm}}{\text{m}} = \frac{8 \text{ mm}}{\text{month}}$$

Luego conectamos este valor en la ecuación del método de humedad del suelo que calcula el flujo intermedio y lo usamos para calcular la conductividad de la zona radicular:

$$\text{Interflow} = (\text{Root Zone Cond.} * \text{Pref. Flow Dir.}) * Z_1^2$$

Donde el interflujo = 8 mm/ mes , la *dirección de flujo preferida* = 0,7 (bosque) y 0,6 (pastizales), y un valor estimado de *humedad relativa del suelo 1* (%) del 70 %.

Al reorganizar la ecuación anterior para resolver Observar la *conductividad de la zona radicular* y reemplazar los valores anteriores, se obtiene una *conductividad de la zona radicular* para bosques de 23,3 mm/mes y para pastizales de 27,2 mm/mes.

## 2) Conductividad profunda

Se puede utilizar un proceso similar para estimar la conductividad profunda.

Si supone que toda la unidad hidrológica suministra de manera uniforme los 4,3 MCM de flujo base y divide este bajo volumen de verano por el área total

de la unidad hidrológica (1500 km<sup>2</sup>), puede estimar la profundidad promedio equivalente de escorrentía de flujo base como 2,9 mm/mes.

$$\frac{4.3 * 10^6 m^3}{month} * \frac{1}{1500 km^2} * \frac{km^2}{10^6 m^2} * \frac{1000mm}{m} = \frac{2.9 mm}{month}$$

Podemos relacionar la profundidad de escorrentía del flujo base con la *conductividad profunda* y el cuadrado del almacenamiento relativo de la capa ( $Z_2$ ) usando la ecuación del método de humedad del suelo:

$$\begin{aligned} \text{average baseflow runoff depth (2.9 mm/mo)} \\ = \text{Deep Conductivity} * Z_2^2 \end{aligned}$$

Observando el resultado *Humedad relativa del suelo 2 (%)*, es difícil adivinar el almacenamiento relativo estable, promedio ya largo plazo de esta capa inferior ( $Z_2$ ). Tal vez haya cambiado ahora que la *capacidad de agua profunda* se ha reducido a la mitad. Aquí estimaremos  $Z_2$  ser del 30%. Calculamos un valor de 31 mm/mes y lo redondeamos a 30 mm/mes para nuestra estimación inicial de conductividad profunda.

## 16. Pasos de optimización de la calibración

El proceso de optimización de la calibración debe seguir estos pasos:

- 1) Exporte y copie los resultados en un documento separado para que pueda revisarlos después de cambiar los parámetros.
- 2) Cambiar los valores de los parámetros.
- 3) Ejecutar resultados.
- 4) Es posible que desee guardar versiones del modelo como su experimento para cambiar los valores de los parámetros. Puedes ir a **Área/Guardar versión** para guardar las que creas que son buenas. De esa forma, si sus esfuerzos de calibración producen algo que no es una mejora, puede volver a una versión anterior. Se recomienda guardar las versiones sin los resultados porque los resultados ocupan mucha memoria y siempre se pueden volver a calcular.
- 5) Repetir hasta que se cumplan sus criterios de calibración.
- 6) Revisar parámetros estadísticos

El ejemplo de este módulo demostró dos iteraciones del proceso de calibración manual; El programa de calibración automática PEST de WEAP se presenta en el Capítulo PEST de este Tutorial



---

**WEAP**

Sistema de Evaluación y Planificación del Agua

# Hidrología de la nieve

*Un tutorial para*

<i>Explorar el modelo preexistente .....</i>	<i>280</i>
<i>Ingresar el clima y los datos de calibración de la cuenca .....</i>	<i>282</i>
<i>Explorar la sensibilidad del modelo .....</i>	<i>287</i>
<i>Calibrar con PEST .....</i>	<i>290</i>
<i>Apéndice .....</i>	<i>294</i>

**noviembre 2023**

**Nota:**

Para este módulo, deberá haber completado los módulos anteriores "WEAP en una hora", "herramientas básicas" y "escenarios" o tener un conocimiento equivalente de WEAP (poder trabajar con la estructura de datos, los supuestos clave, el generador de expresiones, y la creación de escenarios). Para comenzar este módulo, en el WEAP Area: Tutorial, desde el menú principal, seleccionar "Volver a la versión" y elegir la versión denominada "Starting Point for Snow Hydrology and PEST Calibration module".

Este ejercicio lo familiarizará con las rutinas de acumulación y derretimiento de nieve de WEAP del Método de humedad del suelo (SMM por sus siglas en inglés). Además, aprenderá a usar PEST para ayudar a automatizar el proceso de calibración del modelo. Para este ejercicio, modelaremos el caudal de un río producido en una montaña nevada cercana. En general, es una buena idea dividir las cuencas por bandas de elevación para ingresar datos de temperatura porque la temperatura generalmente disminuye con el aumento de la elevación.<sup>1</sup> Sin embargo, para este ejemplo, asumimos que hay suficiente uniformidad en el área para justificar la modelación adecuada con una sola cuenca y que hay un medidor de nieve dentro del área de esta cuenca.

## Explorar el modelo preexistente

Al colaborar con otros modeladores, es importante saber cómo explorar modelos preexistentes.

El módulo tutorial de nieve es un modelo histórico que utiliza pasos de tiempo semanales. Esto significa que hemos ingresado datos en el modelo para acomodar el intervalo de tiempo semanal en lugar de un intervalo de tiempo mensual.

El uso de un modelo semanal asume que estamos viendo una escala espacial más pequeña que un modelo con un período de tiempo mensual, porque WEAP asume que tomará una semana para que el agua ingrese al flujo de cabeza del modelo para llegar al flujo de salida del modelo. Por lo tanto, los

---

<sup>1</sup>El aire seco se enfría a unos 10 °C/km (la "tasa de variación adiabática seca"), mientras que el aire húmedo suele enfriarse a menos de 6 °C/km (la "tasa de variación adiabática húmeda").

modelos semanales y mensuales no deberían ser intercambiables; sin embargo, hemos hecho el cambio para este ejemplo.

*Seleccione Menú principal > General/Años y Pasos de tiempo*

*Revise la estructura del modelo.*

Incrementos de años y tiempos

Horizonte de tiempo

Año de Cuentas corrientes: 1982

Último Año de Escenarios: 2000

Pasos de Tiempo por Año

52

¿Agregar Días Bisiestos?

Límite del incremento de tiempo

Basado en un calendario mensual

Todos los pasos de tiempo son de igual longitud

Establezca la longitud del incremento de tiempo

Año de Inicio del Agua.

Oct 1

#	Título	Abreviar	Longitud	Inicio	Final
1	Oct 1	Oct 1	7	Oct 1	Oct 7
2	Oct 8	Oct 8	7	Oct 8	Oct 14
3	Oct 15	Oct 15	7	Oct 15	Oct 21
4	Oct 22	Oct 22	7	Oct 22	Oct 28
5	Oct 29	Oct 29	7	Oct 29	Nov 4
6	Nov 5	Nov 5	7	Nov 5	Nov 11
7	Nov 12	Nov 12	7	Nov 12	Nov 18
8	Nov 19	Nov 19	7	Nov 19	Nov 25
9	Nov 26	Nov 26	7	Nov 26	Dic 2

Formato Nombre Paso de Tiempo: Oct 1 (Primer dato)

El periodo de estudio será de Oct 1, 1981 a Set 24, 2000.

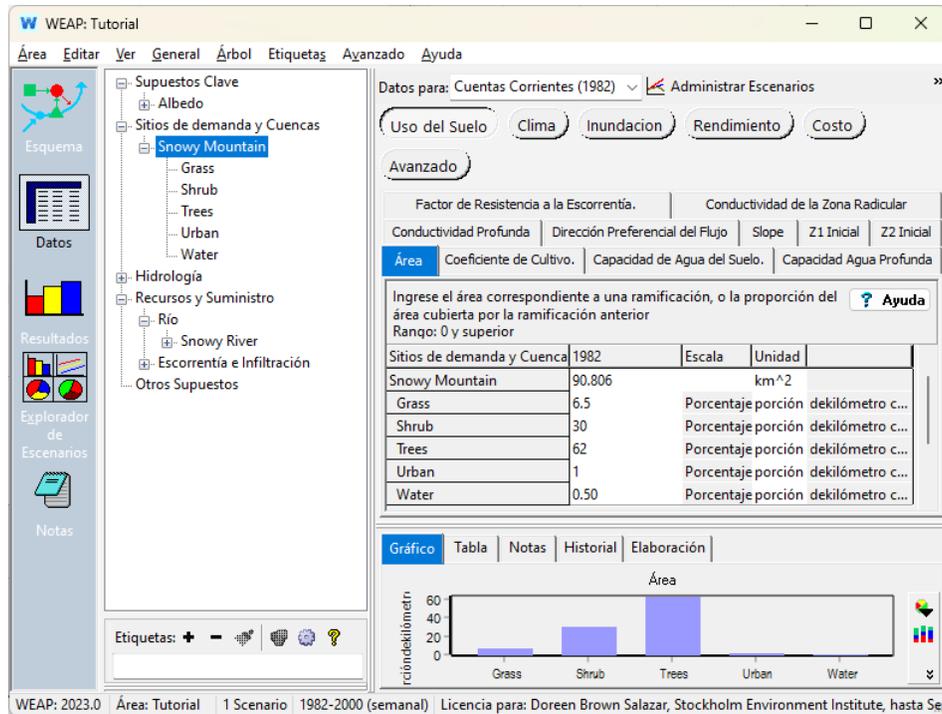
Ayuda

Cerrar

No solo es un modelo semanal, sino que comienza el 1 de octubre de 1981. Los años de agua en los Estados Unidos generalmente comienzan en octubre. Si desea, también puede explorar las opciones de formatos disponibles para etiquetar las distintas semanas del modelo con el menú desplegable "Formato nombre paso de tiempo"; en este caso está seleccionado el formato Oct 1 (la primera fecha de la semana).

*Cierre la ventana y acceda a la Vista de datos para revisar los datos en la cuenca "Snowy Mountain".*

La superficie de la cuenca está dominada por la categoría de cubierta "trees" (árboles – con un 62% de la superficie total).



Las variables Área, Kc, Capacidad de Agua del Suelo, Capacidad de Agua Profunda, Conductividad Profunda, Flujo Preferido, Z1 Inicial, Z2 Inicial, Factor de Resistencia al Esguerrimiento y Conductividad de la Zona Radicular ya tienen datos ingresados. La mayoría de las variables de la zona radicular (cubo superior) tienen el mismo valor para los diferentes tipos de uso del suelo, con la notable excepción del factor de resistencia a la escorrentía.

También vemos que en Supuestos clave, el creador del modelo estableció un variable albedo, con valores para dos sub-variables: NewSnow y OldSnow (explicados a continuación).

## Ingresar el clima y los datos de calibración de la cuenca

### 1. Introducir datos climáticos

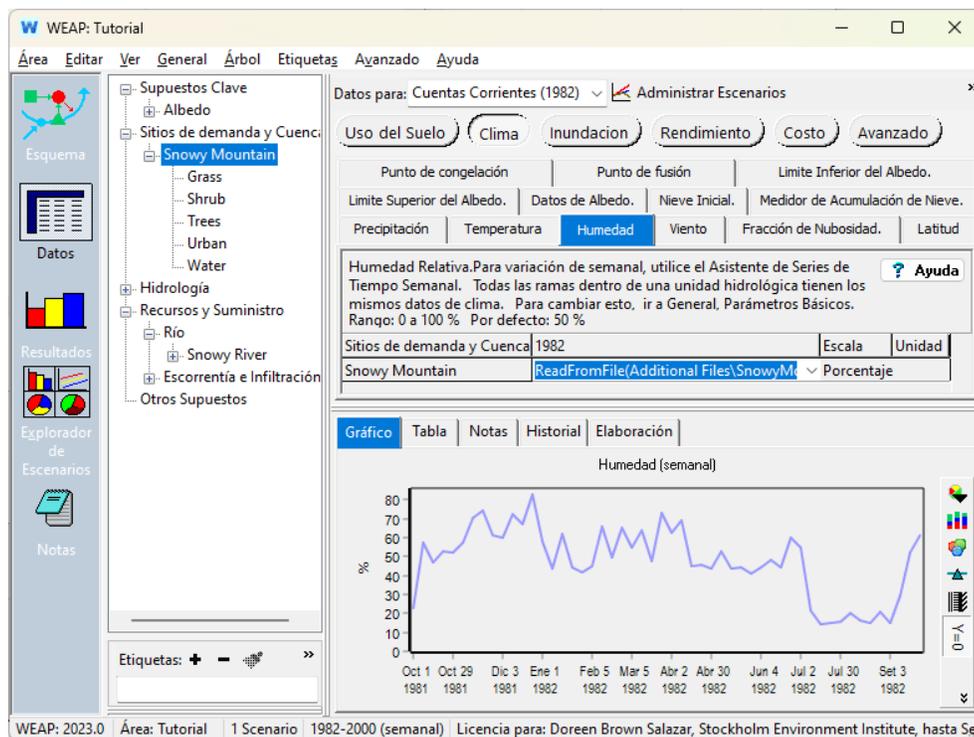
Los datos climáticos se pueden encontrar en un archivo llamado SnowyMountain.csv en la carpeta WEAP Tutorial\Additional Files. Puede ver

este archivo como un ejemplo de un formato de datos para un modelo semanal.

*Use la función ReadFromFile para ingresar datos de precipitación (columna de datos 1), temperatura (columna de datos 2) y humedad (columna de datos 3) para Snowy Mountain. Puede usar el asistente Asistente de Lectura Desde Archivo para ayudarlo a construir la expresión o escribir la expresión directamente.*

Relative Humidity. For weekly variation, use Weekly Time-Series Wizard. All branches within a catchment have the same climate data. To change this, go to General, Basic Parameters. Range: 0 to 100 %

Demand Sites and Catchment	1982	Scale	Unit
Snowy Mountain	ReadFromFile(Additional Files\SnowyMountain.csv, "Humidity[%]")	Percent	



*Ingrese los datos para*

**Punto de congelación**      **-5 °C (predeterminado)**

**Punto de fusión**              **10°C**

Los datos de viento, fracción de nubosidad y latitud ya están ingresados.

El albedo (es decir, la reflectancia de la superficie) es un parámetro muy importante para las rutinas con nieve. Controla la radiación neta disponible para el derretimiento de la nieve. En esta región, el albedo de la nieve antigua debe distinguirse del albedo de la nieve nueva. El albedo de la nieve vieja es menor (ya que se ensucia más) que la nieve nueva.

*Seleccionar la pestaña de datos de Albedo. Usar el Generador de expresiones para introducir la ecuación:*

```
If(PrevTSValue(Snow Depth[m])=0, Limite Inferior del Albedo.,
  PrevTSValue(Snow Depth[m],1)>PrevTSValue(Snow Depth[m],2),
  Key\Albedo\NewSnow,
  Max(PrevTSValue(Datos de Albedo.)-0.1, Key\Albedo\OldSnow))
```

Para el viento, ingrese la siguiente expresión:

```
WeeklyValues( Oct 8, 2.06, Nov 19, 2.21, Ene 1, 2.24, Ene 29, 2.5, Feb 26, 2.68,
  Mar 26, 3.14, Abr 23, 3.36, May 21, 3.4, Jun 18, 3.21, Jul 16, 2.95, Ago 13, 2.65,
  Set 10, 2.3 )
```

Ahora hemos introducido a WEAP expresiones de valores de albedo para tres circunstancias:

- 1) Si el paso de tiempo anterior no tuvo nieve, entonces Albedo = Límite inferior de Albedo, que por defecto es 0.15
- 2) De lo contrario, si el paso de tiempo anterior tenía nieve nueva (la profundidad de la nieve en el paso de tiempo anterior es mayor que dos pasos de tiempo antes), entonces Albedo = "NewSnow" = 0.8
- 3) De lo contrario, Albedo = albedo en el paso de tiempo anterior menos 0,1 (pero no menos que OldSnow = 0,4).

Tenga en cuenta que los valores de albedo de NewSnow y OldSnow se encuentran en los Supuestos clave y se pueden cambiar para ayudar a que el modelo se ajuste mejor a los datos observados. El Apéndice de este módulo explica esta ecuación en más detalle.

## 2. Introducir datos de nieve observados

Ahora agregaremos datos de acumulación de nieve del medidor de nieve Snowy Mountain. Este indicador está ubicado dentro de la cuenca de Snowy Mountain.

En la cuenca de Snowy Mountain, en Clima > Medidor de acumulación de nieve.

*Use Asistente de Lectura Desde Archivo para leer los datos de SnowGauge.csv (en la subcarpeta "Additional Files" de la carpeta Tutorial)*

Tenga en cuenta que a este archivo faltan algunos datos, por lo que en el asistente Asistente de Lectura Desde Archivo, donde dice "Método de valor faltante", WEAP utiliza por defecto el método "Marcar", lo que deja el valor de los datos vacío. Puede leer sobre este tema en el menú Ayuda sobre el asistente Asistente de Lectura Desde Archivo.

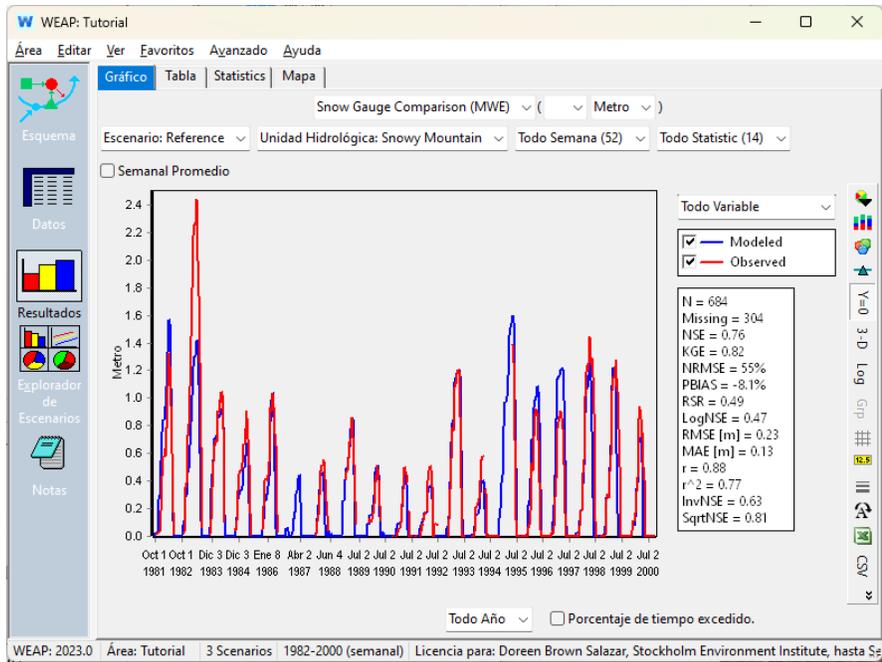
La expresión aparecerá como:

Historic data of snow accumulation (snowpack), to be used in calibration. Measured in melt water equivalent (MWE) depth. For weekly variation, use Weekly Time-Series Wizard. All branches within a catchment have the same climate		? Help	
Range: 0 and higher			
Demand Sites and Catchment		Scale	Unit
Snowy Mountain	ReadFromFile(Additional Files\SnowGauge.csv, "SnowGauge[mm]", , , , Mark)		mm

## 3. Observar los resultados

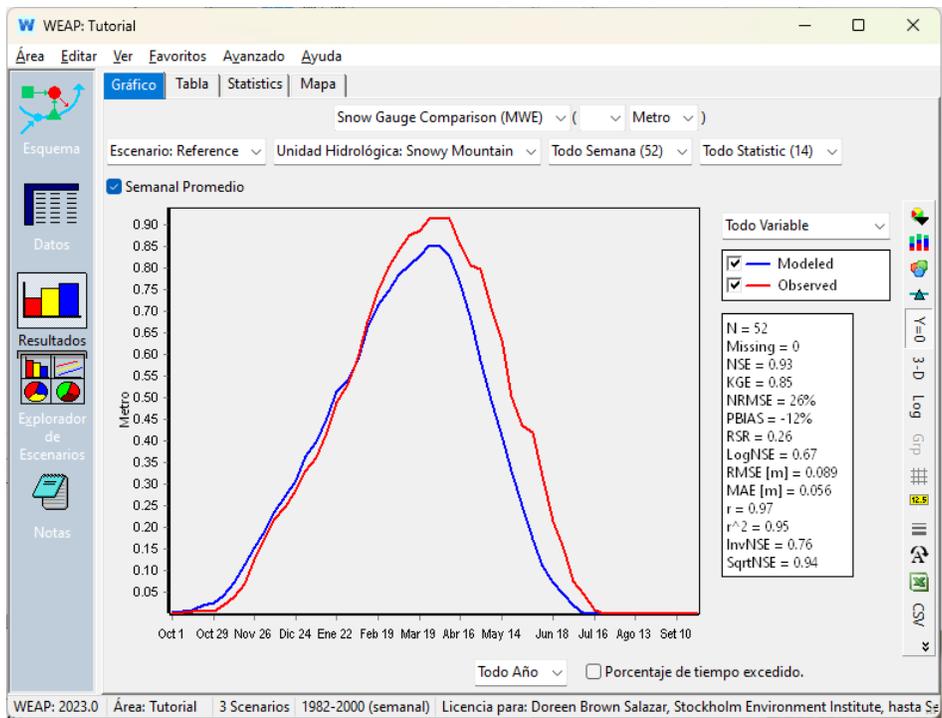
*Ejecutar el modelo y explorar los resultados.*

*Seleccione el resultado Snow Gauge Comparison*



*Guardar el gráfico como favorito*

Observar los mismos datos en el formato de promedio semanal.



Aquí podemos ver que, en general, los valores modelados de WEAP para la profundidad de la nieve son demasiado altos entre octubre y febrero y luego demasiado bajos hasta julio, cuando la nieve se derrite por completo. En comparación con el valor observado, el modelo está produciendo y derritiendo nieve demasiado pronto.

## Explorar la sensibilidad del modelo

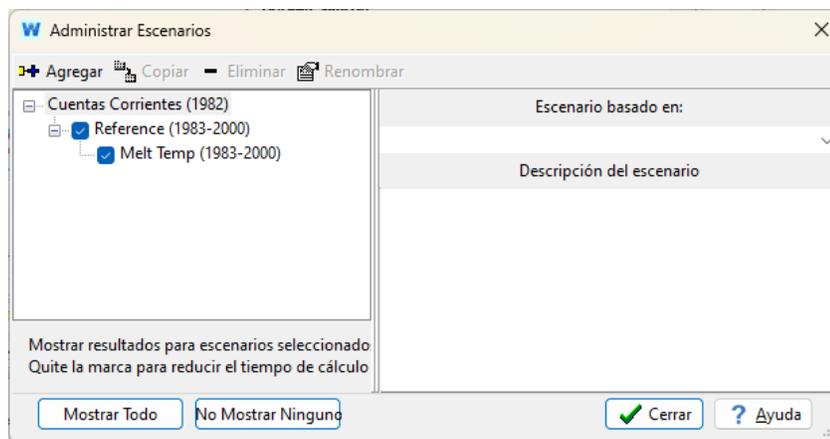
Ahora que tiene un modelo inicial con datos, puede explorar la sensibilidad de los resultados del modelo a los cambios en los parámetros.

Para explorar la sensibilidad del modelo, primero creará un nuevo escenario en el que modificará los valores de los parámetros. Luego podrá comparar los resultados del nuevo escenario con los resultados del escenario de "referencia" y ver los impactos de los cambios.

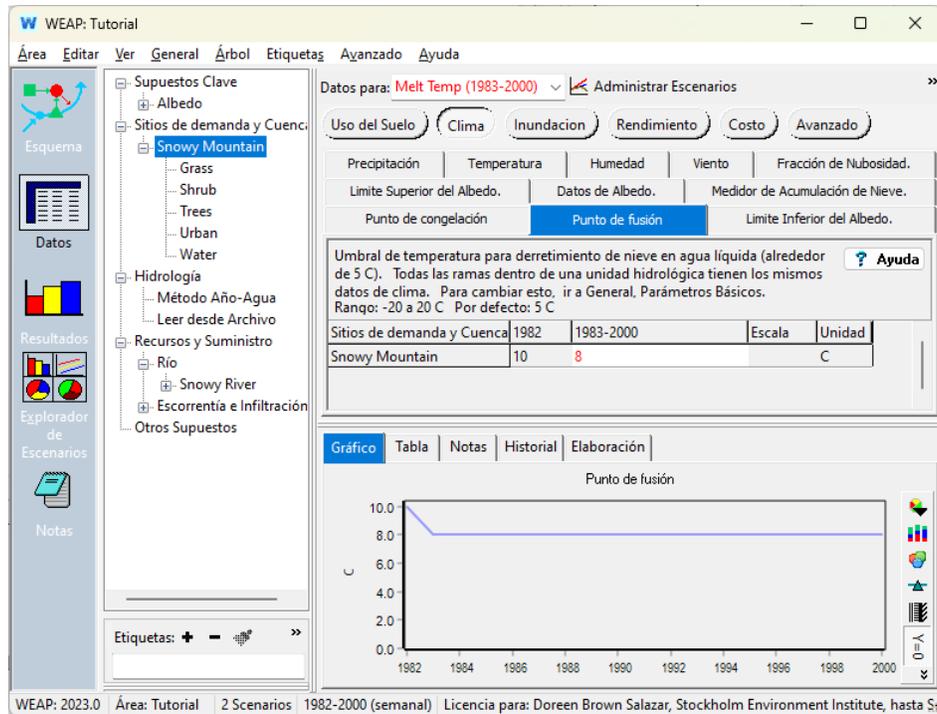
### 4. Cambios manuales dentro de un escenario

Primero examinaremos los impactos de cambiar el parámetro del punto de fusión de la nieve.

*Agregue un nuevo escenario heredado de Reference llamado "Melt Temp".*



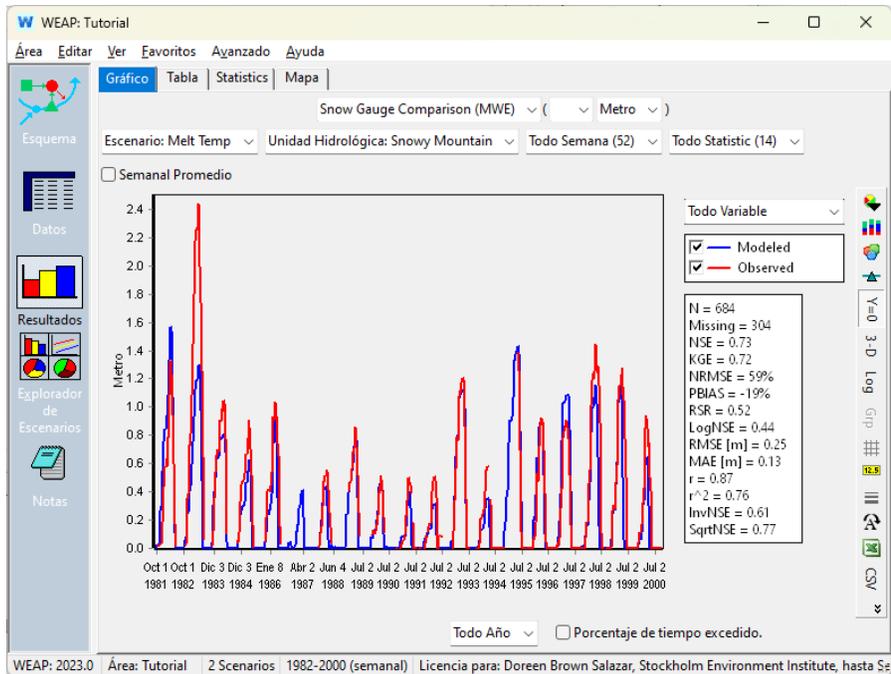
*En la cuenca de Snowy Mountain, en el escenario Melt Temp, cambie el valor del "Punto de fusión" a 8. Antes de ejecutar el modelo, piense en cómo espera que esto cambie los resultados.*



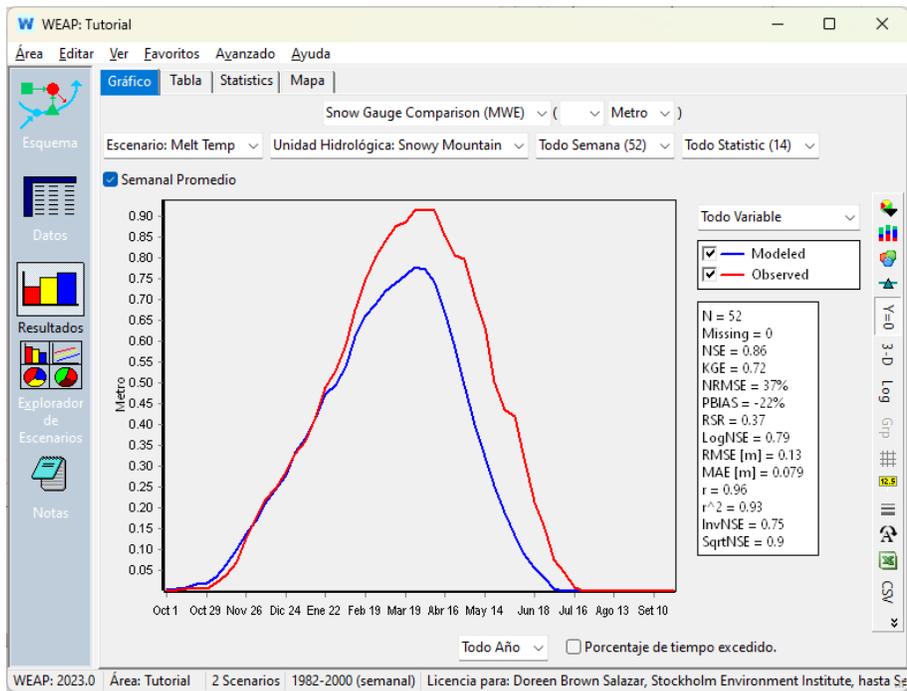
*Ejecute el modelo haciendo clic en Resultados.*

Podemos comparar la acumulación de nieve con la nieve modelada para ambos escenarios.

*En Favoritos, elija el gráfico con acumulación de nieve vs. calibre. Observar los resultados para el escenario Melt Temp*



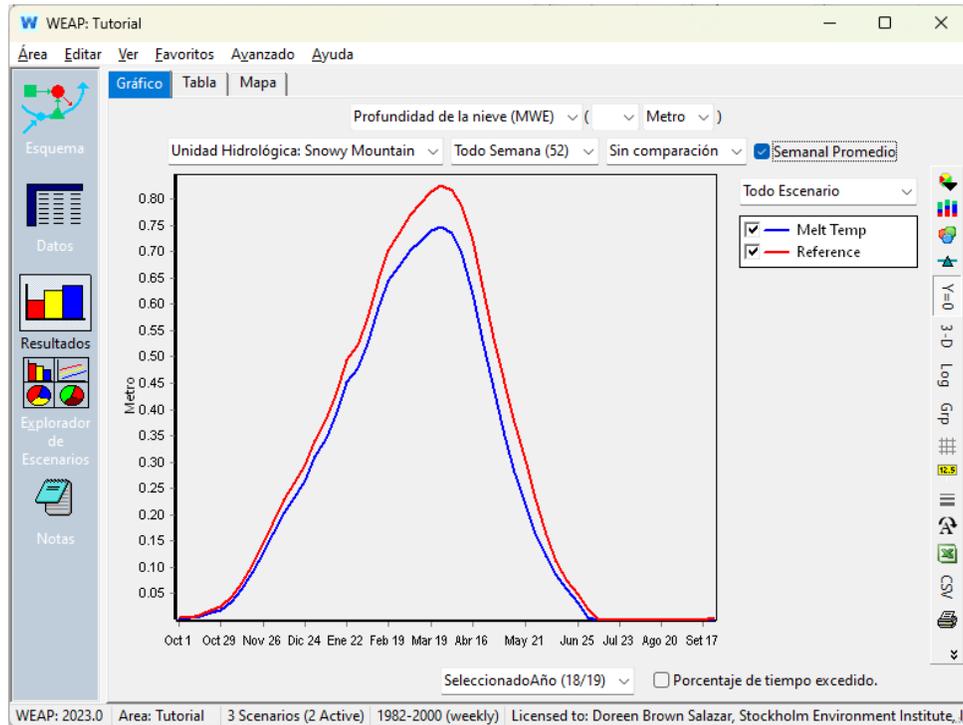
*Observar como el promedio semanal.*



La temperatura de fusión más baja reduce el rango de temperatura en el que el agua puede existir como nieve. Por lo tanto, la acumulación de nieve es menor. Entre octubre y enero, esto produce resultados similares a los

observados de acumulación de nieve, pero después de enero, vemos que la nieve se está derritiendo demasiado pronto, como en el escenario de referencia. Pero, ¿cómo se comparan entre sí?

*Elija "Profundidad de la nieve" en el menú desplegable arriba del grafico y "Todo escenarios" en el menú desplegable en el lado derecho de la pantalla.*



En nuestro escenario de "Temperatura de fusión", la nieve se derrite incluso antes que en el escenario de referencia.

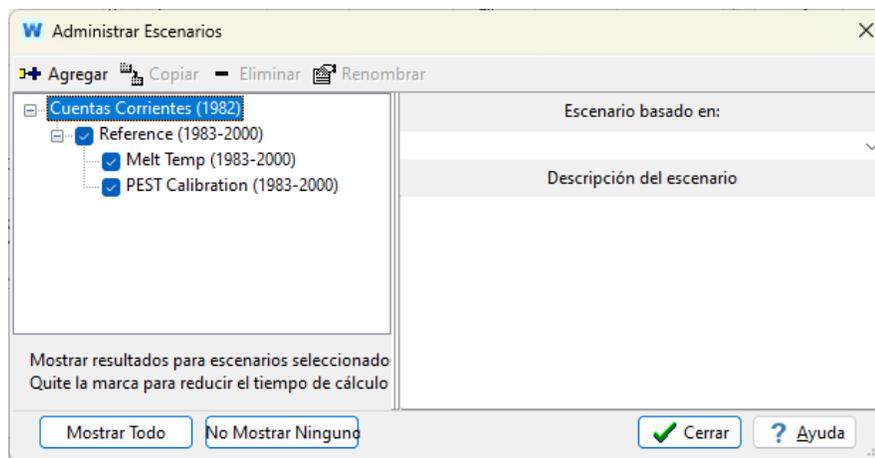
Al examinar los impactos de cambiar diferentes parámetros, es útil comenzar con un cambio bastante sustancial (unos pocos grados C) para tener una idea de cómo afectará al modelo. Luego puede seleccionar una magnitud de cambio más apropiada. Esta actividad se puede realizar tanto para la temperatura de congelación como para cambios en otros parámetros.

## Calibrar con PEST

WEAP se vincula a una herramienta de estimación de parámetros (PEST por sus siglas en ingles) que puede ayudar a producir resultados que coincidan con los registros de datos históricos mediante el examen de una gama de

valores de parámetros y combinaciones de los mismos. Con PEST, el usuario puede seleccionar qué parámetros calibrar para que el modelo produzca resultados de valores simulados más cercanos a los valores históricos observados, por ejemplo de: caudales, profundidad de nieve, o volúmenes de embalses. Una calibración PEST produce combinaciones de valores de parámetros para permitir que los resultados del modelo se aproximen a los datos observados. PEST no siempre encontrará las mejores soluciones, pero puede ser un buen punto de partida. Para obtener más información sobre PEST, consulte el menú de ayuda de WEAP: (Calibración de PEST) o visite [www.pesthomepage.org](http://www.pesthomepage.org).

*Crear un nuevo escenario llamado "Calibración PEST" que herede de Referencia*



*Abrir Calibración PEST (Avanzado > Calibración PEST).*

*Ingresar la siguiente información (usar el botón "+ Agregar" para agregar cada variable:*

<u>Variable</u>	<u>Límite inferior</u>	<u>Límite superior</u>	<u>Valor Inicial</u>
Punto de fusión	0	10	5
Punto de congelación	-10	0	-5

*Cuencas (con datos de manto de nieve): Snowy Mountain*

*Años: 1983-2000 (Abrir el menú "Seleccionados", seleccione todo, luego deseccione '82)*

*Escenarios para Calibrar: PEST Calibration*

*Modificar parámetros en Cuentas Corrientes: Deseleccionar*

*Normalizar datos de observación: Deseleccionar*

Calibración usando PEST.

Conjunto de Calibración: PEST Calibration

Parámetros a Calibrar

Parámetro	Limite Inferior	Limite Superior	Valor Inicial
Freezing Point[C]	-10	0	-5
Melting Point[C]	0	10	5

Observaciones para Calibrar con

Medidores de Caudal: Nada Definido

Embalses (con datos observados): Nada Definido

Llanuras (con datos de capa de nieve): Snowy Mountain

años: Seleccionado

Semanas: Todo

Opciones

Escenario a Calibrar: PEST Calibration

Modificar los parámetros también en las Cuentas Corrientes

Normalizar los datos de observación

Ejecutar PEST después de crear los archivos PEST de entrada

Construir archivos y ejecutar PEST

Cuando WEAP normaliza los datos de observación, PEST utilizará el recíproco de cada valor de observación como su peso. Por ejemplo, si las observaciones fueran 10, 30 y 25, los pesos serían  $1/10$ ,  $1/30$  y  $1/25$ . Esta ponderación garantizará que los valores más grandes, como los caudales de inundación en el río, no superen a los valores más pequeños, como los caudales bajos. Esta opción es esencial cuando se calibran simultáneamente diferentes tipos de observaciones (p. ej., caudal y almacenamiento de embalses), porque los dos tipos no son comparables (diferentes unidades, o pueden tener muchos órdenes de magnitud diferentes). También es útil al calibrar el flujo de la corriente, de modo que los flujos bajos tengan el mismo peso que los flujos altos. Sin embargo, actualmente solo tenemos un registro de observación, y veremos qué resultados produce PEST cuando no está normalizando flujos grandes y pequeños.

*Haga clic en “Construir archivos y ejecutar PEST”.*

PEST tomará el control, ejecutando el modelo muchas veces.

Una vez que se detenga, los resultados de los valores de los parámetros finales encontrados por PEST se mostrarán en el Explorador de escenarios. También puede verlos en la vista de datos para el escenario de calibración de PEST.

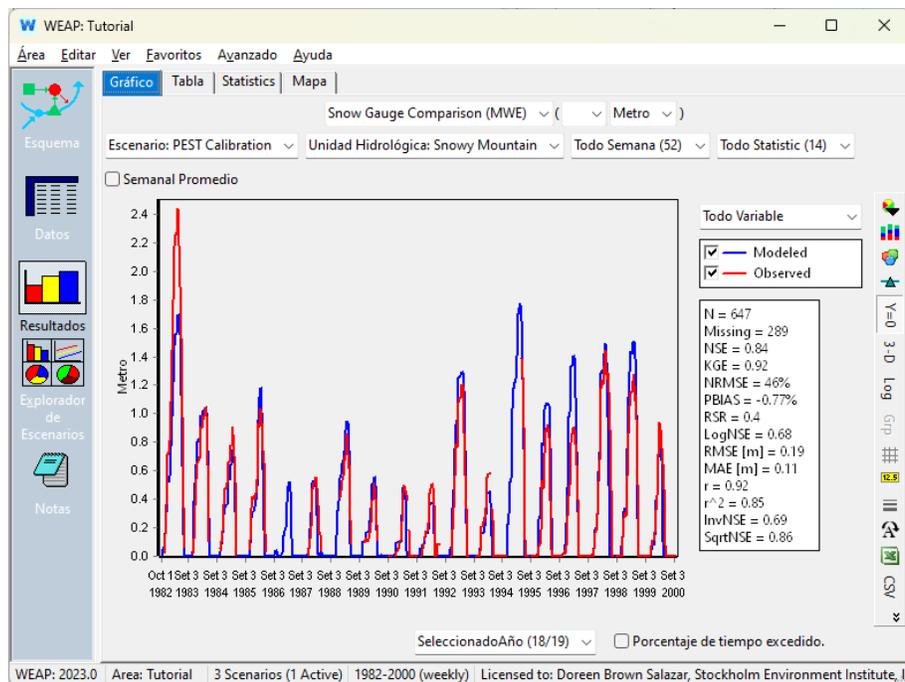
*¿Cuáles fueron los valores PEST para estos parámetros?*

Puede recibir resultados ligeramente diferentes. Nuestros resultados fueron:

Parámetro	Valor de calibración PEST
Umbral de fusión	6.29
Umbral de congelación	-1.38

*Ejecute los resultados.*

*¿Cómo es la simulación de nieve en comparación con los valores observados? ¿Es mejor o peor que el escenario de referencia (sin calibrar)?*



## Apéndice

Este modelo utilizó una ecuación personalizada para la evolución del albedo de la nieve. **Tenga en cuenta que la misma ecuación NO debe usarse en otras regiones. Tendrá que averiguar qué tiene sentido en su propia región geográfica y período de tiempo.**

Primero, le diremos a WEAP que si el paso de tiempo anterior no tuvo nieve, WEAP usará un valor de Albedo de Límite inferior de Albedo (que por defecto es 0.15). Al comienzo del modelo, no hay un paso de tiempo previo, pero hay un parámetro llamado "Nieve inicial" que WEAP usará como la profundidad de la nieve del paso de tiempo antes de que comience el modelo. El usuario puede establecer este valor de acuerdo con las circunstancias de su sistema al comienzo del período de tiempo del modelo .

Para decirle a WEAP el valor de albedo sin nieve, usaremos la declaración "If", en el formato *If( prueba 1, valor si la prueba 1 es verdadera, prueba 2, valor si la prueba 2 es verdadera, ..., valor si todas las pruebas son FALSO)*.

*If( PrevTSValue (Snow Depth [m])=0, límite inferior de albedo,*

Ahora tenemos que decirle a WEAP qué hacer si hubo nieve en el paso de tiempo anterior. Queremos determinar si había nieve nueva o nieve vieja, ya que tienen diferentes valores de albedo. Como parte de la *prueba 2* de nuestra declaración "Si", le preguntaremos a WEAP si la profundidad de la nieve en el período de tiempo anterior es mayor que la profundidad de la nieve en el período de tiempo anterior a eso. Los valores 1 y 2 en esta expresión PrevTSValue indican cuántos pasos de tiempo anteriores se deben buscar (uno o dos). En el caso de que la nieve fuera mayor en el paso de tiempo más reciente, WEAP le dará a Albedo el valor de NewSnow de los Supuestos clave, que fue 0,8 en este ejercicio.

*If( PrevTSValue (Snow Depth [m])=0, límite inferior de albedo,  
PrevTSValue (Snow Depth [m], 1)> PrevTSValue Snow Depth [m], 2),  
Key\Albedo\ NewSnow ,*

Sin embargo, en el caso de que hubiera nieve, pero no fuera nieve nueva, debemos decirle a WEAP cómo calcular el valor de Albedo. Este será el *valor si todas las pruebas son* parte falsa de la declaración "Si". Le pediremos que elija el máximo de dos valores:

- 1) El albedo del paso de tiempo anterior menos 0.1

## 2) El albedo de la suposición clave OldSnow (0.4)

```
If( PrevTSValue (Snow Depth [m])=0, límite inferior de albedo,  
    PrevTSValue (Snow Depth [m], 1)> PrevTSValue (Snow Depth [m], 2),  
    Key\Albedo\ NewSnow ,  
    Max( PrevTSValue (Albedo)-0.1, Key\Albedo\ OldSnow ))
```

Por lo tanto, si hay nieve en el suelo, el valor de Albedo estará entre 0,4-0,8, dependiendo de cuánto tiempo haya pasado desde la última nevada nueva. Después de que se haya derretido la última nieve, el albedo caerá a 0,15.



---

# WEAP

Sistema de Evaluación y Planificación del Agua

# Glaciares

*Un tutorial para*

<i>Como modelar un glaciar .....</i>	<i>298</i>
<i>Ingresar al clima de la cuenca .....</i>	<i>299</i>
<i>Efecto de las temperaturas de enfriamiento.....</i>	<i>303</i>
<i>Efecto del calentamiento de las temperaturas.....</i>	<i>307</i>
<i>Sensibilidad al parámetro coeficiente de radiación.....</i>	<i>310</i>

**noviembre 2023**

**Nota:**

Para este módulo, deberá haber completado los módulos anteriores ("WEAP en una hora, herramientas básicas y escenarios) o tener un conocimiento equivalente de WEAP (estructura de datos, supuestos clave, generador de expresiones, creación de escenarios). Para comenzar este módulo, en el WEAP Area: Tutorial, vaya al menú principal, seleccione "Volver a la versión" y elija la versión denominada "Punto de partida para el módulo Glacier".

En esta actividad, mostraremos cómo las severas condiciones climáticas que conducen a la acumulación o derretimiento de hielo se manifiestan en la formación o desaparición de un glaciar. Después de modelar un glaciar en sus condiciones reales, se exploran dos escenarios adicionales de condiciones de enfriamiento y calentamiento. Además, se realiza un análisis de sensibilidad simple con respecto al coeficiente de radiación para investigar el impacto de este parámetro en el derretimiento de los glaciares.

## Como modelar un glaciar

Para este ejercicio, modelaremos la glaciación de una capa de nieve existente que representa el estado inicial del glaciar. Como hicimos en el ejercicio de hidrología de la nieve, supondremos suficiente regularidad en el área para un estudio de caso de una sola cuenca.

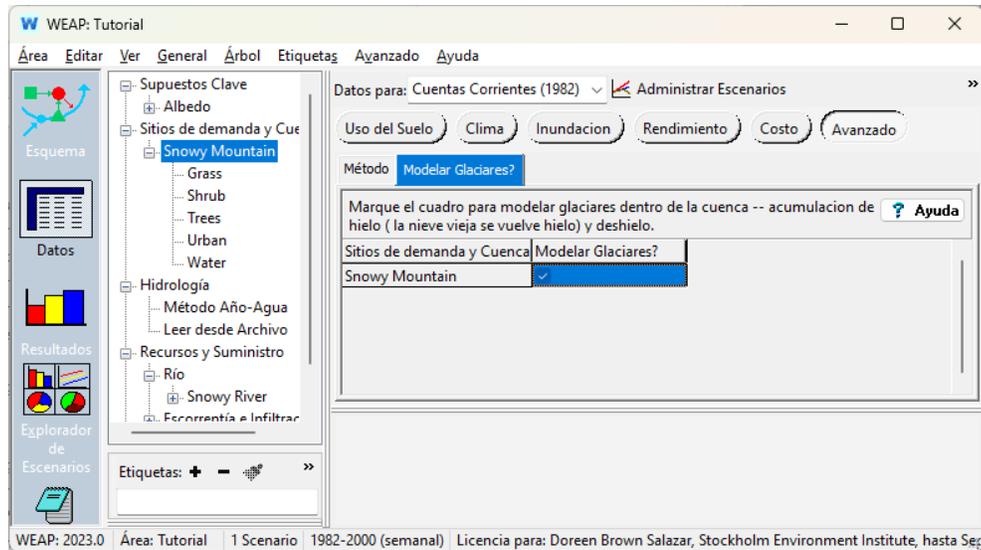
### 1. Configurar el modelo para incluir glaciares

Con la cuenca de captación "Snowy Mountain" seleccionada en Datos, debería encontrar "Modelo de glaciares". en la pestaña "Avanzado".

*Avanzado > ¿Modelar glaciares?*

*Marque la casilla bajo "¿Modelar glaciares?".*

Ahora puede ver que se ha generado una nueva pestaña llamada "Glaciar" junto a la pestaña "Clima". (Es posible que deba hacer clic en una pestaña diferente para que aparezca la pestaña Glaciar).



# Ingresar al clima de la cuenca

## 2. Cambiar años de modelo e ingresar datos climáticos

Los datos climáticos se pueden encontrar en un archivo llamado Glacier.csv en la carpeta WEAP Tutorial\Additional Files. Puede ver este archivo como un ejemplo de un formato de datos para un modelo semanal. Usaremos un modelo semanal con un año hidrológico que comienza el 1 de octubre, como hicimos con el capítulo Hidrología de la nieve. Verá que los datos comienzan en el año hidrológico 2011 y terminan en 2033.

Cambie los años modelados para que comiencen en 2012 y finalicen en 2030 (en General\Años y pasos de tiempo).

Establezca la temperatura del punto de fusión en 10 ° C (el valor predeterminado es 5 °C) en la pestaña Clima de Snowy Mountain.

Revise la siguiente fórmula para el albedo (también en la pestaña de clima), descrita e ingresada en el capítulo Hidrología de la nieve:

$$\text{If}(\text{PrevTsv}(\text{Snow Depth}[m])=0, \text{Limite Inferior del Albedo}, \sim \text{PrevTsv}(\text{Snow Depth}[m],1) > \text{PrevTsv}(\text{Snow Depth}[m],2), \sim \text{Key}\backslash\text{Albedo}\backslash\text{NewSnow}, \sim \text{Max}(\text{PrevTsv}(\text{Datos de Albedo})-0.1, \text{Key}\backslash\text{Albedo}\backslash\text{OldSnow}))$$

Use la función Asistente de Lectura Desde Archivo para ingresar datos de precipitación (columna de datos 1), temperatura (columna de datos 2) y humedad (columna de datos 3) para Snowy Mountain. Puede usar el asistente Asistente de Lectura Desde Archivo para ayudarlo a construir la expresión, o escribir la expresión directamente:

```
ReadFromFile(Additional Files\Glacier.csv, "Precipitation[mm]")
```

```
ReadFromFile(Additional Files\Glacier.csv, "Temperature[C]")
```

```
ReadFromFile(Additional Files\Glacier.csv, "Humidity [%]")
```

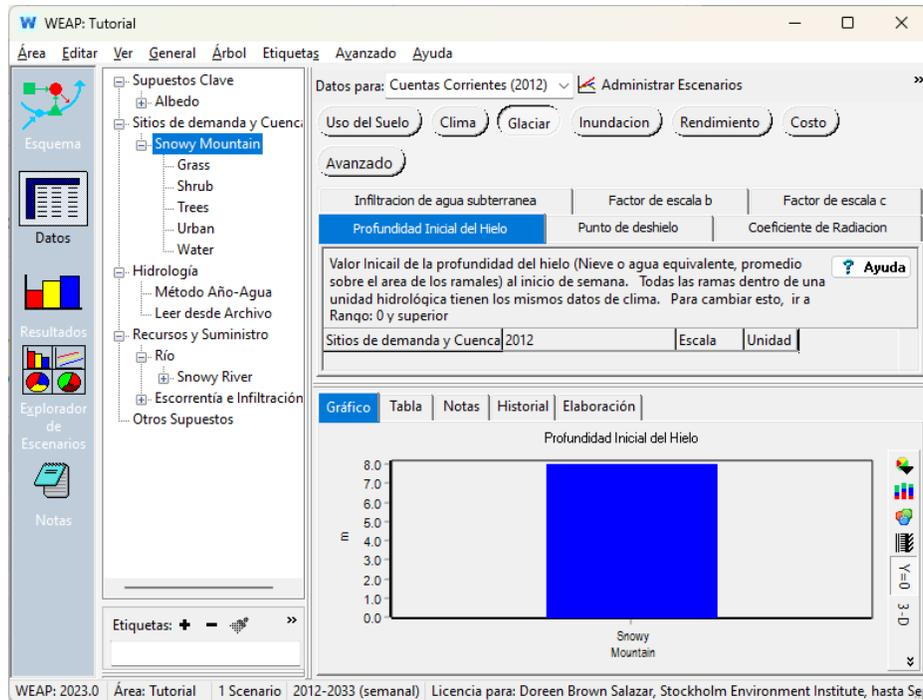
Mantendremos las pestañas restantes bajo "Clima" en los mismos valores predeterminados.

### **3. Ingresar los datos del glaciar**

La mayoría de los parámetros de la pestaña "Glaciar" ya tienen valores predeterminados (es decir, Punto de fusión del hielo: 1 °C, Coeficiente de radiación: 50 %,...).

Para este ejemplo:

Ingrese una profundidad de hielo inicial de 8 m como se indica.

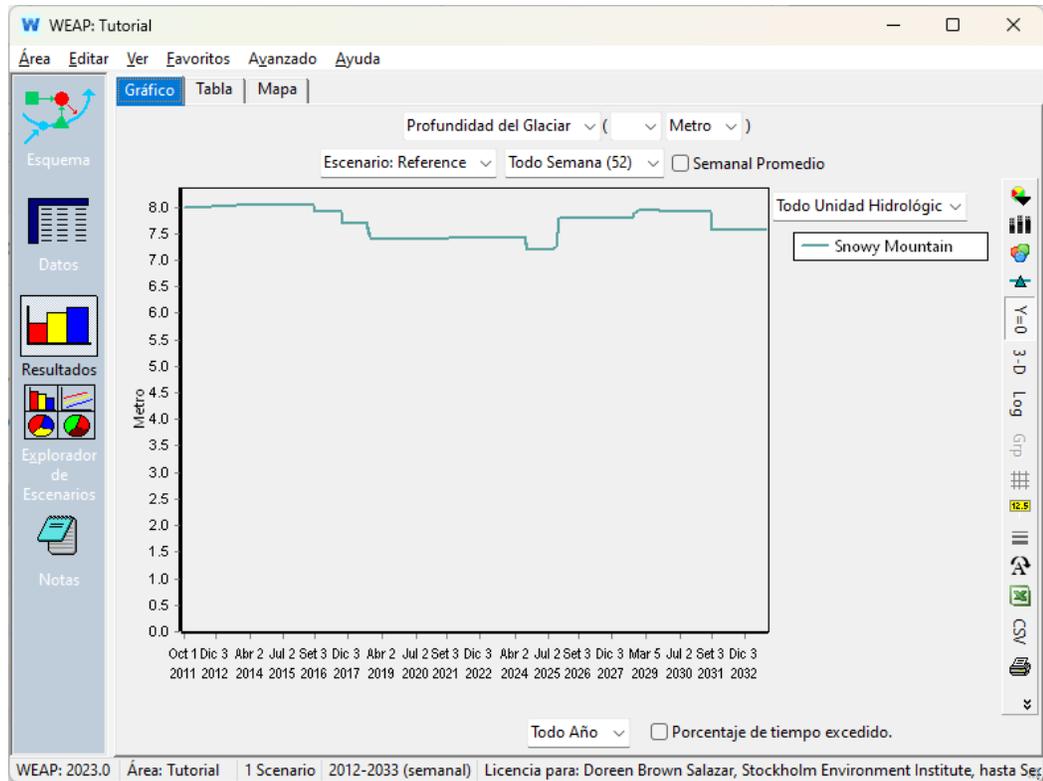


Los factores de escala (b y c) son dos parámetros que se utilizan para relacionar el volumen de hielo glacial con el área glacial. Los dejaremos en los valores predeterminados (1.36 y 0.048) que se derivaron de un análisis de 144 glaciares en todo el mundo (Bahr, DB, MF Meier y SD Peckham, "The Physical Bases of Glacier Volume-Area scaling", J Geophys Res. 102 (B9): 20355–20362, 1997).

#### 4. Ver los resultados

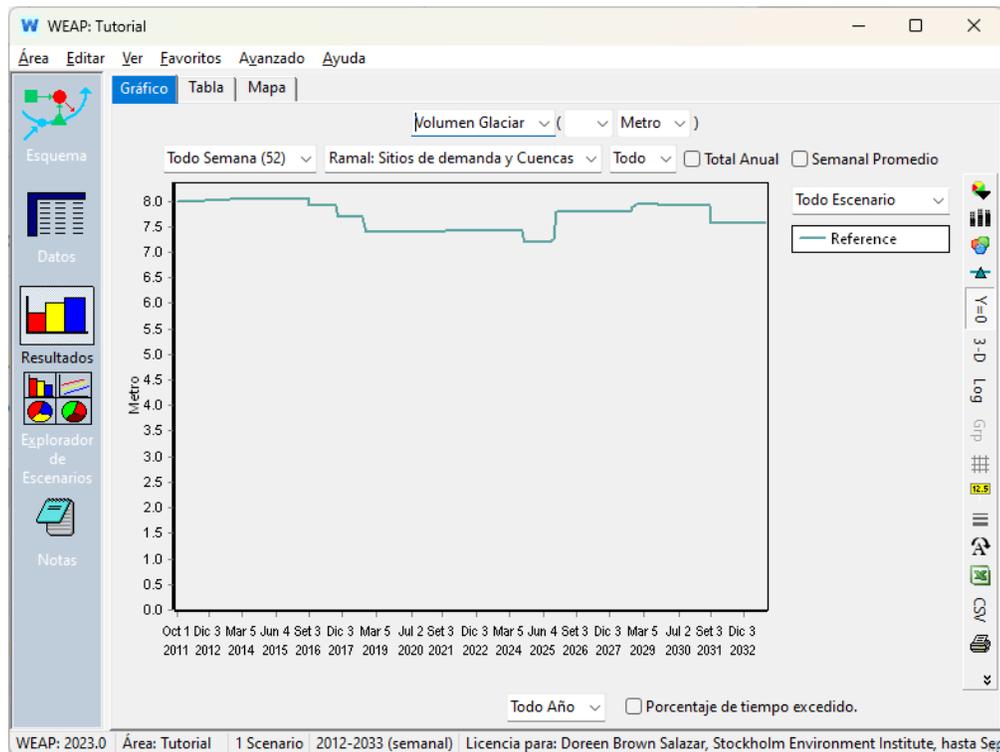
*Ejecute los resultados del modelo.*

*Revisar el resultado Profundidad del glaciar*



Al observar el gráfico de profundidad del glaciar, concluimos que, aunque la profundidad mostró algunas fluctuaciones, no hay una tendencia ascendente ni descendente a medida que la profundidad aumentaba y disminuía dentro del rango aproximado de 7 a 8 metros.

### Revisar el resultado Volumen del glaciar



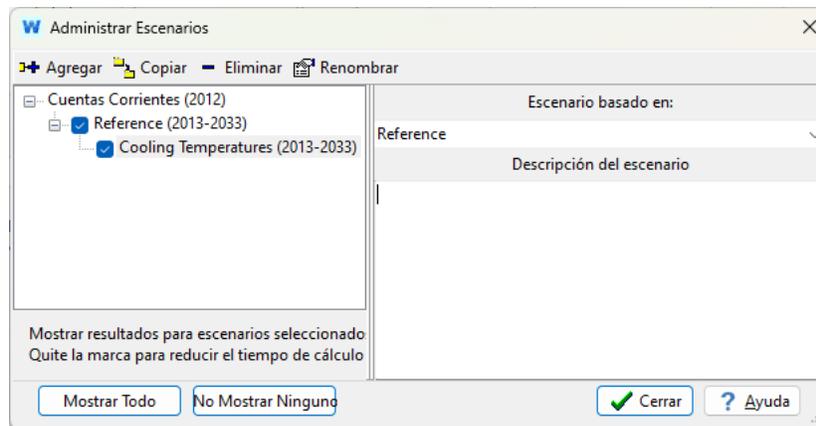
Además, si observamos las series temporales del volumen del glaciar, vemos el mismo patrón que la profundidad, sin una tendencia significativa de aumento o disminución.

## Efecto de las temperaturas de enfriamiento

Con la creciente incertidumbre en torno a las proyecciones climáticas, aquí se explora un escenario en el que prevalecerían condiciones más frías en el futuro para modelar el impacto en la dinámica de los glaciares.

### 5. Crear un escenario para temperaturas de enfriamiento

Primero, agregaremos un escenario llamado "Cooling temperatures" ("Temperaturas de enfriamiento") que se basa en el escenario de "Referencia".



## 6. Ingresar datos para el escenario "Cooling Temperatures"

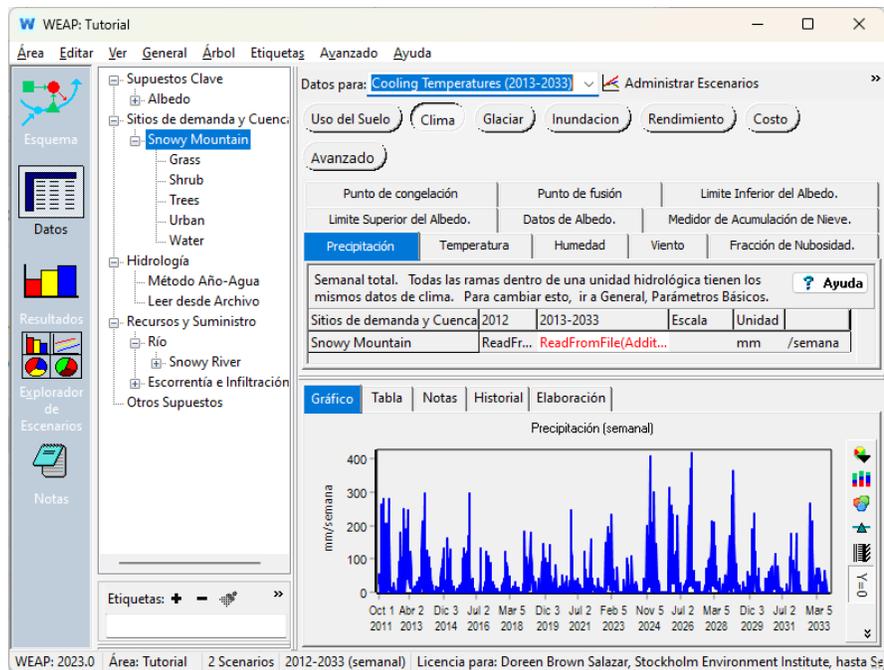
Cambie al escenario "Cooling Temperatures", luego agregue sus datos climáticos, los cuales se encuentran en un archivo llamado "Cooling Climate.csv" en la carpeta WEAP Tutorial\Additional Files y representan un clima más frío que el utilizado en el escenario de referencia.

*Usar la función Asistente de Lectura Desde Archivo para ingresar datos de precipitación (columna de datos 1), temperatura (columna de datos 2) y humedad (columna de datos 3) para Snowy Mountain. Puede usar el asistente Asistente de Lectura Desde Archivo para ayudarlo a construir la expresión, o escribir la expresión directamente:*

```
ReadFromFile(Additional Files\Cooling Climate.csv, "Precipitation[mm]")
```

```
ReadFromFile(Additional Files\Cooling Climate.csv, "Temperature[C]")
```

```
ReadFromFile(Additional Files\Cooling Climate.csv, "Humidity [%]")
```

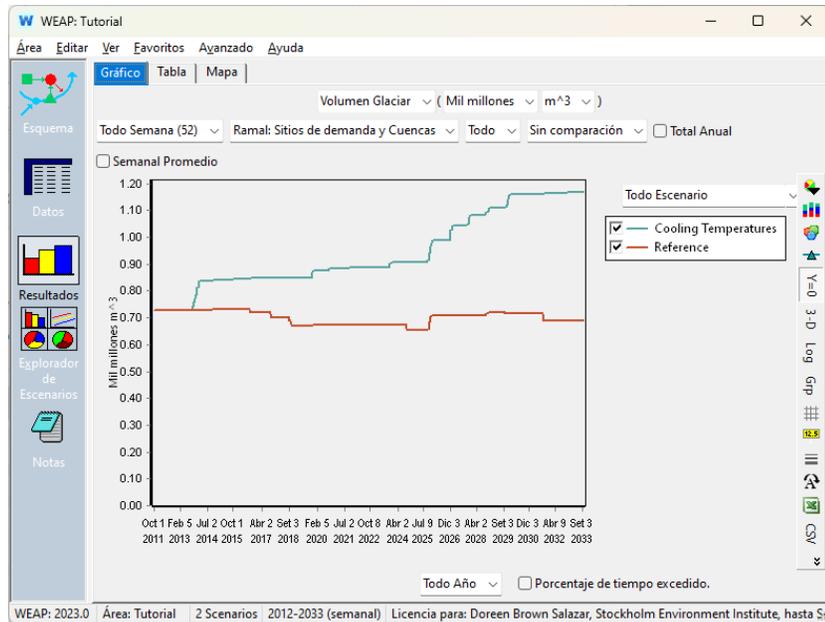


Mantendremos las pestañas restantes tanto en "Clima" como en "Glaciar" con los mismos valores predeterminados (tenga en cuenta que no será necesario ingresar una profundidad inicial del glaciar, ya que se hereda del escenario "Referencia").

## 7. Observar los resultados

*Ejecute los resultados del modelo.*

*Observar el resultado Profundidad del glaciar, eligiendo "Todos los escenarios" para la leyenda.*



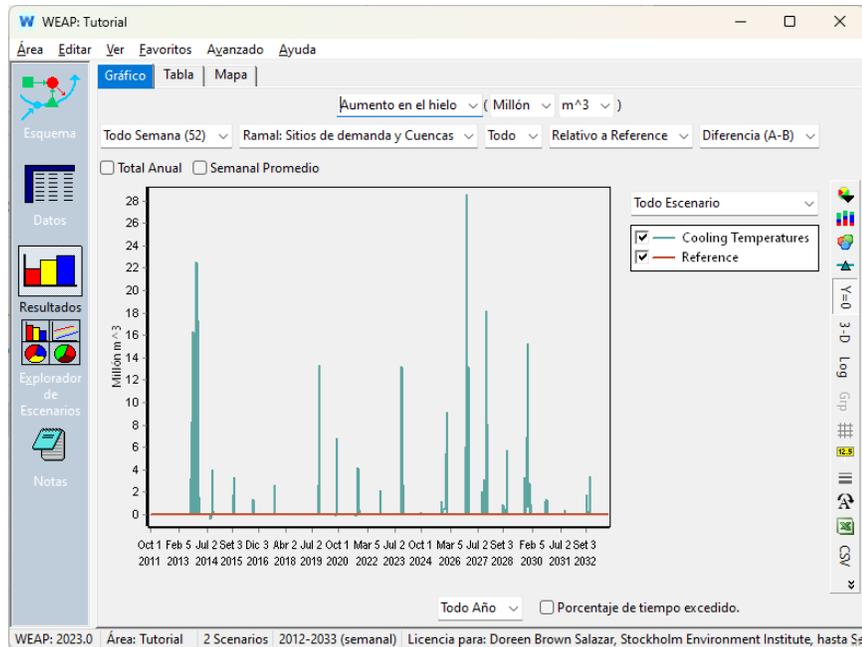
A diferencia del escenario de "Referencia" (en rojo), donde no se detectó una tendencia significativa, el escenario "Cooling Temperatures" muestra una tendencia de crecimiento considerable, con la profundidad del glaciar creciendo de 8 a casi 13 metros durante el intervalo de 20 años.

*Observar el aumento de hielo resultante*

Establecer una comparación cambiando de

*“Sin comparación” con “Relativo a la referencia”*

para mostrar el efecto de las condiciones de enfriamiento en el aumento de hielo cuando se utiliza el escenario de "Referencia" como línea de base.



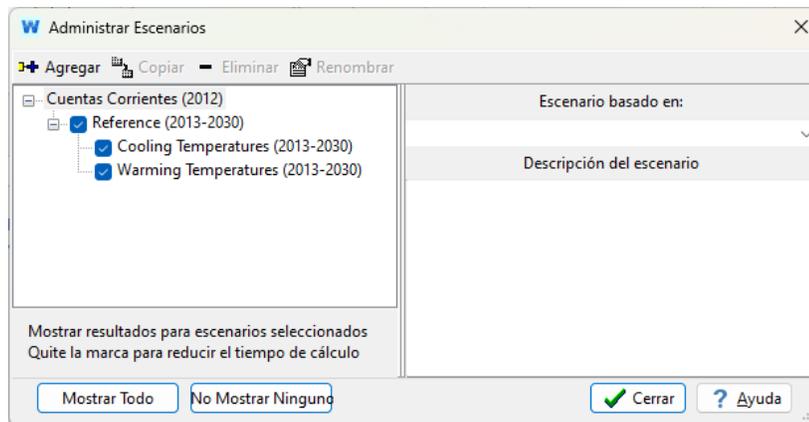
Podemos ver claramente que las condiciones de enfriamiento han provocado la acumulación de cantidades considerables de hielo dentro del glaciar, con los mayores avances ocurriendo a fines del año 2026.

## Efecto del calentamiento de las temperaturas

Debido a que un clima más cálido es una proyección más probable, aquí se explora un escenario donde prevalecerían condiciones más cálidas en el futuro para modelar sus impactos en la dinámica del glaciar.

### 8. Crear un escenario de temperaturas más cálidas, “Warming Temperatures”

Primero, agregaremos un escenario llamado “Warming Temperatures” (“Temperaturas más cálidas”) que se basa en el escenario de “Referencia”.



## 9. Ingrese los datos climáticos para el escenario "Warming Temperatures"

Cambie al escenario "Warming Temperatures". Luego, agregue los datos climáticos, que se encuentran en un archivo llamado Warming Climate.csv en la carpeta WEAP Tutorial\Additional Files .

*Usar la función Asistente de Lectura Desde Archivo para ingresar datos de precipitación (columna de datos 1), temperatura (columna de datos 2) y humedad (columna de datos 3) para Snowy Mountain. Puede usar el asistente Asistente de Lectura Desde Archivo para ayudar a construir la expresión, o escribir la expresión directamente:*

```
ReadFromFile(Additional Files\Warming Climate.csv, "Precipitation[mm]")
```

```
ReadFromFile(Additional Files\Warming Climate.csv, "Temperature[C]")
```

```
ReadFromFile(Additional Files\Warming Climate.csv, "Humidity [%]")
```

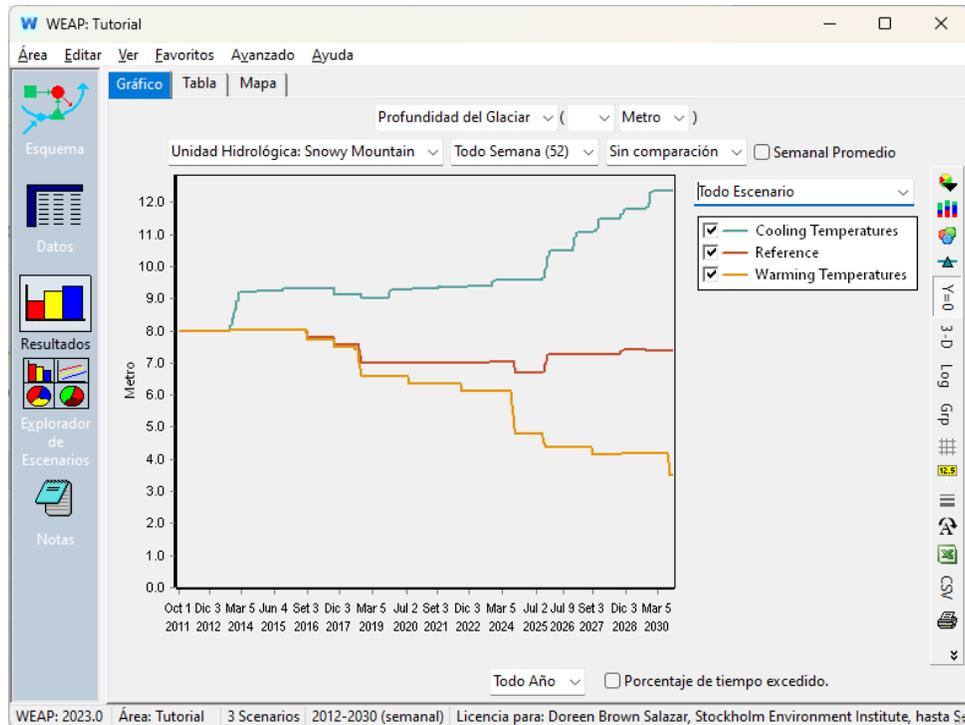
Mantendremos las pestañas restantes tanto en "Clima" como en "Glaciar" con los mismos valores predeterminados.

## 10. Ver los resultados

*Ejecutar los resultados del modelo.*

*Observar el resultado Profundidad del glaciar*

*Asegúrese de haber seleccionado "Sin comparación".*



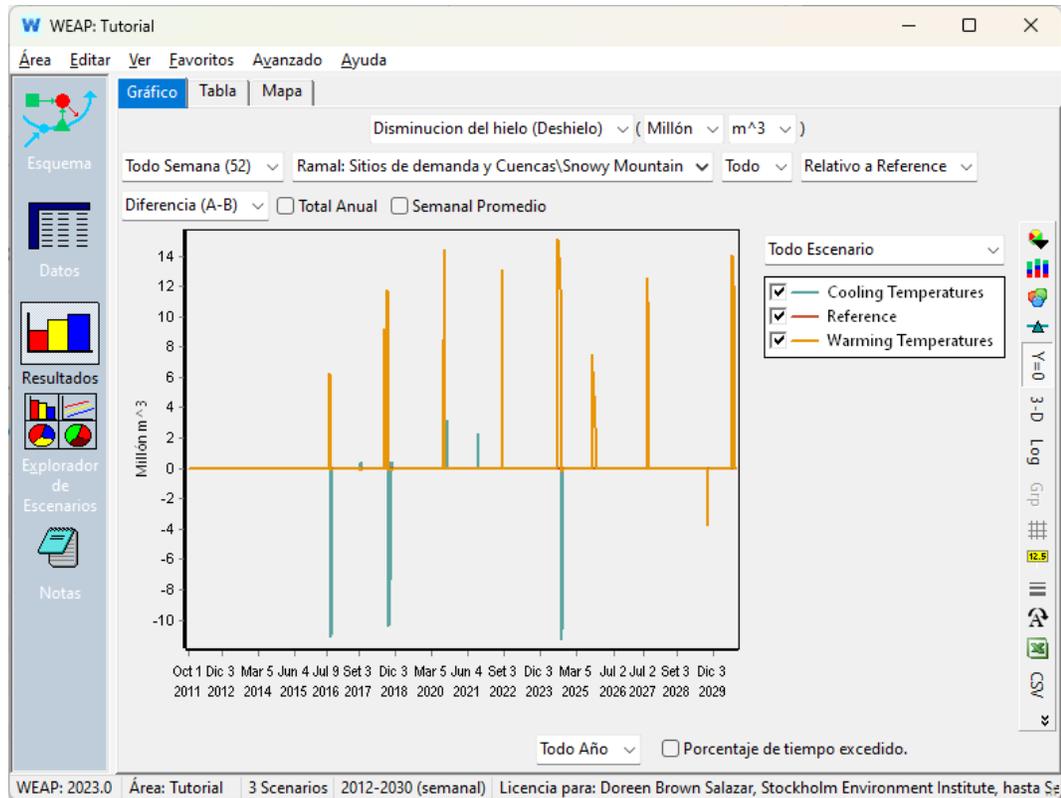
En contraste con el escenario de "Cooling Temperatures", el escenario de "Warming Temperatures" conduce a una tendencia descendente significativa, con la profundidad del glaciar reduciéndose de 8 metros a menos de 4 metros durante el intervalo de 20 años.

*Observar el resultado Disminución del hielo (deshielo)*

Con solo los escenarios de "Warming Temperatures" y "Cooling Temperatures" seleccionados, establezca una comparación cambiando de

*"Sin comparación" con "Relativo a la referencia"*

Y seleccione "Disminución del hielo (deshielo)" para ver los cambios en el volumen de hielo para cada uno de los dos escenarios en comparación con el escenario "Referencia".



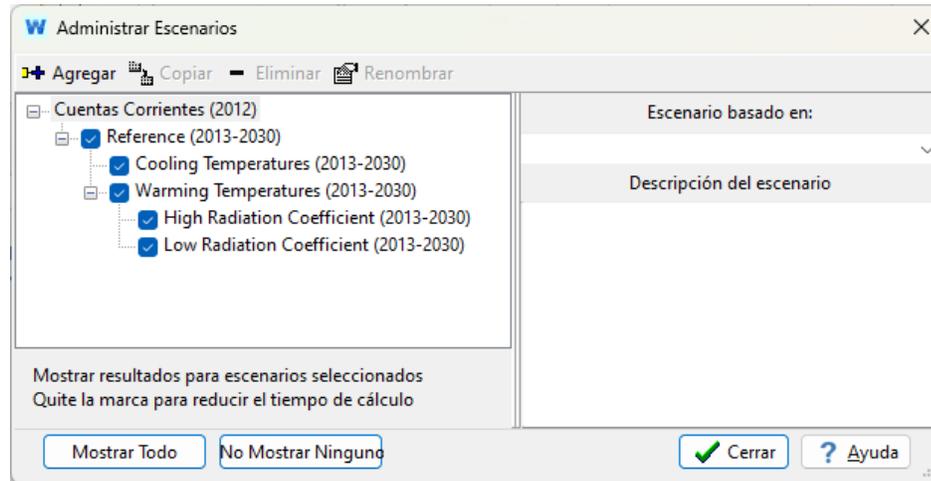
Las líneas amarillas positivas muestran que el escenario "Warming Temperatures" provoca el derretimiento de cantidades significativas de hielo en comparación con el escenario de "Referencia". Las líneas verdes negativas, para el escenario de "Cooling Temperatures" (Temperaturas de enfriamiento), indican que los niveles de hielo aumentan para este escenario.

## Sensibilidad al parámetro coeficiente de radiación

Dado que el escenario de calentamiento de la temperatura es un guión más realista, dada la actual crisis del calentamiento global, el efecto de la variación del parámetro del coeficiente de radiación se investiga a través de un análisis de sensibilidad simple. Se agregan dos subescenarios basados en el escenario "Warming Temperatures". Con un valor predeterminado del coeficiente de radiación del 50 % utilizado en el escenario anterior, se exploran los efectos de utilizar dos puntos extremos para este valor y se analizan los resultados de estos valores.

## 11. Cree escenarios para diferentes valores de coeficiente de radiación

Primero, agregaremos 2 escenarios denominados "High Radiation Coefficient" (Coeficiente de radiación alto) y "Low Radiation Coefficient" (Coeficiente de radiación bajo), con ambos escenarios basados en el escenario de "Warming Temperatures" (Temperaturas en aumento).

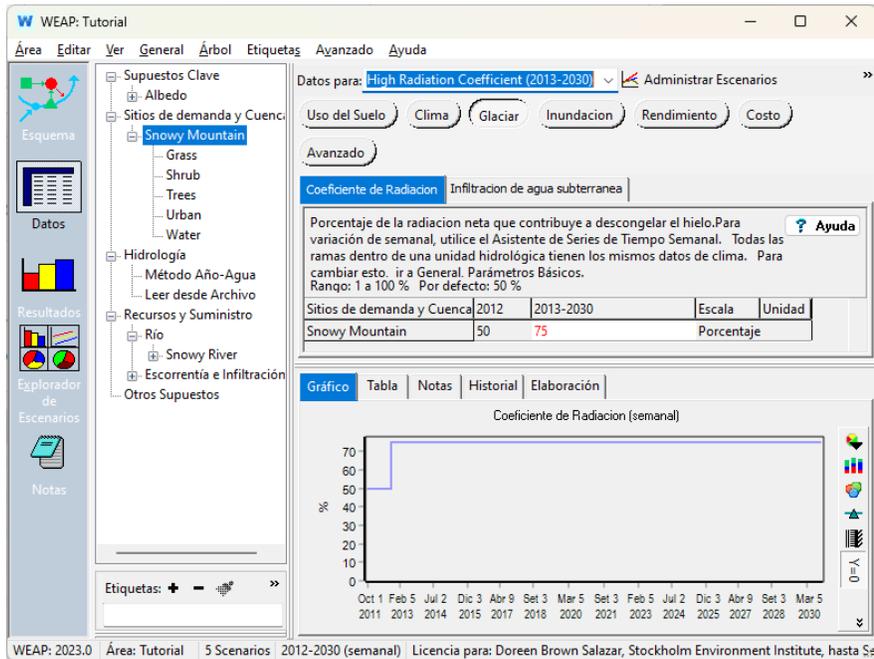


## 12. Introducir datos

Para estos subescenarios, los datos climáticos se heredarán del escenario "Warming Temperatures". Sin embargo, el único cambio estará dentro de los datos del glaciar, donde se explorará el impacto de usar diferentes valores para el coeficiente de radiación.

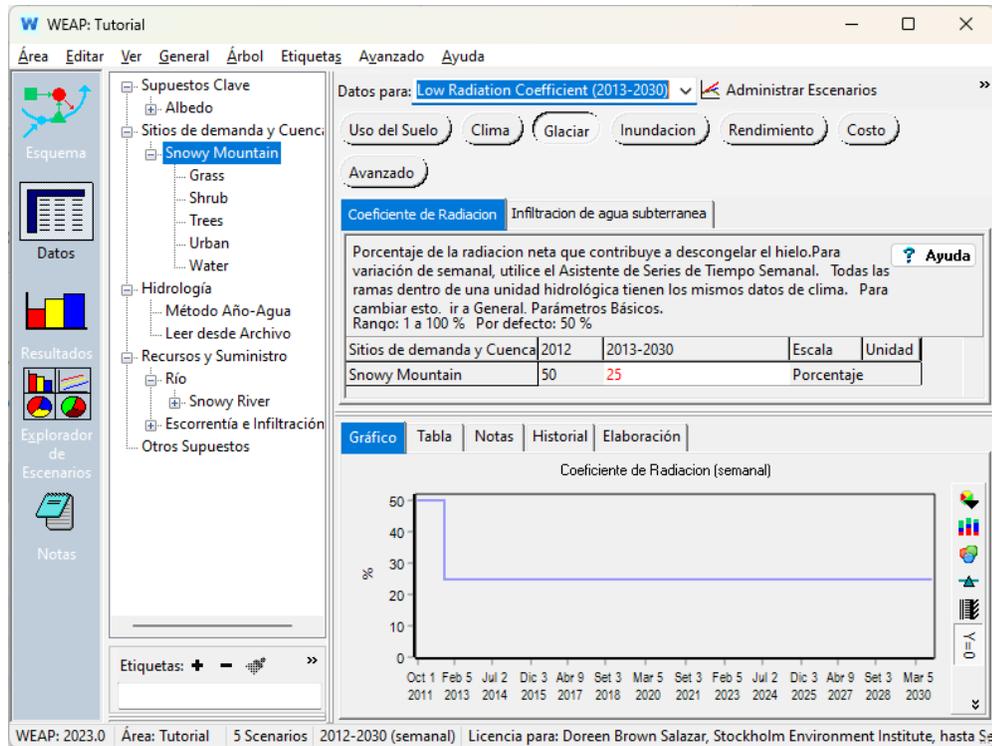
Con el escenario "High radiation coefficient" (Coeficiente de radiación alto) seleccionado, ingresaremos un valor de prueba del 75% para el coeficiente de radiación en la pestaña "Glaciar" para los datos de la cuenca "Snowy Mountain".

*Coefficiente de radiación* 75 %



Ahora en al escenario de "Low radiation coefficient" (Coefficiente de radiación bajo), asignaremos un valor de coeficiente de radiación del 25 % en la pestaña "Glaciar" para los datos de la cuenca de captación "Snowy Mountain".

*Coefficiente de radiación* 25 %

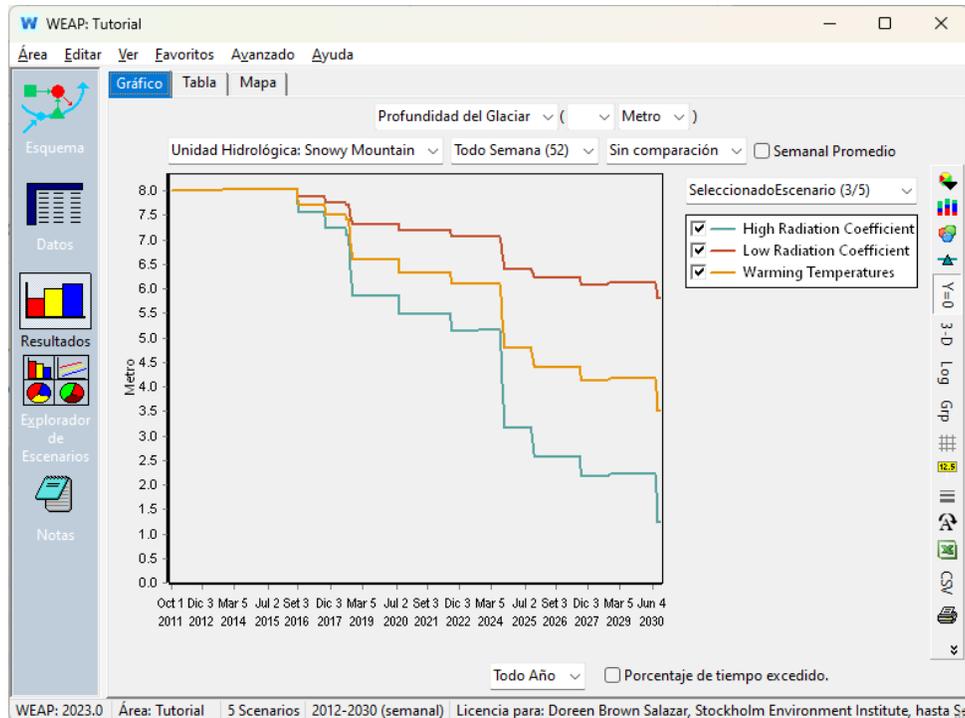


### 13. Ejecutar y observar los resultados

*Ejecutar los resultados del modelo.*

*Observar el resultado Profundidad del glaciar*

En lugar de seleccionar todos los escenarios, seleccione solo tres de ellos: "Warming temperatures", "High radiation coefficient" and "Low radiation coefficient". Asegúrese de haber seleccionado "Sin comparación".



Aunque los tres escenarios seleccionados muestran contracciones en la profundidad del glaciar, las tasas a las que retrocede el glaciar varían mucho. Bajo el escenario original de "Warming Temperatures", el glaciar tarda casi 14 años en retroceder de 8 a 6 metros. Para el escenario de "High radiation coefficient", se necesitan solo 10 años para experimentar la misma contracción. Para el escenario de "Low radiation coefficient", el glaciar requiere toda la serie de tiempo de 20 años para experimentar la misma contracción. Esto muestra el enorme efecto del coeficiente de radiación sobre la rapidez con la que podría derretirse el glaciar.

Algunos de los factores que afectan la radiación y, como resultado, las tasas de derretimiento de los glaciares, incluyen la velocidad del viento, la humedad y el flujo de calor sensible. Se sabe que estos factores varían geográficamente. Por ejemplo, una mayor humedad y velocidad del viento, como en las regiones oceánicas, dan como resultado un factor de grado día más alto (el factor de grado día es la cantidad de derretimiento que se produce por cada grado día positivo). La suma de días de grados positivos representa la cantidad de derretimiento por grado. Cuando el hielo se derrite por sublimación, como en lugares terrestres, donde predominan las condiciones secas y de alta radiación, son comunes los factores de día de bajo grado. Esto sucede porque hay menos energía disponible para la fusión, y se consumen cantidades considerables de energía a través de la sublimación. Los factores de grados día pueden variar

significativamente a escala local, incluso en el mismo glaciar. Para sus propios análisis, el coeficiente de radiación será un parámetro de calibración que puede usar para ayudar a calibrar su modelo para simular mejor las observaciones históricas.



---

# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Análisis Financiero

*Un tutorial para*

*Preparando el Modelo de Costos e Ingresos ..... 318*

*Modelar Costos..... 321*

*Modelar Ingresos ..... 329*

**noviembre 2023**

**Nota:**

Para este módulo, deberá haber completado los módulos anteriores ("WEAP en una hora, herramientas básicas y escenarios) o tener un conocimiento equivalente de WEAP (estructura de datos, supuestos clave, generador de expresiones, creación de escenarios).

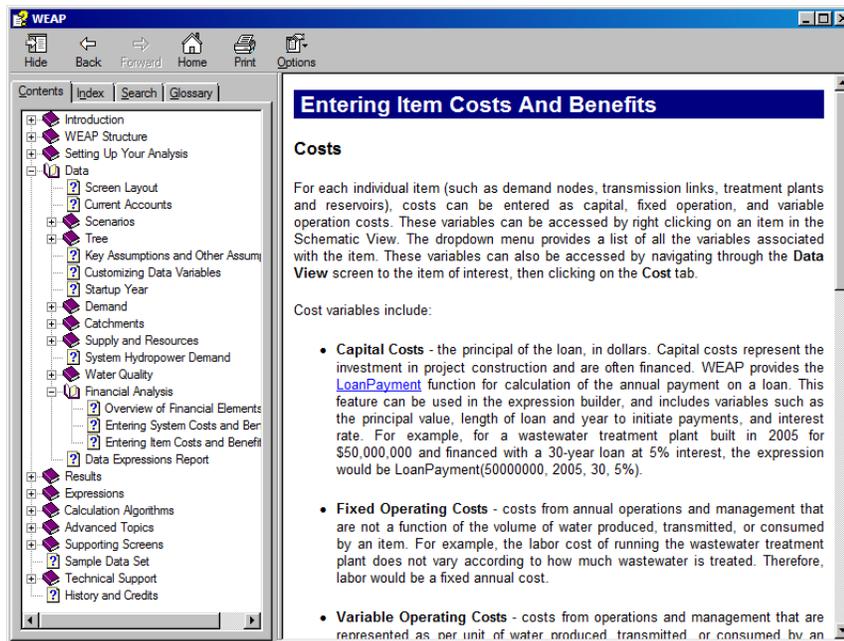
*Para comenzar esta lección vaya al menú principal y seleccione "Regresar a Versión Previa" y escoja la versión llamada "Starting point for all modules after 'Scenarios' module."*

# Preparando el Modelo de Costos e Ingresos

## 1. Entendiendo la modelación de Costos e Ingresos en WEAP

WEAP modela tres tipos de costos: Costos de Capital, Costos Fijos de Operación & Mantenimiento (O&M), y Costos Variables O&M. También modela tres tipos de ingresos: ingresos fijos, ingresos variables e ingresos por electricidad. Los Costos e Ingresos pueden ser asignados a cualquier objeto (ej., un sitio de demanda, un tramo de río, un nodo de aguas subterráneas, un embalse o planta hidroeléctrica).

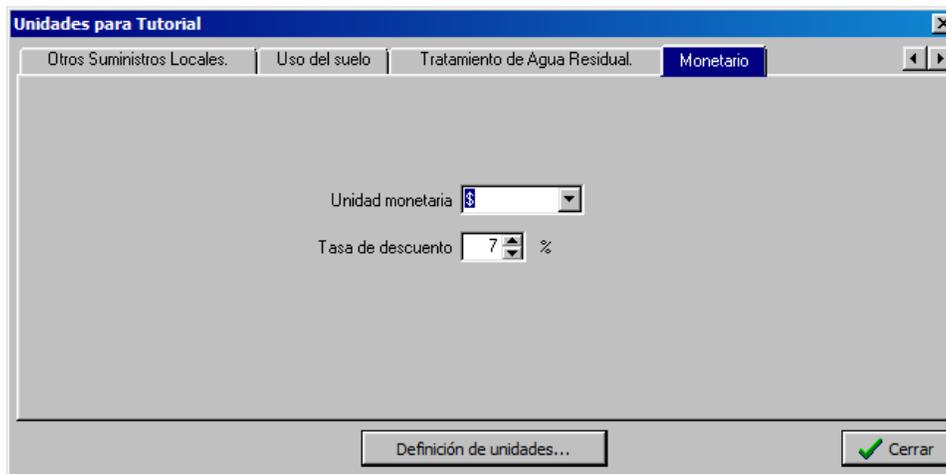
Para una mayor información en la modelación de Costos e Ingresos, remítase al tópico de Ayuda "Entering Item Cost and Revenues" (en inglés).



## 2. Estableciendo la Tasa de Descuento

En el menú "General", "Unidades" seleccione la pestaña "Monetario" (a la extrema derecha) e ingrese la Tasa de Descuento.

**Discount Rate**     7%



Se utiliza la Tasa de Descuento para calcular el valor neto actual y acumular cantidades monetarias con el paso del tiempo. La Tasa de Descuento es diferente de la Tasa de Interés, que se debe introducir manualmente para cada cálculo del pago del préstamo.

Se tiene que decidir por adelantado si el análisis se realizara en dólares reales o nominales (con o sin considerado la inflación) ya que esto afectará a la tasa de descuento, tasas de interés y el crecimiento de los costes y los ingresos.

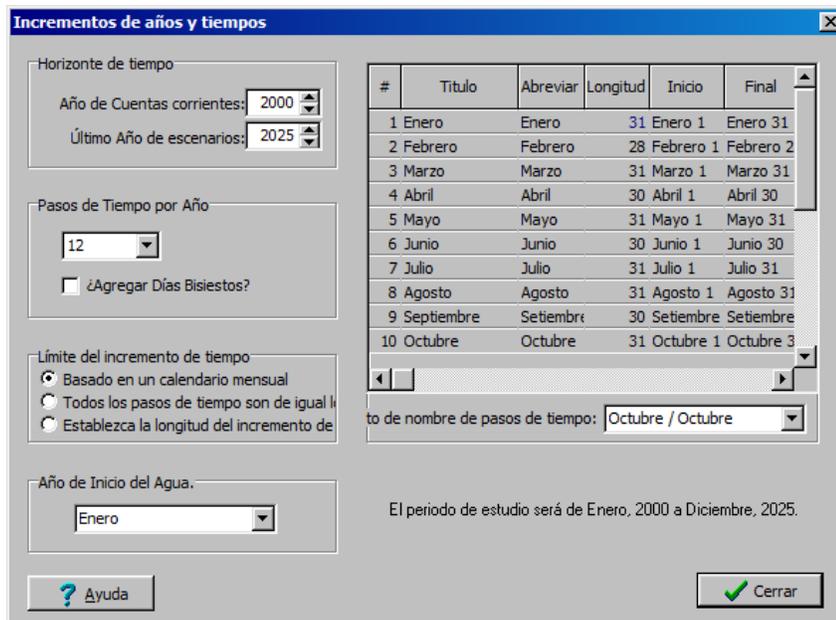
La determinación de la Tasa de Descuento es un asunto importante en los análisis económicos. Directrices existen que se basan en diferentes métodos, tales como el coste medio ponderado del capital ("Weighted Average Cost of Capital (WACCC)) o el modelo de valoración de activos de capital (Capital Asset Pricing Model (CAP-M)). El gobierno de Estados Unidos recomienda una tasa de descuento del 7% para los proyectos del sector público (incluyendo la inflación

### 3. Cambiando la Duración de la Modelación

La modelación de costos tiene sentido solo si un largo periodo está siendo considerado.

*Extienda el periodo de tiempo simulado en WEAP abriendo la caja de dialogo "General", "Años y Pasos de Tiempo." Cambie la variable "Ultimo Año de escenarios":*

**Ultimo Año de Escenarios      2025**





Cambiar el “Último Año de escenarios” no afecta a las “Cuentas corrientes,” el año que actúa como una base para todos los escenarios. Cambiar el “Último Año de escenarios” solo afectará a todos los escenarios, incluyendo el escenario “Referencia.” Para más detalles de WEAP y Escenarios, consulte el modula “Escenarios” de este tutorial.

## Modelar Costos

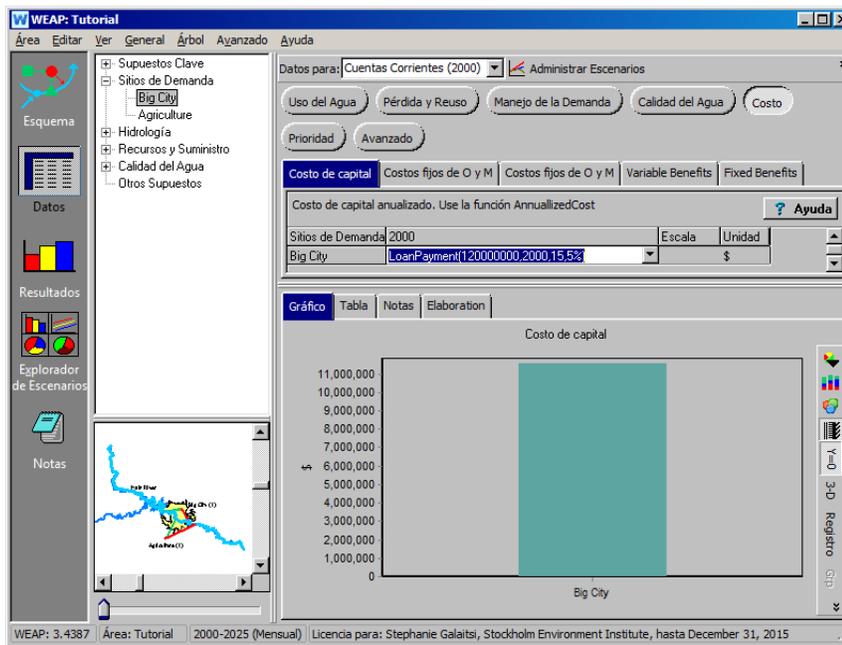
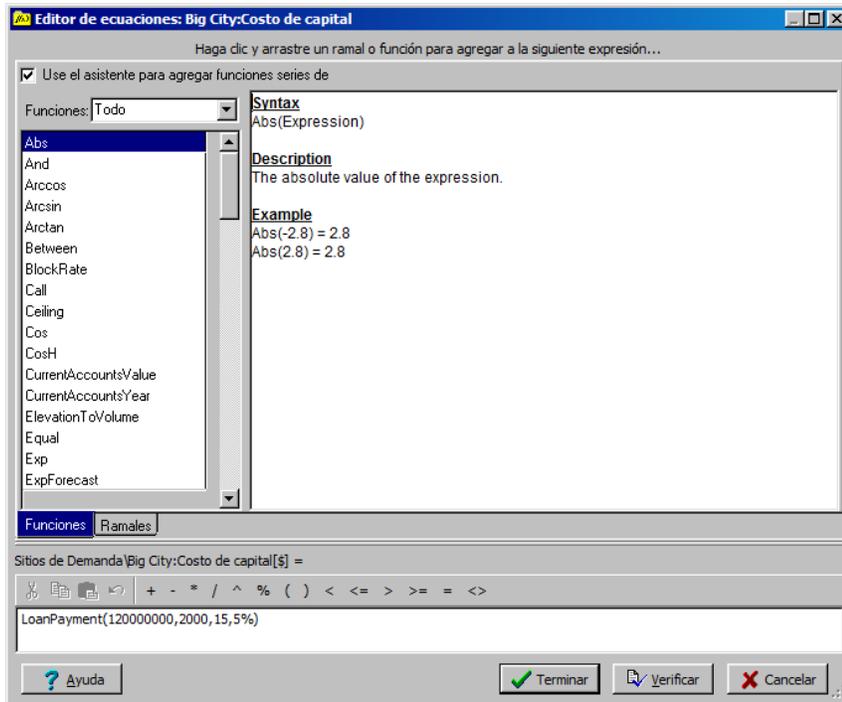
### 4. Ingresar Datos de Costo para el Sitio de Demanda

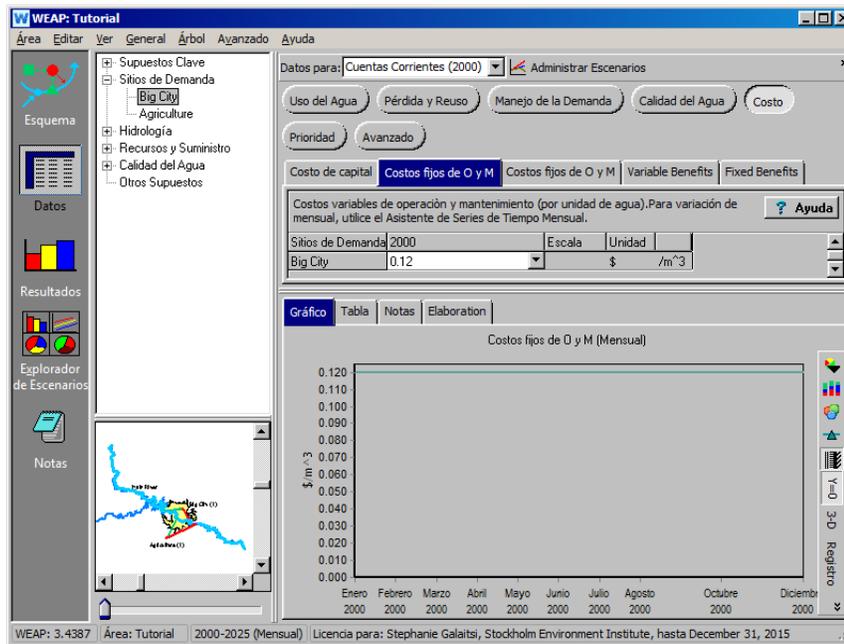
Para el sitio de demanda *Big City*, ingrese la siguiente información (en Cuentas Corrientes) en la rama Sitios de Demanda del árbol de datos del ambiente de Datos. Haga clic en el botón “Costo” e ingrese bajo la pestaña “Costo de Capital”:

Costo de Capital es un préstamo de 120M\$, en el año 2000, por un periodo de 15 años, con tasa de interés del 5%

*Use el Editor de ecuaciones para seleccionar la función ya predefinida “LoanPayment.” Arrastre esta función dentro de la ventana de la expresión e ingrese ahí los parámetros 120 000 000, 2000, 15, 5% dentro del paréntesis. La expresión debería verse así:*

*“LoanPayment(120000000,2000,15, 5%)”*

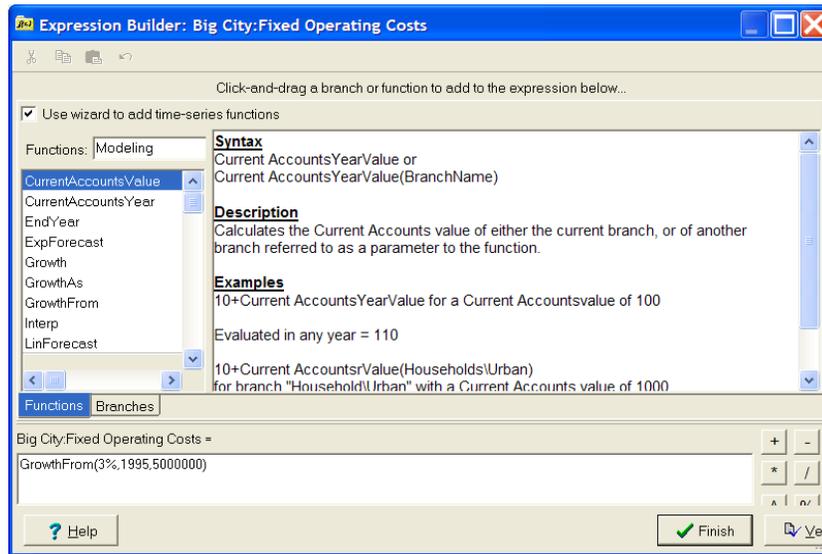


*Variable Operating Costs**0.12\$/m<sup>3</sup>*

Costos fijos de O y M, un valor anual de 5M\$, creciendo a una tasa del 3% comenzando el 1995.

*Use el Editor de Ecuaciones de nuevo, seleccionando la función predefinida "GrowthFrom" e ingresando los parámetros correspondientes dentro de los paréntesis. La fórmula debería aparecer:*

*“GrowthFrom(3%,1995,5 000 000)”*



## 5. Ingresar Datos de Costo para todo el Sistema

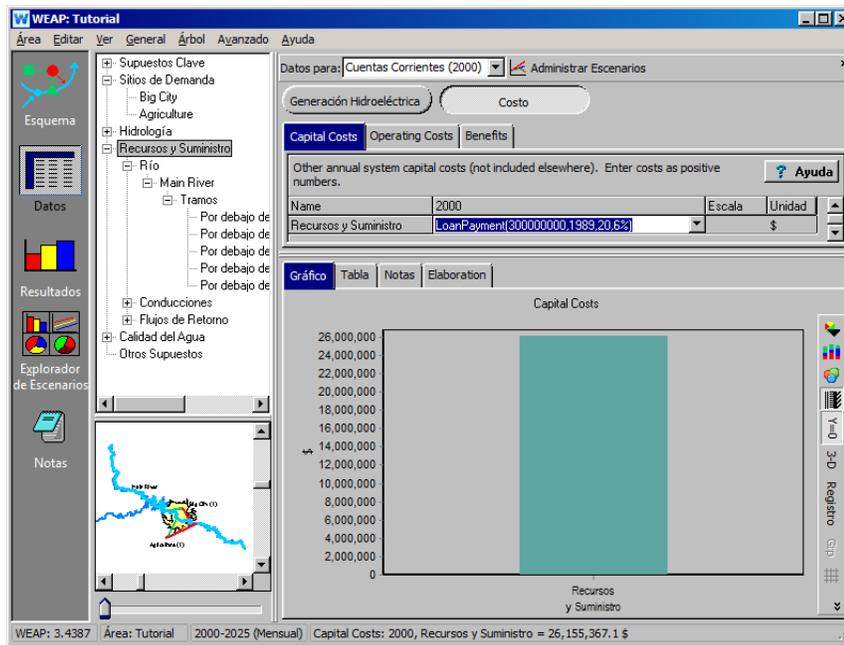
Asumiremos que hubo un préstamo hecho años antes que el año base de las Cuentas Corrientes que todavía se está pagando. Le vamos a asignar este costo a todo el sistema, en vez de a un objeto en particular.

*Ingrese los siguientes datos en la rama “Recursos y Suministro” del árbol de datos del ambiente de Datos.*

*Capital Costs un préstamo de 300M\$, hecho en 1989, por un periodo de 20 años, tasa de interés del 6%*

*Nuevamente, use el Editor de ecuaciones y la función “LoanPayment.” La fórmula debería verse así:*

*“LoanPayment(300000000,1989,20,6%)”*

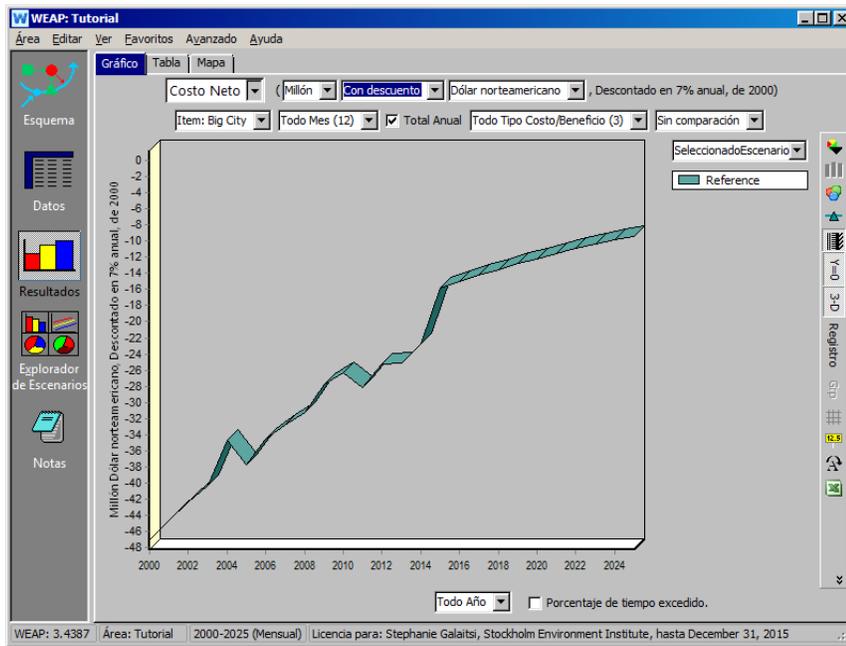


## 6. Evaluar los Resultados

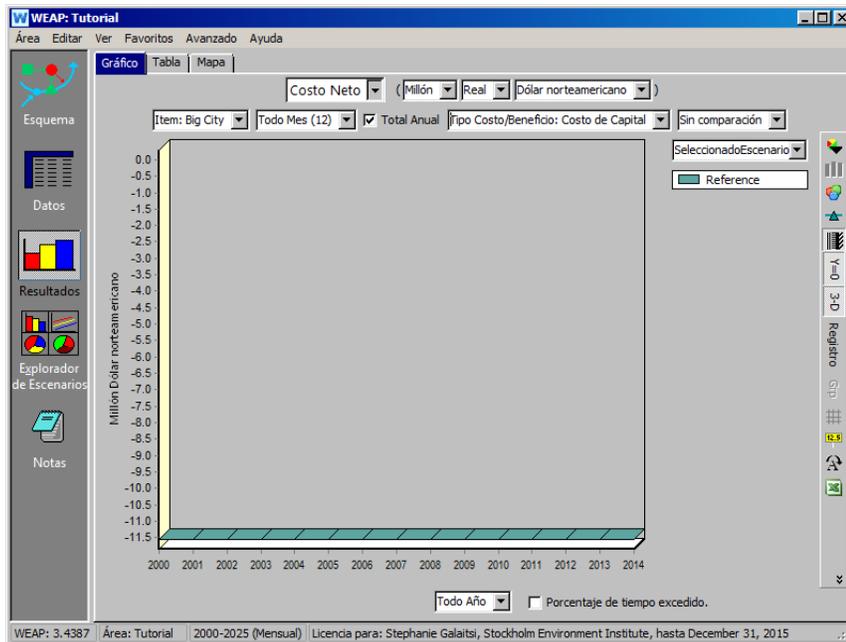
*Ejecuta el modelo y mire los siguientes resultados. Seleccione Financiero/Costo Neto, desde el menú desplegable principal y elija Big City desde la lista de ítems en el menú arriba a la izquierda del gráfico. Use el menú arriba a la derecha para seleccionar "Seleccionado Tipo Costo/Beneficio" y "Costo de Capital." Asegúrese de que el escenario "Reference" este seleccionado desde el menú arriba del gráfico. Alterne ente las opciones "Real" y "Con descuento" usando el menú justo a la izquierda del menú de unidades (fijo a Dólar norteamericano).*

¿Cuál es la diferencia entre los valores para Big City en dólar real o con descuento?

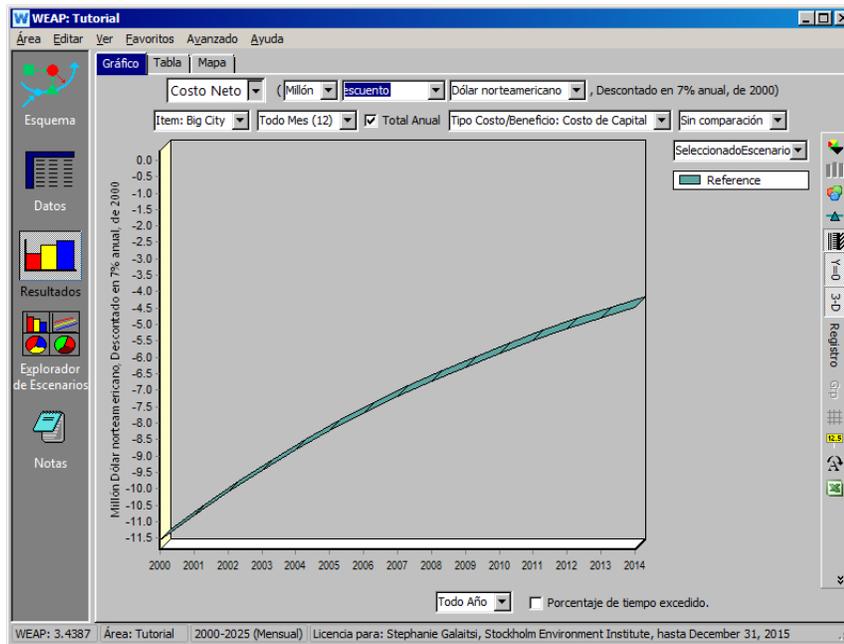
- *Todo Costo/Beneficio, Costo Neto Con Descuento*



- *Tipo Costo/Beneficio: Costos de Capital, Costo Neto Real*



- *Tipo Costo/Beneficio: Costos de Capital, Costo Neto Con Descuento*

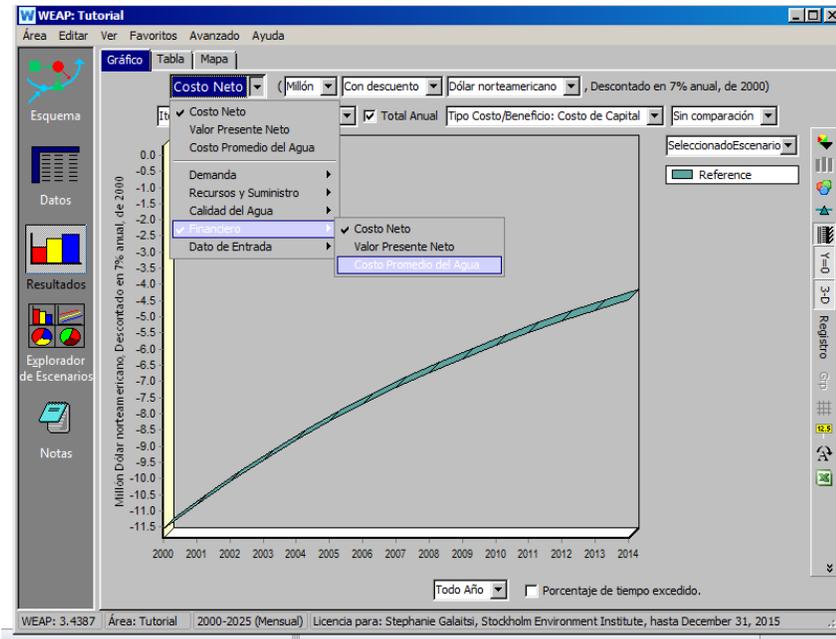


Mientras que el dólar real son los valores reales en dólares, valores descontados en dólares han sido devueltos a su valor presente usando la tasa de descuento. Cuando los costos se incurren más lejos en el futuro, el valor actual es menos.

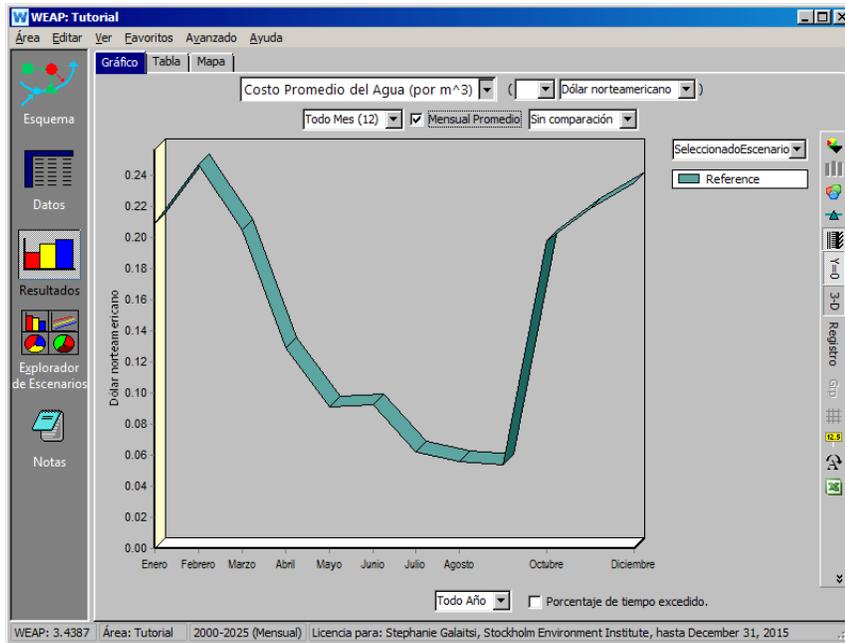
## 7. Costo Promedio del Agua

**¿Qué hace variar el costo mes a mes? ¿Para diferentes años?**

*Seleccione "Financiero\Costo Promedio del Agua" desde el menú desplegable principal.*



*Mantenga el escenario "Reference" seleccionado y haga clic en "Mensual Promedio." Debería ver un gráfico como el siguiente:*



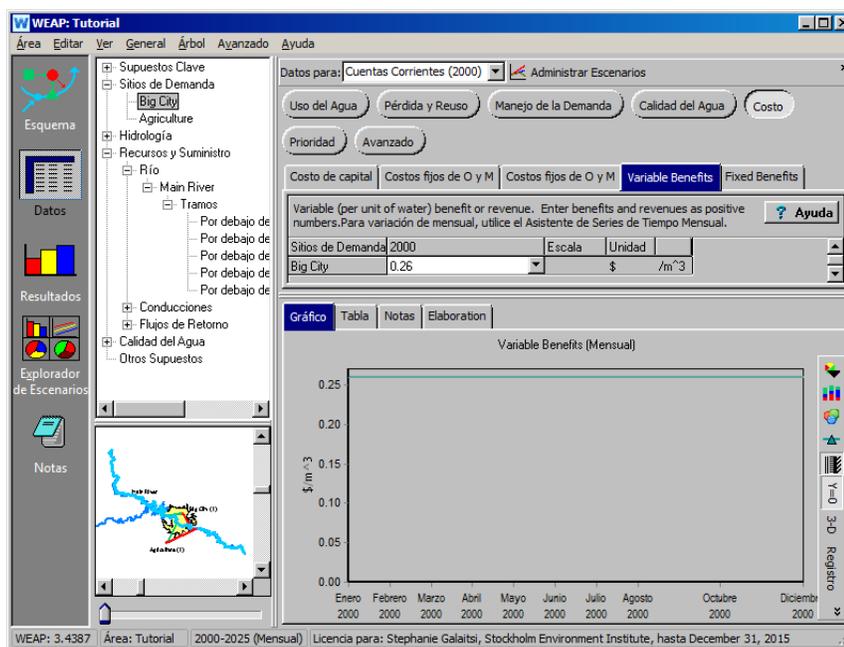
Variaciones en el costo promedio del agua se deben a la parte variable del consumo de agua (especialmente en el área de agricultura). Los costos fijos se mantienen constantes. Las variaciones anuales son impulsados principalmente por los cambios en los costos de capital (préstamos se pagan, y los nuevos préstamos se producen).

# Modelar Ingresos

## 8. Ingresar Datos de Ingresos en el Sitio de Demanda

En el ambiente “Datos” en la pantalla de “Costo” para el Sitio de Demanda Big City, ingrese los siguientes datos, que pueden, por ejemplo, corresponder al precio al que se vende el agua.

**Variable Benefits**      **0.26\$/m<sup>3</sup>**



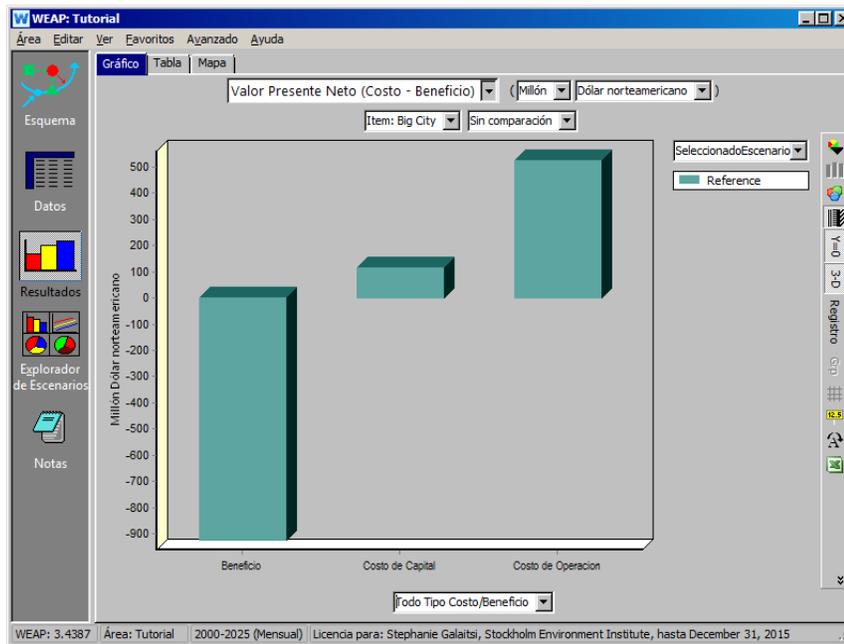
Al modelar embalses hidroeléctricos (consulte el módulo tutorial WEAP “Embalses y Generación Hidroeléctrica”), se puede ingresar también los datos provenientes de la generación de electricidad. La pestaña de ingreso de datos existe únicamente cuando sea pertinente.

## 9. Compare los Costos e Ingresos Netos Presente

Muestre el Valor Presente Neto del proyecto.

¿Cómo se comparan el Valor Presente Neto de los Ingresos con el Valor Presente Neto de los Costos?

Seleccione “Financiero\ Valor Presente Neto” desde el menú desplegable principal, y elija *Big City* como el ítem a visualizar. Del menú profundo, seleccione Todo Tipo Costo/Beneficio Usted debería tener un gráfico como el siguiente:



¿Qué le dice esta comparación?



El Valor Presente Neto de los costos puede ser comparado al valor de los ingresos para obtener una idea de la viabilidad económica del sistema. Si el Valor Presente Neto de los costos supera el Valor Presente Neto de los ingresos, el sistema devuelve un beneficio inferior al promedio de los proyectos (según la decisión de la tasa de descuento). Si el Valor Presente Neto de los ingresos supera al valor de los costos, el sistema está generando un beneficio mayor que el promedio de proyectos.

---

# WEAP

Sistema de Evaluación y Planificación del Agua

# Acople de WEAP a MODFLOW

*Un tutorial para*

<i>Acople a MODFLOW .....</i>	<i>332</i>
<i>Ejecución de MODFLOW y visualización de resultados .....</i>	<i>365</i>
<i>Escenario: aumento de la población .....</i>	<i>369</i>
<i>Escenario: Irrigación .....</i>	<i>372</i>
<i>Escenario: Recarga Artificial .....</i>	<i>380</i>

**noviembre 2023**

**Nota:**

Para este módulo, deberá haber completado los módulos anteriores ("WEAP en una hora, herramientas básicas y escenarios) o tener un conocimiento suficiente de WEAP (estructura de datos, supuestos clave, generador de expresiones, creación de escenarios). Para comenzar este módulo, vaya al Menú principal, seleccione "Volver a la versión" y elija la versión denominada "Starting point for Linking WEAP to MODFLOW" module".

## Acople a MODFLOW

### 1. Uso de MODFLOW para el modelado de aguas subterráneas en WEAP

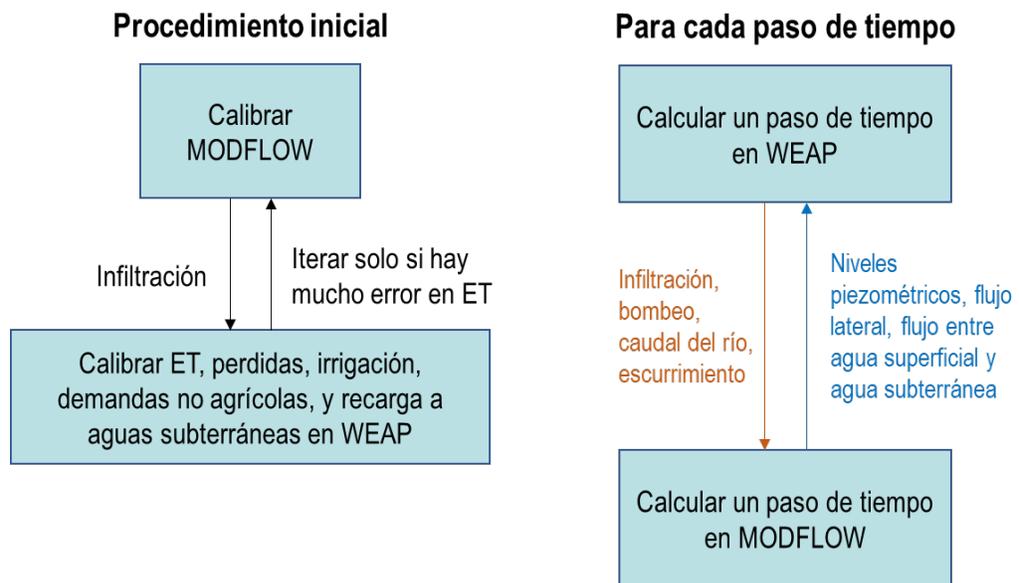
Para situaciones en las que el modelo de agua subterránea WEAP incorporado no es lo suficientemente complejo, existe la opción de vincular un modelo WEAP a un modelo MODFLOW. MODFLOW es un modelo tridimensional de agua subterránea de diferencias finitas creado por el Servicio Geológico de los EE. UU. (USGS). Cuando se vinculan correctamente, los datos y los resultados fluyen de entre WEAP y MODFLOW para cada paso de tiempo. Con este estrecho acoplamiento entre los modelos, es posible estudiar cómo los cambios en los niveles locales de agua subterránea afectan al sistema general (p. ej., interacciones agua subterránea-caudal de río, problemas de bombeo debido a la reducción, recarga lateral de agua subterránea) y viceversa (p. ej., infiltración y extracción). Sin embargo, tenga en cuenta que construir y calibrar un modelo MODFLOW no es una tarea sencilla.

Los modelos de agua subterránea en MODFLOW y WEAP son muy diferentes. Mientras que un nodo de agua subterránea WEAP se representa como un gran "cubo" sin parámetros para describir los flujos internos, MODFLOW representa el agua subterránea como una cuadrícula de múltiples capas de celdas independientes, cada una con sus propios parámetros de flujo y ecuaciones que se utilizan para modelar flujos entre celdas, y a través de los límites del acuífero.

Cuando WEAP y MODFLOW se acoplan dinámicamente, WEAP se detendrá durante los cálculos después de cada paso de tiempo para cargar información (bombeo y recarga de agua subterránea, nivel del río y escorrentía de agua superficial, desagregada en celdas) en archivos de entrada MODFLOW

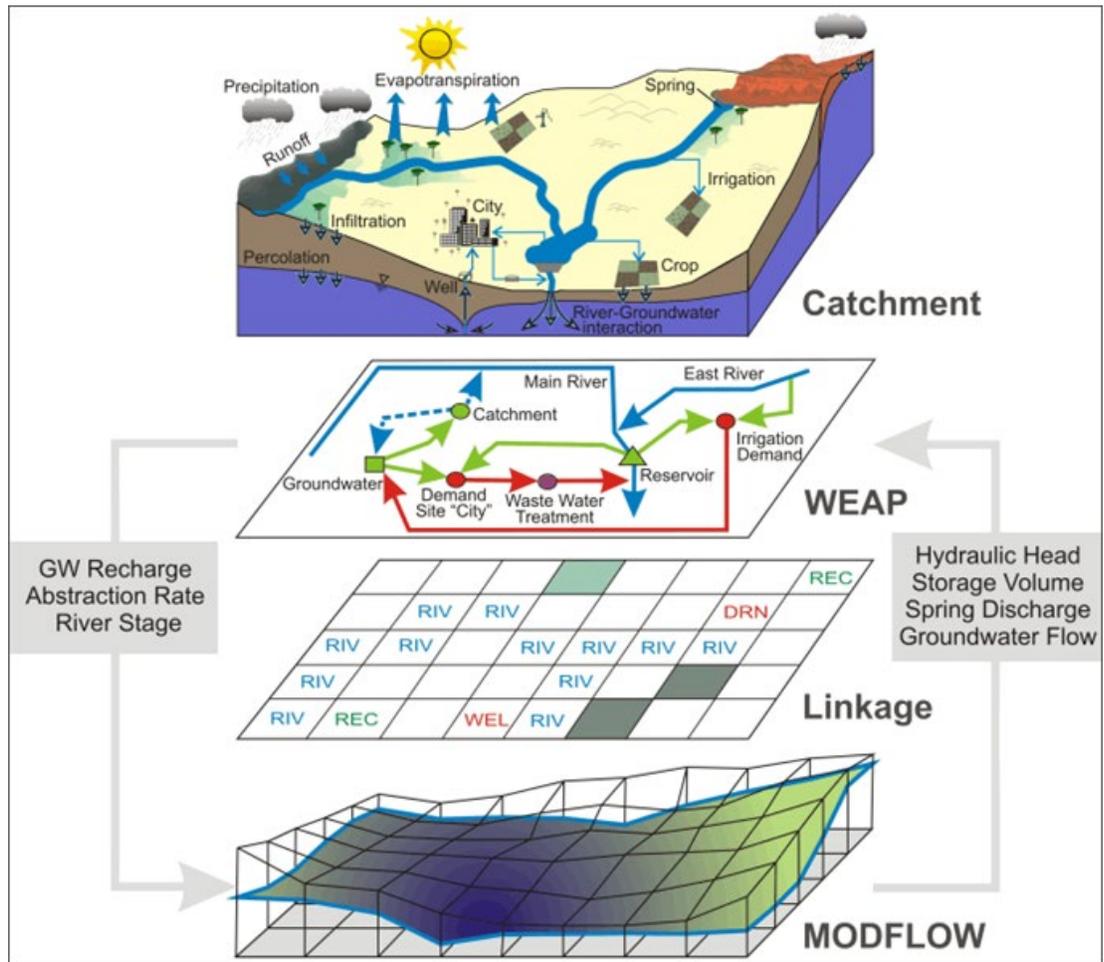
temporales recién creados, ejecute MODFLOW para un período de estrés / paso de tiempo , y luego recuperar los resultados (cabezas de celda, volumen de almacenamiento, descargas de manantiales, flujo lateral entre acuíferos y flujos de agua superficial-agua subterránea (paquetes RIV y DRN), agregando celdas a tramos de río y nodos de agua subterránea) del MODFLOW archivos de salida.

El siguiente gráfico ilustra el flujo de información entre WEAP y MODFLOW una vez realizado el acoplamiento.



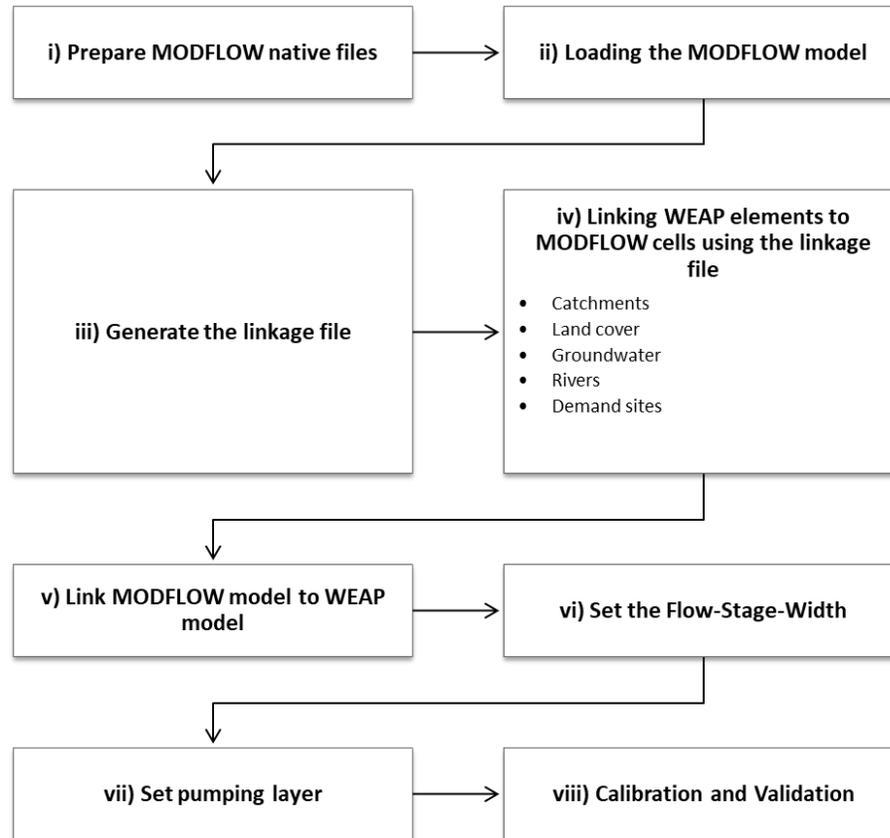
El acoplamiento de los modelos WEAP y MODFLOW requiere un shapefile (.shp) de acople que se puede crear utilizando la herramienta integrada de WEAP o un software de Sistema de Información Geográfica (SIG). Las entidades del shapefile de acople son rectángulos, cada entidad representa una celda en el modelo MODFLOW identificado por renglón y columna, que se relaciona con el nombre del elemento en WEAP. Por ejemplo, para un modelo MODFLOW con 20 renglones, 20 columnas y 3 capas, habría 400 entidades en el shapefile. La tabla de atributos del shapefile de acople (.dbf) debe tener los campos relacionados con el número de renglón de la celda MODFLOW, el número de columna de la celda MODFLOW y el nombre del nodo de agua subterránea en WEAP. Dependiendo de su modelo, se pueden incluir otros campos opcionales, puede que coincida o no con algunos o todos los siguientes: nombre de la cuenca, tipo del uso de suelo, nombre del sitio de demanda y nombre del tramo del río.

El siguiente diagrama<sup>2</sup> muestra cómo el shapefile de acople combina los modelos MODFLOW y WEAP.



Hay ocho pasos generales que se deben seguir para acoplar los modelos como se muestra en la figura:

<sup>2</sup> Maloszewski , P., Witczak , S. y Malina , G. (Eds.). (2012). Sostenibilidad de la calidad del agua subterránea. <https://doi.org/10.1201/b12715>



Estos pasos serán seguidos y explicados a través del tutorial.

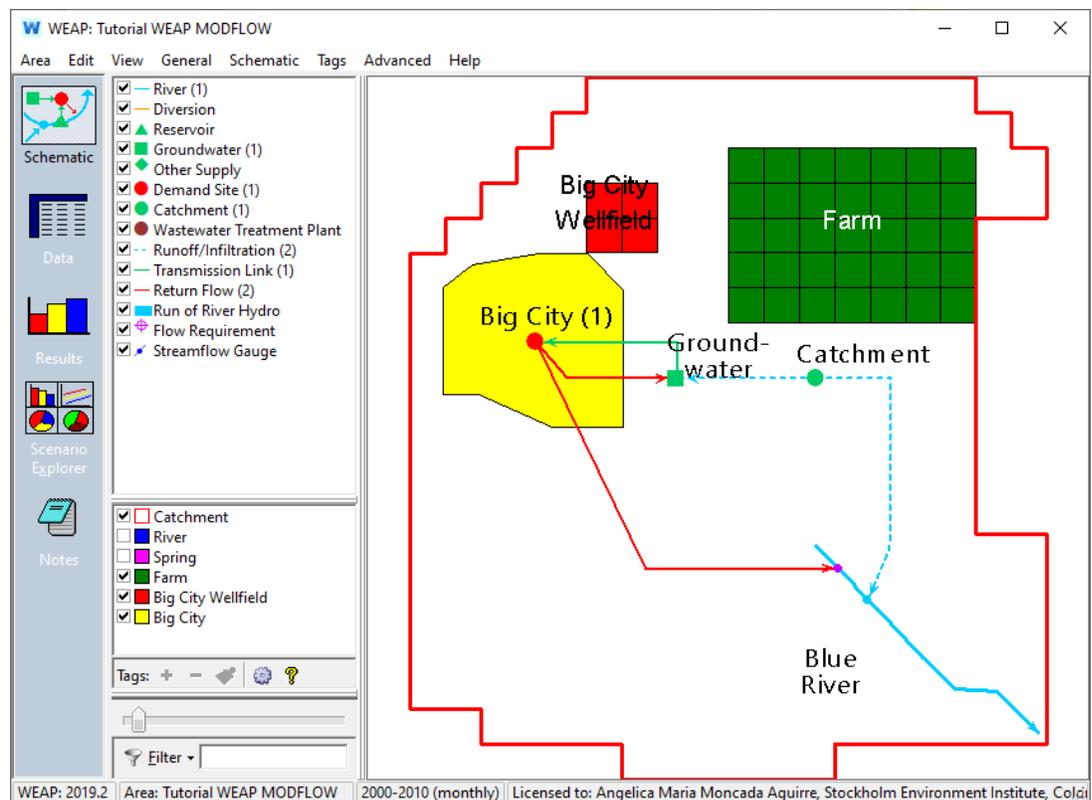
## 2. Ejemplo de modelo WEAP



Este módulo no es una introducción a MODFLOW, que requiere conocimientos especializados, pero si ya está utilizando MODFLOW, debería poder vincular su modelo MODFLOW a WEAP después de este módulo. Se requiere un trabajo considerable fuera de WEAP para calibrar y preparar un modelo MODFLOW. Consulte el sitio web de MODFLOW para obtener más información: <https://water.usgs.gov/ogw/modflow/>. Tenga en cuenta que MODFLOW 2000 ha sido reemplazado por una versión más nueva, la información está disponible en <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2000/modflow2000.html> <http://water.usgs.gov/nrp/gwsoftware/modflow2000/modflow2000.html>.

El área de estudio utilizada para este módulo difiere de las de los módulos anteriores. Incluye:

- Una ciudad cuyo abastecimiento proviene 100% de aguas subterráneas y vierte al río el 75% de sus aguas residuales. El otro 25% se infiltra al suelo y recarga las aguas subterráneas.
- La cuenca, que se modela utilizando el modelo Escurrimiento de Lluvia (método del coeficiente simplificado), incluye bosques y pastizales, además de la agricultura y la ciudad.
- La agricultura es de secano.
- El río es alimentado por un manantial que recibe el 50% de la escorrentía superficial de la cuenca.
- El agua subterránea se recarga en un 50% de la escorrentía superficial de la cuenca.



Tenga en cuenta que debido a que WEAP no desagrega espacialmente las cuencas de captación o los nodos de aguas subterráneas, el nodo de cuenca de este ejemplo representa el área completa dentro del contorno rojo sin ninguna información sobre en qué parte de la cuenca se encuentran las diversas clases de tierra. El único nodo de agua subterránea representa todo el acuífero, que se extiende sobre la misma área que la cuenca, y no incluye información sobre

dónde está el campo de pozos de la ciudad (los cuadrados rojos etiquetados como Big City Wellfield).

**Nota:**

Para vincular correctamente un modelo MODFLOW a un modelo WEAP, se necesita la localización de pozos y la clasificación de la cobertura terrestre. Antes de iniciar el acoplamiento de los modelos, es necesario procesar y analizar la información cartográfica utilizando un SIG.

### 3. Cargando el modelo MODFLOW

**Nota:**

El primer paso para comenzar a vincular los modelos es preparar los archivos nativos del modelo MODFLOW. Los archivos nativos de MODFLOW se pueden abrir y modificar con un editor de texto. Las versiones de MODFLOW a las que WEAP está diseñado para vincularse son MODFLOW 2000, 2005 y NWT. Un modelo MODFLOW consta de muchos "paquetes" diferentes, la mayoría de los cuales son opcionales. Sin embargo, WEAP no utiliza ni permite todos los paquetes. Para obtener detalles sobre cómo se vincula cada paquete a WEAP, consulte los detalles técnicos de MODFLOW Link.

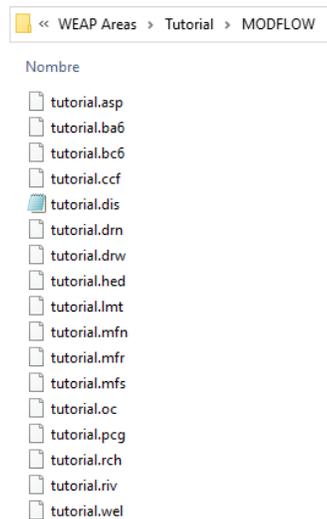
Además, debe tener en cuenta que se permiten modelos con más de un período de estrés, pero WEAP solo utilizará los datos del primer período de estrés. Cuando WEAP escribe el nuevo paquete DIS, la duración del período de estrés se cambiará para que coincida con la duración del paso de tiempo de WEAP que se está calculando.

Si la duración original del período de estrés de MODFLOW es mucho mayor que el paso de tiempo de WEAP (por ejemplo, anual frente a mensual), probablemente desee reducir la cantidad de pasos de tiempo de MODFLOW por período de estrés: calculará más rápido y creará archivos más pequeños.

Una vez que tenga los archivos nativos de MODFLOW, el archivo de nombre de MODFLOW (\*.NAM o \*.MFN) y todos los demás archivos de paquete permitidos deben copiarse en la subcarpeta del área WEAP de su proyecto. Se recomienda no incluir ningún archivo de resultados de MODFLOW debido a su tamaño

Para este ejemplo, los archivos nativos de MODFLOW ya estaban preparados. Los archivos están contenidos en un subdirectorio llamado MODFLOW

dentro del subdirectorio del área Tutorial. Compruebe que la carpeta MODFLOW y los archivos nativos de MODFLOW están en la carpeta.

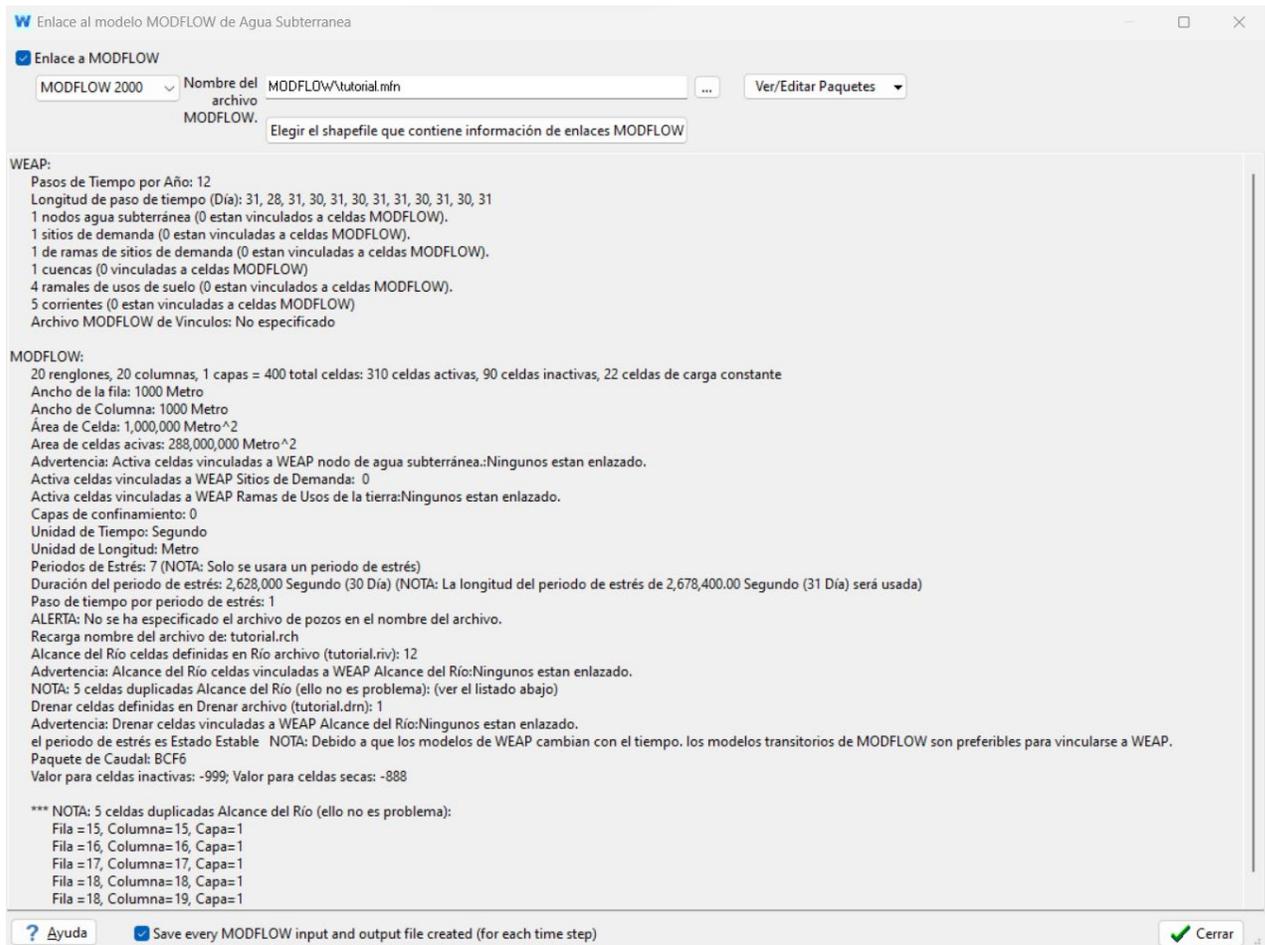


Para cargar un modelo MODFLOW, vaya a la opción "Avanzado\Nexo con MODFLOW (Flujo Agua Subterránea)" en el menú principal, se va a abrir la ventana "Enlace al modelo MODFLOW de Agua Subterránea". Marque la casilla de verificación "Enlace a MODFLOW" y luego busque el "Nombre del archivo de MODFLOW". Normalmente, el archivo "Nombre" tiene una extensión de .NAM o .MFN. El archivo "Nombre" para este ejemplo se llama **tutorial.mfn** . Elija MODFLOW 2000 y verifique la información mostrada del modelo MODFLOW.

Una vez que haya especificado la versión de MODFLOW y el nombre del archivo en esta ventana, WEAP leerá el modelo de MODFLOW y mostrará información sobre qué paquetes se utilizan en el botón "Ver/Editar paquetes". Este botón se puede utilizar para abrir y editar los archivos nativos de MODFLOW.

El archivo "Nombre" enumera los paquetes que contienen datos para los diversos aspectos del modelo MODFLOW, como la recarga, el bombeo y las interacciones del río. Revise algunos de los paquetes para este modelo: haga clic en el botón "Ver/Editar paquetes" y elija "Nombre del archivo MODFLOW: tutorial.mfn ". Verá la lista de archivos/paquetes. Haga clic en el botón Cancelar para cerrar el archivo de nombre y ver otro paquete, como el "Archivo MODFLOW de discretización: tutorial.dis ". El archivo de discretización contiene información básica sobre el modelo, como el número de capas, renglones y columnas, y el ancho de cada renglón y columna. Como puede ver en la pantalla de arriba, WEAP ya ha leído esta información: 20

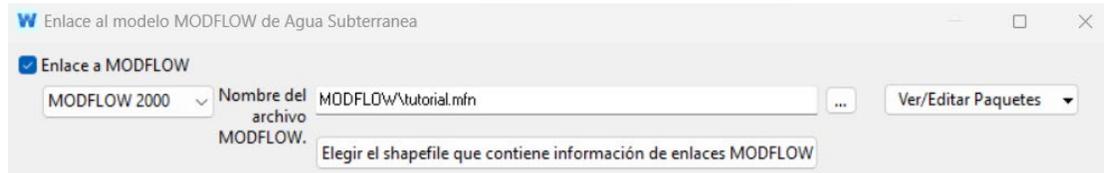
renglones, 20 columnas, 1 capa y 1000 metros de ancho para renglones y columnas.



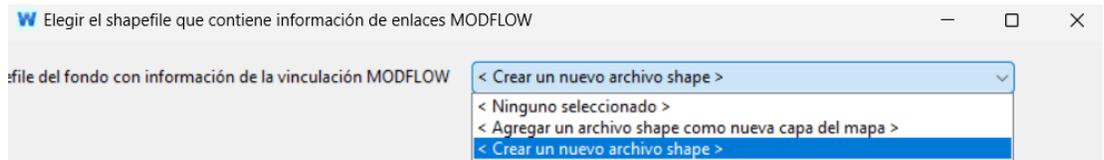
La información general del modelo MODFLOW se muestra bajo el encabezado MODFLOW, como cuántos renglones, columnas, capas, celdas activas y celdas inactivas tiene el modelo, ancho de renglón y columna, la cantidad de períodos de estrés y el valor para celdas inactivas y secas. La misma ventana mostrará los elementos vinculados una vez que los modelos estén acoplados bajo el encabezado WEAP. Tenga en cuenta que inicialmente WEAP no sabe cómo vincular el modelo MODFLOW al modelo WEAP, como se puede ver en la pantalla anterior, por ejemplo, "1 nodos agua subterránea (0 están vinculados a celdas MODFLOW)" y "Advertencia: Activa celdas vinculadas a WEAP nodo de agua subterránea: Ningunos están enlazado."

La herramienta integrada de WEAP está disponible en la ventana "Enlace al modelo de agua subterránea MODFLOW" cuando se usa la opción "Enlace avanzado\MODFLOW (Flujo de agua subterránea)" en el menú principal.

Haga clic en el botón "Elegir el shapefile que contiene la información de enlaces MODFLOW".

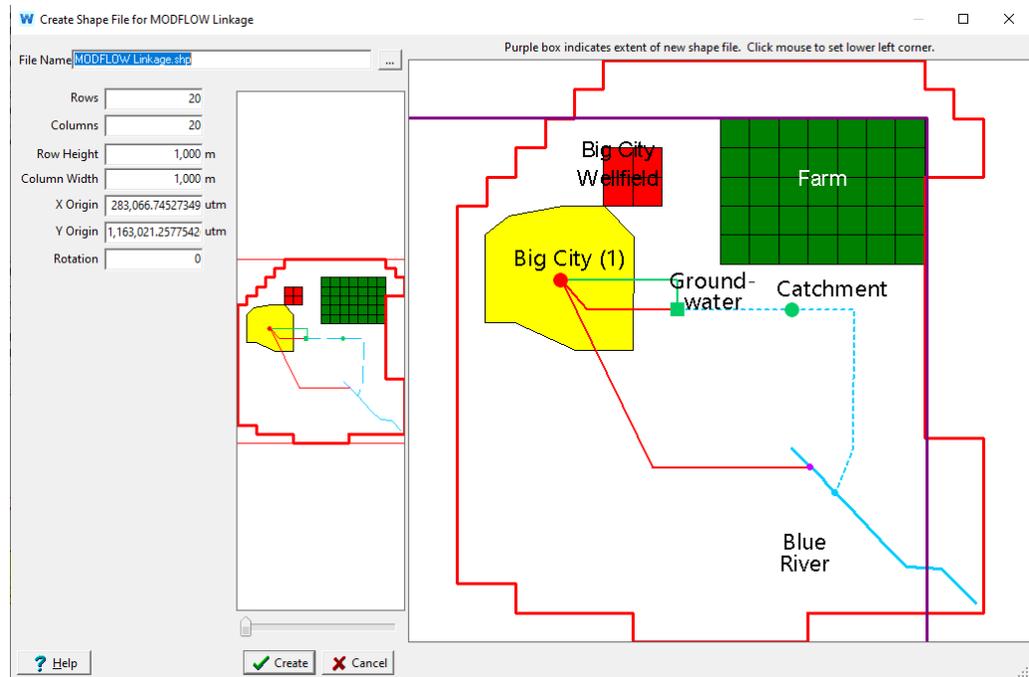


En la siguiente ventana, para "Shapefile del fondo con información de acople de MODFLOW", elija "<Crear nuevo archivo shape>". La siguiente ventana aparecerá:



El cuadro Nombre de archivo contiene el nombre de archivo para el nuevo shapefile. Utilice el nombre de archivo predeterminado ("MODFLOW Linkage.shp ") o ingrese otro nombre. Por ahora, ingrese "Acople creado MODFLOW.shp " como nombre. Los archivos shapefile siempre tienen una extensión .shp.

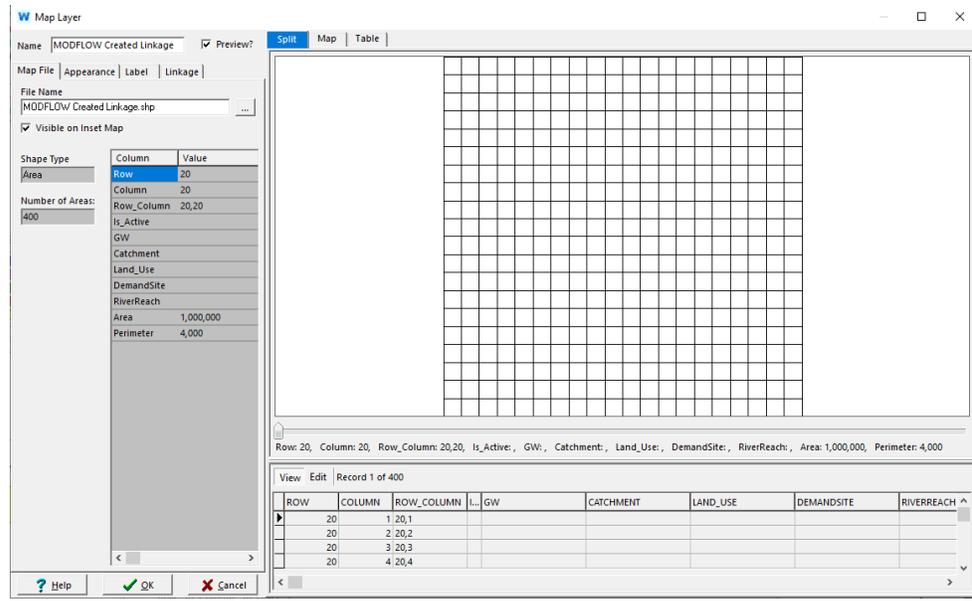
WEAP completa automáticamente el número de renglones y columnas, y la altura del renglón y el ancho de la columna, que se lee del archivo de discretización MODFLOW. Sin embargo, es obligatorio ingresar las coordenadas de origen del archivo de forma (X, Y: longitud, latitud) y el ángulo de rotación de las celdas para crear el archivo shapefile de acople correctamente. WEAP sugiere un par de coordenadas de origen basadas en la extensión de su área, estas coordenadas deben verificarse y modificarse si es necesario.



Si conoce los valores de latitud, longitud y rotación, puede ingresar los números directamente. Si no conoce los valores, puede hacer clic en el mapa para establecer el origen (esquina inferior izquierda). Verá un cuadro morado en el mapa que indica el área de todas las celdas. Mientras mantenga presionado el botón izquierdo del ratón, el cuadro morado se moverá con el ratón en la esquina inferior izquierda; suelte cuando el cuadro esté correctamente colocado. Puede acercar el mapa (usando el control deslizante de zoom debajo del mapa insertado a la izquierda, la rueda del ratón o control + clic y arrastrar en el mapa) para ayudar a lograr una mayor precisión en la ubicación del área.

Introduzca 285 000 para el origen X, 1 165 000 para el origen Y y 0 para la rotación. Haga clic en el botón Crear para crearlo.

Después de que se haya creado el shapefile, WEAP lo mostrará y le permitirá personalizar su apariencia en el esquema. Como puede ver en la pantalla a continuación, el nuevo shapefile es una cuadrícula 20x20 de 400 celdas.



Elija la opción de “El mismo color para cada shape”. Después de personalizar su apariencia, haga clic en el botón Aceptar. WEAP agregará esta capa a su esquema y lo regresará a la ventana "Elegir el shapefile que tenga información de enlaces MODFLOW".

Aparte de que WEAP crea las características poligonales del archivo de forma de acople, también agrega en la tabla de atributos los campos necesarios. La tabla de atributos asociada tiene campos para renglón (ROW), columna (COLUMN), renglón y columna unidas (ROW\_COLUMN), indicación de celda activa (IS\_ACTIVE), área (AREA), perímetro (PERIMETER) y para vincular elementos WEAP (nodos de aguas subterráneas, cuencas y sus clases de uso de suelo, sitio de demanda y ríos) a cada celda: GW, CATCHMENT, LAND\_USE, DEMANDSITE y RIVERREACH.

**Nota:**

- Los nombres de campos de la tabla de atributos representando cuencas, uso de suelo, nodos de aguas subterráneas, ríos y sitios de demanda que se vincularán se pueden personalizar. Deben seguirse las consideraciones de los nombres de campo en un SIG, p.ej., hasta 10 caracteres de longitud.
- Mientras personaliza la apariencia del shapefile, si desmarca "Visible en el mapa insertado", será más rápido dibujar el archivo de forma de acople en el Esquema y no ocultará todo lo demás en el mapa insertado.
- Si crea el archivo de forma de acople utilizando un software GIS, cópielo en el subdirectorio del área WEAP. De forma predeterminada, el nombre del archivo de enlace creado por WEAP es "MODFLOW Linkage.shp " y estará en el subdirectorio de su área.
- El shapefile de acople también se utilizará para mostrar los resultados de MODFLOW en WEAP.

#### 4. Acople de elementos WEAP a celdas MODFLOW utilizando el shapefile de acople

**Nota:**

Este paso lo guiará en cómo editar la tabla de atributos del shapefile. En lugar de dedicar tiempo ahora a completar toda la información en la tabla de atributos, puede usar un shapefile existente con toda esta información ya completada, vaya al siguiente paso si lo prefiere.

En general, las áreas de estudio representan las demandas de agua potable (ciudades), minería e industria mediante el uso de elementos de "sitio de demanda". En cuanto a la demanda de agua de riego, se representa mediante el uso de un "sitio de demanda" o una "cuenca de captación". Cuando se utilizan cuencas, habría infiltración en el acuífero debido al riego si se agregara un enlace de escorrentía/infiltración. El suministro de agua proviene de aguas superficiales y/o pozos ubicados en un acuífero representado en WEAP como un elemento de "agua subterránea". Los ríos pueden ser alimentados por manantiales y escorrentías superficiales de las cuencas. Al mismo tiempo, pueden conectarse hidráulicamente al agua subterránea. Además, las cuencas se pueden caracterizar en WEAP, incluida la clasificación de uso de suelo (por

ejemplo, bosques, pastizales, cultivos). Los flujos de retorno de los sitios de demanda y la infiltración de las cuencas se agregan como recarga en el paquete de recarga. Esto se agrega uniformemente solo en las celdas vinculadas a los sitios de demanda o cuencas, las mismas celdas vinculadas para realizar la extracción de agua subterránea. De forma predeterminada, las celdas vinculadas a los sitios de demanda y las cuencas se utilizan tanto para la extracción como para la recarga de aguas subterráneas.

El acople de elementos WEAP a celdas MODFLOW se realiza completando el campo adecuado de la tabla de atributos (captación, uso de suelo, agua subterránea, río y sitio de demanda) de cada entidad poligonal con el nombre exacto del elemento WEAP que desea vincular a una celda de MODFLOW. Las celdas MODFLOW se identifican en el shapefile de acople mediante el número de renglón y columna.

Puede editar esta tabla de varias maneras diferentes. Para editar dentro de WEAP, haga clic en el botón "Editar" arriba de la tabla inferior derecha y escriba los valores directamente en la tabla. También puede preparar la tabla en Microsoft Excel y importarla a un software SIG (asegúrese de que WEAP no esté abierto o que el shapefile no esté incluido en WEAP cuando edite el archivo de la tabla de atributos para que el archivo no esté bloqueado) o directamente en cualquier software SIG, como QGIS. El proceso podría requerir una competencia avanzada en un software SIG.

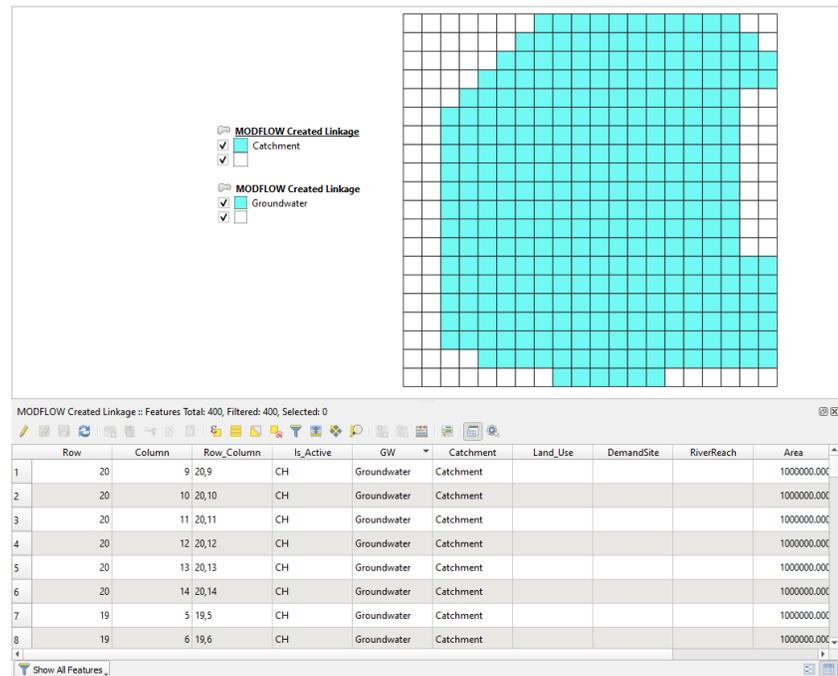
Usando los archivos MODFLOW, las celdas que representan pozos, ríos, drenajes, acuíferos pueden identificarse y generar un shapefile para cada uno. Los shapefile denominados UrbanWellfield.shp, RIVER.shp, SPRING.shp y Land\_Classes.shp almacenan la ubicación de los pozos, las celdas de río MODFLOW (paquete RIVER), las celdas de drenaje MODFLOW (paquete DRAIN) y las clases de uso de suelo de la cuenca, respectivamente. Los shapefile están en la carpeta del área WEAP del modelo.

Por ejemplo, si un nodo de agua subterránea en WEAP quiere vincularse, se debe identificar la extensión espacial del acuífero en el modelo MODFLOW. Luego, se debe seleccionar las entidades poligonales en el shapefile de acople que se superponen al acuífero y se debe completar el nombre exacto del nodo de agua subterránea en el campo de la tabla de atributos que representa los nodos de agua subterránea. Este procedimiento debe seguirse para vincular cuencas y clases de uso de suelo y ríos.

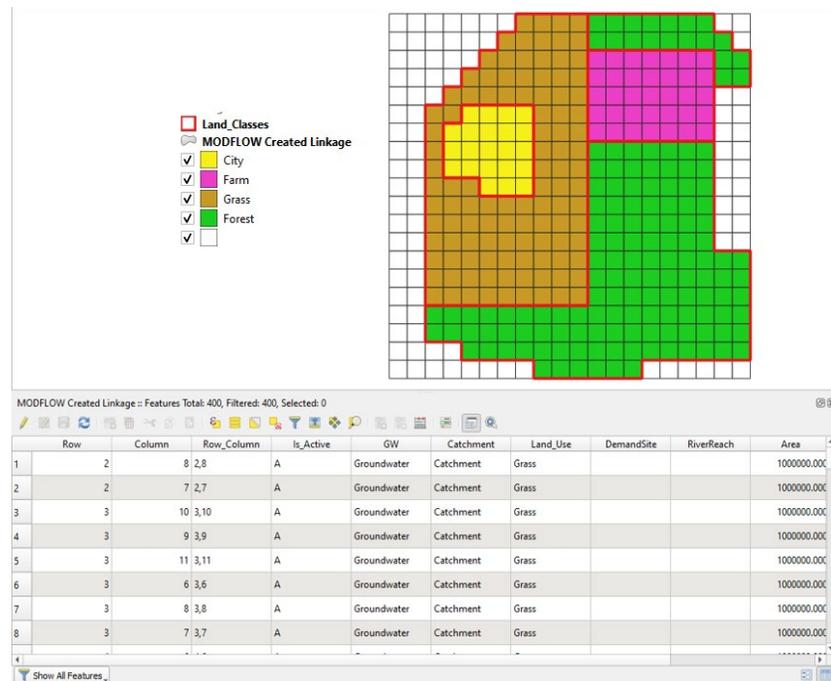
**Nota:**

- Se debe considerar que el esquema WEAP puede no estar representando la espacialización real de los elementos del sistema, por lo que se debe verificar la localización de los elementos WEAP utilizando la cartografía disponible.
- El acople de los sitios de demanda se debe hacer a las mismas celdas que representan el acuífero o a celdas específicas que representan dónde están los pozos (la extracción e infiltración se hará de manera uniforme a todas las celdas).
- Las sub-ramas del sitio de demanda se pueden vincular a celdas MODFLOW; agregue el nombre de la sub-rama al nombre del sitio de demanda en el campo de atributo para vincular sitios de demanda usando la siguiente sintaxis: [Nombre del sitio de demanda]\[Nombre de la sub-rama] , Si vincula una sub-rama, debe vincularlas todas para ese sitio de demanda. Además, debe vincular en el nivel más bajo de desagregación, no en un nivel intermedio. No agregue ningún carácter de espacio antes o después de la barra invertida.
- Una celda MODFLOW activa solo se puede vincular a un elemento de cuenca y uso de suelo, agua subterránea y río. Para un renglón y una columna dados, cada capa MODFLOW estará vinculada al mismo elemento. Una celda MODFLOW activa se puede vincular a más de un elemento del sitio de demanda, para hacerlo, deberá agregar tantos campos como elementos de sitios de demanda para vincular. Esto debe hacerse cuando un pozo es utilizado por más de un usuario. Se recomienda utilizar un número después del nombre del campo (por ejemplo, DemandS1, DemandS2).
- Cuando se utiliza el paquete River (RIV) MODFLOW, se debe vincular un subconjunto de tramos de río de WEAP. Agregue el nombre del tramo de río al nombre del río en el campo de atributo para vincular ríos utilizando la siguiente sintaxis: [Nombre del río],[ Nombre del tramo]. No agregue ningún carácter de espacio antes o después de la coma.
- Antes de vincular las celdas de drenaje MODFLOW, debe identificarlas utilizando el paquete Drain (DRN) MODFLOW y agregar un río para representar cada drenaje. Luego, las celdas de drenaje MODFLOW se pueden vincular en el shapefile de acople siguiendo el mismo procedimiento que se describe para los ríos.

En este modelo WEAP, solo hay un nodo de agua subterránea llamado "Groundwater" para vincular. Edite la tabla usando su software GIS preferido asignando el nombre "Groundwater" para cada celda que corresponda a un acuífero en el modelo MODFLOW. En este caso, toda la celda activa representa un acuífero. El nombre debe ingresarse en el campo de la tabla de atributos etiquetado como GW. Repita este proceso para asignar el nombre de la cuenca ("Catchment") en el campo Catchment. En este caso, las celdas de captación son las mismas celdas que representan el acuífero. Cuando termine, si usa el campo GW o el campo Catchment para personalizar la apariencia del shapefile de acople en un SIG, debe ver lo siguiente:

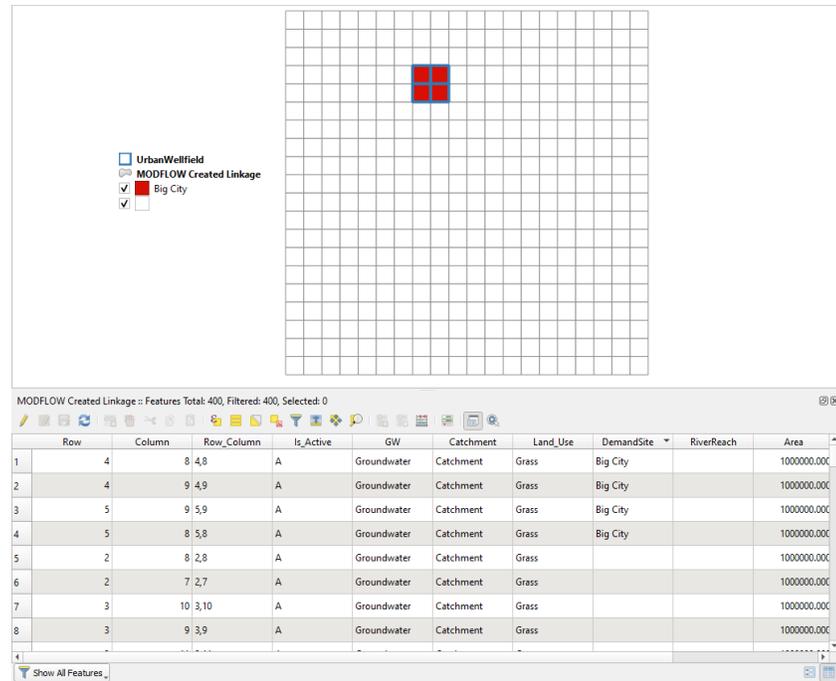


Para vincular clases de uso de suelo, use Land\_Classes.shp archivo. Este archivo almacena la distribución del uso de suelo dentro de la cuenca. La herramienta "Seleccionar por ubicación" en cualquier software SIG es útil para seleccionar celdas específicas en función de su ubicación en relación con las entidades en otra capa. Rellene el campo Land\_Use especificando el nombre de cobertura de la clase de suelo (Farm, City, Forest, Grass) según corresponda. Una vez que hayas terminado debes tener lo siguiente:

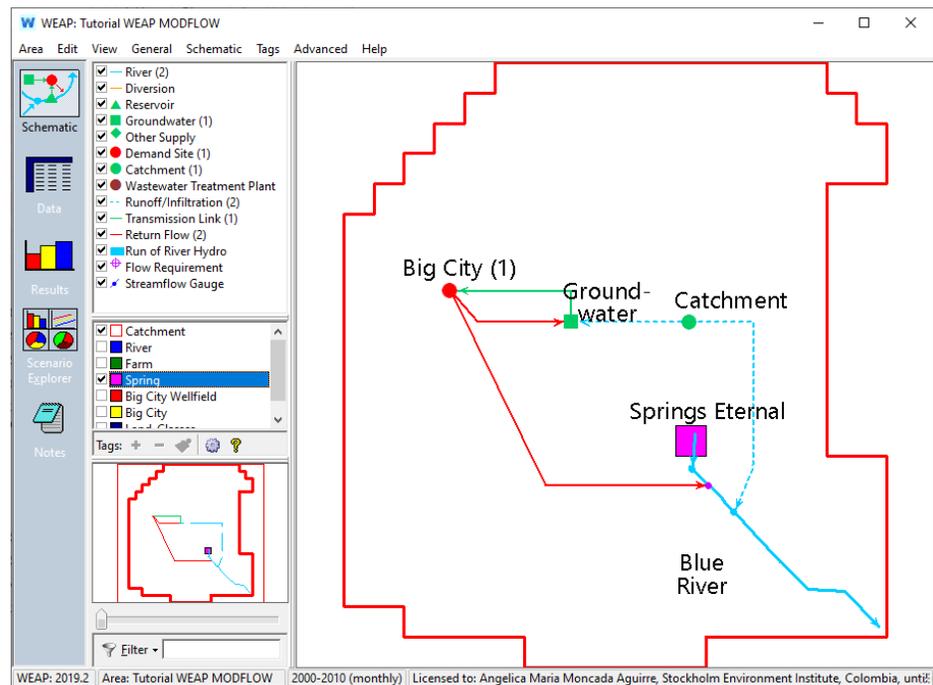
**Nota:**

Puede ser que las clases de uso de suelo del shapefile del uso de suelo sean diferentes a los nombres de las ramas que se usan en WEAP para definir las clases de uso de suelo dentro de una cuenca. Se deben usar los nombres WEAP para completar la tabla de atributos del shapefile de acople.

Para vincular el sitio de demanda denominado "Big City" se deben identificar las celdas del pozo. Utilice UrbanWellfield.shp shapefile para asignar el nombre del sitio de demanda solo a las celdas donde se encuentran los pozos (ver la figura a continuación).

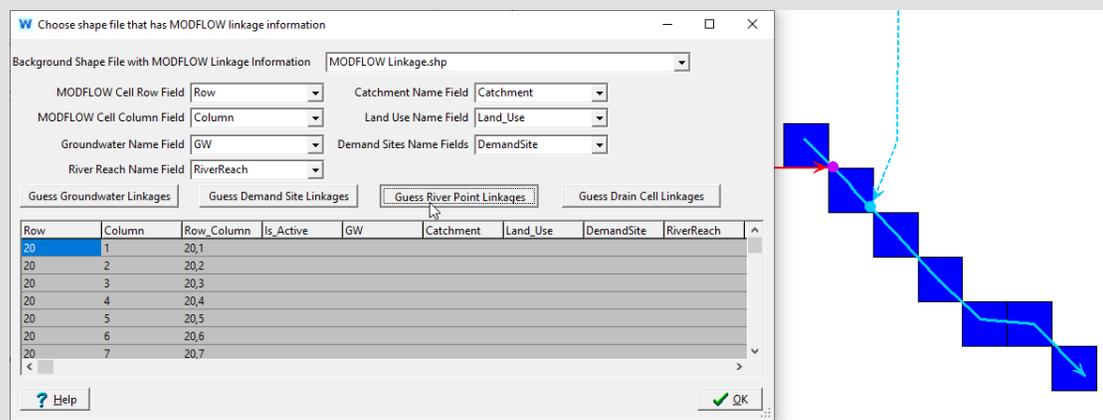


Finalmente, los tramos de los ríos deben estar vinculados. Primero, se deben identificar las celdas de drenaje MODFLOW (paquete DRN) y se debe agregar un río por cada drenaje en WEAP. Utilice el SPRING.shp shapefile para verificar dónde están las celdas de drenaje MODFLOW. Las celdas de drenaje consecutivas se consideran un drenaje. En este caso, solo hay una celda de drenaje, agregue un río llamado "Springs Eternal" (ver figura a continuación).



**Nota :**

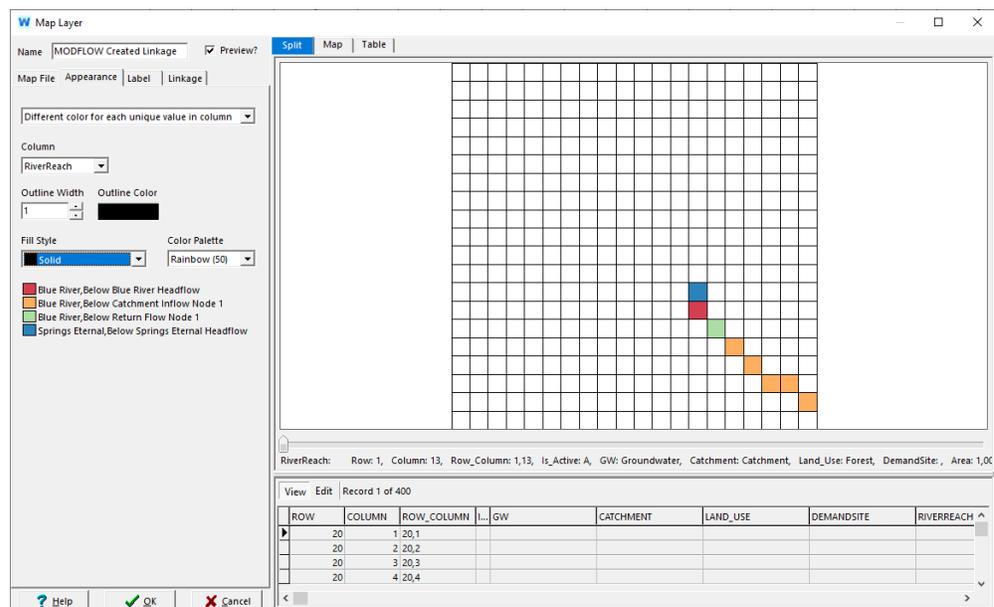
WEAP tiene una herramienta útil cuando se llena la tabla de atributos, los botones de "Asumir enlaces" para aguas subterráneas, sitios de demanda, ríos y drenaje. WEAP intenta adivinar cuál celda MODFLOW podría vincularse a un elemento WEAP en función de la proximidad en el esquema. Por ejemplo, como se muestra en la siguiente figura, al hacer clic en el botón "Adivinar enlaces de puntos de río", WEAP identifica las entidades poligonales más cercanas en el archivo de enlace que se superponen a los tramos de río WEAP y a las celdas activas en el paquete River (RIV) (cuadrados azules). Cuando haya terminado, WEAP escribirá los nombres de los tramos de río en el campo del archivo de formas del río (por ejemplo, el campo "RiverReach" como aparece en la figura).



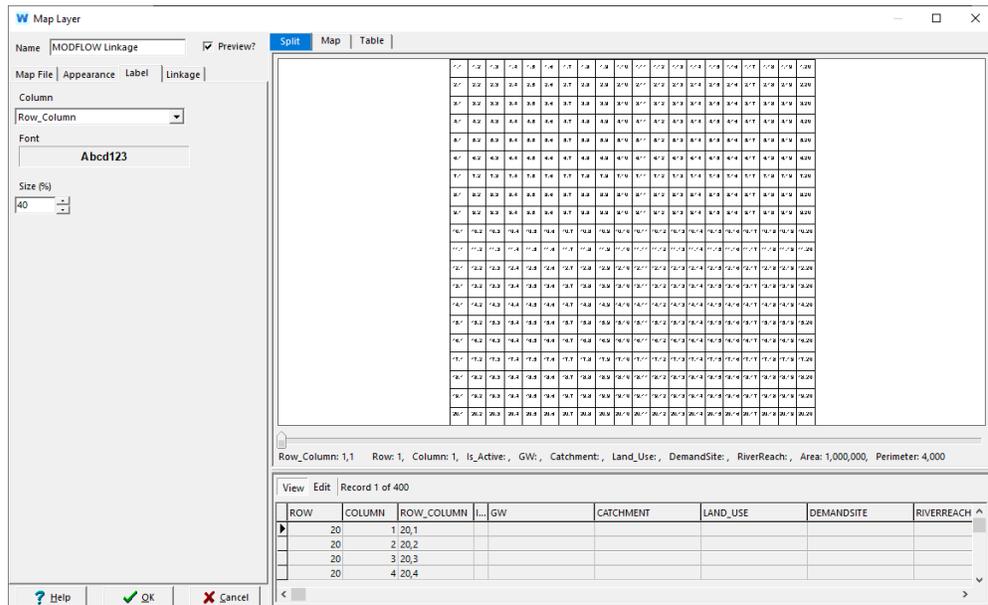
- Antes de utilizar esta herramienta, se debe realizar la edición del curso del río o la localización del elemento WEAP de interés para que coincida con las celdas MODFLOW a vincular.
- Los botones "Guess River Point Linkages" (tercer) y "Guess Drain Cell Linkages" (cuarto) funcionarán correctamente solo si el curso de los ríos se superpone con el río y las celdas de drenaje (paquetes RIVER y DRAIN). Cuando se utiliza la herramienta, cada sitio de demanda se vinculará a una sola celda y los nodos de agua subterránea se vincularán para que todas las celdas activas estén vinculadas.
- Después de usar esta herramienta, se debe verificar qué nodos y celdas ha adivinado WEAP para asegurarse de que sean correctos. La forma más sencilla de hacer esto es mostrar los vínculos en el esquema WEAP o en un software SIG. Si la tabla de atributos tiene errores, se recomienda utilizar un software SIG para editar el shapefile de acople.

- Todas las extracciones y retornos a un nodo de agua subterránea, sitio de demanda o cuenca se distribuirían uniformemente desde/hacia todas las celdas vinculadas.
- Los nombres de los tramos de río se agregan a la tabla de atributos teniendo en cuenta la nomenclatura de WEAP. Si se cambia la nomenclatura, el shapefile de acople ya no funcionará. WEAP debe ejecutarse utilizando la nomenclatura utilizada para generar el shapefile de acople.

Vincule los tramos del río usando el (tercer) botón "Guess River Point Linkages". Para hacer esto, verifique que su archivo de acople llamado "MODFLOW Created Linkage.shp" esté en WEAP, si no, agregue esta capa vectorial. El botón "Guess River Point Linkages" está disponible en la ventana "Elegir el shapefile que contiene la información de enlaces MODFLOW". Luego, seleccione sí en la ventana emergente donde WEAP indica que sobrescribirá cualquier valor de alcance del río que ya esté en el shapefile. Una vez hecho esto, WEAP indicará cuántas celdas se vincularon a tramos de río. Repita el proceso con el (cuarto) botón "Guess Drain Cell Linkages". Haga clic en Aceptar para cerrar la ventana. Haga clic en Cerrar en la ventana "Enlace al modelo MODFLOW de Agua Subterránea" para volver al esquema. Verifique los tramos de río que estaban vinculados al drenaje MODFLOW y las celdas de río cambiando la apariencia del archivo de forma (vea la figura a continuación).



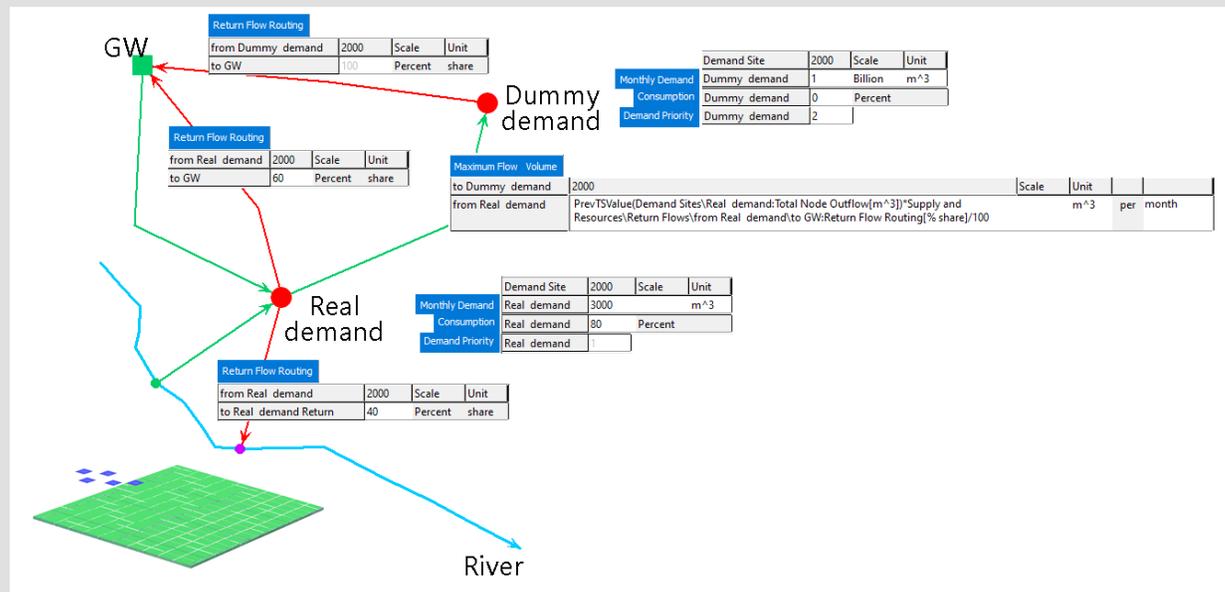
En la misma ventana, elija "R\_C" para el Campo en la pestaña Apariencia y establezca el Tamaño en 40%. Haga clic en Aceptar para cerrar la ventana.



En este punto, el shapefile de acople ya está completo. Los nombres de los nodos de aguas subterráneas, las cuencas y su clasificación de uso de suelo, los sitios de demanda y los tramos de los ríos se agregaron a la tabla de atributos del shapefile de acople.

**Nota:**

En el caso de que la infiltración se aplique a celdas distintas de donde se realiza la extracción, es necesario agregar una “demanda ficticia”. Un ejemplo se muestra en la siguiente figura. En este ejemplo, el bombeo de pozos ocurre en una pequeña cantidad de celdas (azul) mientras que la infiltración del uso del agua se distribuye en una mayor cantidad de celdas (verde). El sitio de demanda llamado "Real demand" representa la demanda original en WEAP y debe conectarse en el shapefile de acople a las celdas que se muestran en azul (celdas que representan la ubicación de los pozos), el sitio de demanda llamado "Dummy demand" es la nueva demanda que debe agregarse en WEAP para poder representar la infiltración a diferentes celdas y debe conectarse en el shapefile de enlace a las celdas que se muestran en verde (celdas que representan el área de infiltración).



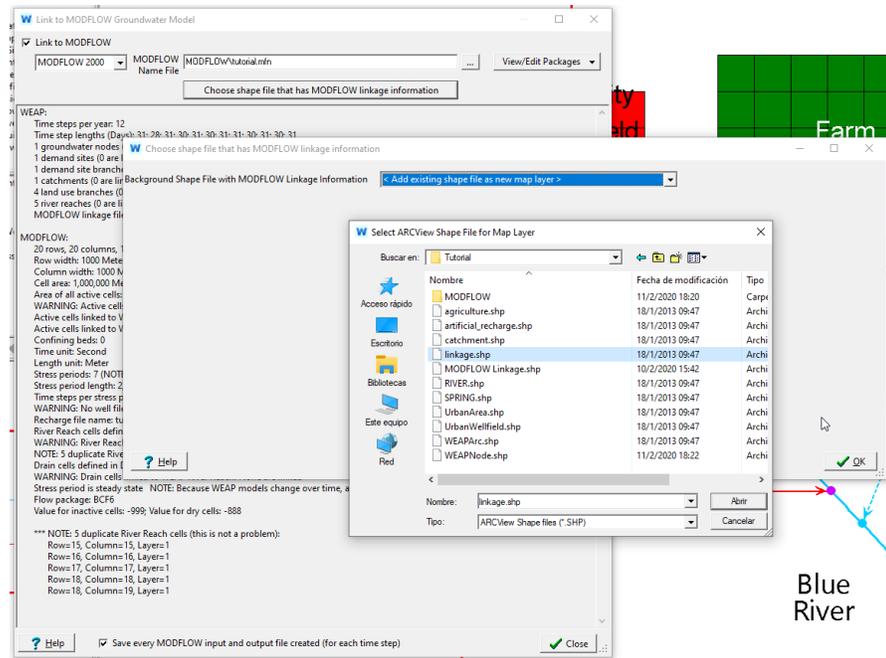
La “Real demand” podría tener más de una conducción o flujo de retorno. En el caso de más de un flujo de retorno, se debe sumar la expresión para “Máximo Volumen del Caudal” en el enlace de conducción de la “Real demand” a la “Dummy demand”. “PrevTSTValue(Sitios de demanda y Cuencas\[Real Demand Name]):Nodo de salida total[m<sup>3</sup>]\* Recursos y Suministro\Flujos de Retorno\desde [Nombre de la demanda real]\a [Nombre del elemento de agua subterránea]:Enrutamiento del Flujos de Retorno.[% de participación]/100, la unidad de la variable debe ser cambiado según el paso de tiempo del modelo (por ejemplo, mes si es un modelo mensual). Lo anterior no es necesario si la “Real demand” solo tiene un flujo de retorno a un elemento de agua subterránea.

Es importante que: a) La prioridad de la “Dummy demand” sea inferior a la de la “Real demand”, b) La demanda de agua de la “Dummy demand” sea superior en todos los tramos de tiempo a la de la “Real demand”. Se recomienda un valor significativamente alto, como 1 mil millones de m<sup>3</sup>. Y c) el consumo de la “Dummy demand” debe fijarse en 0%.

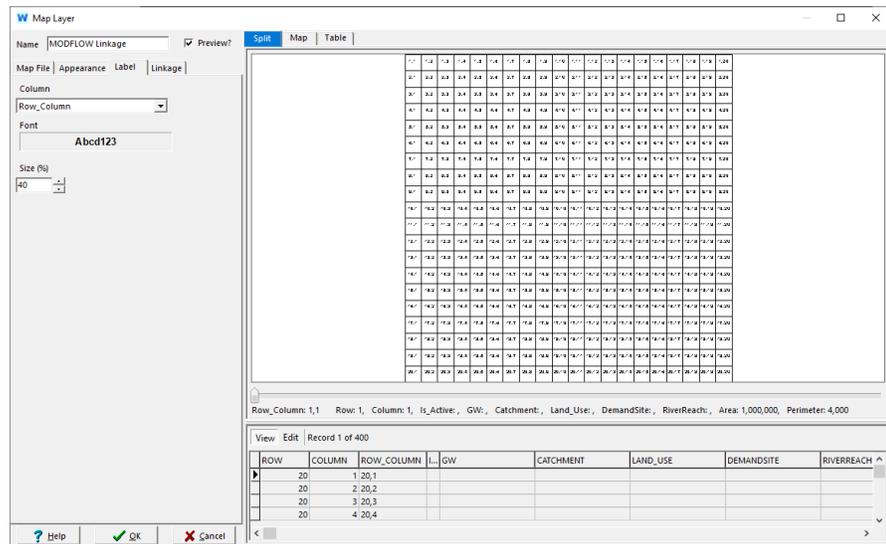
Según el esquema, si bien la demanda de agua de la “Dummy demand” es de 1 mil millones de m<sup>3</sup>, la WEAP la abastecerá únicamente con el agua no consumida por la “Real demand”. En este caso, suponiendo que la oferta de agua de la “Real demand” fuera del 100% y utilizando los datos que se muestran en la figura, la infiltración al acuífero sería:  $3000 \text{ m}^3/\text{mes} (\text{oferta}) * 20\% (100\% - \text{consumo}) * 60\%$  (caudal de retorno enrutamiento de la “Real demand” a “GW”) = 360 m<sup>3</sup>/mes. Este resultado sería el mismo sin la implementación de la "Dummy demand", pero debido a que la infiltración quiere ser modelada en celdas diferentes a las celdas desde donde se haría la extracción (bombeo), es necesario utilizar este esquema.

## 5. Usar un archivo de forma existente

Usaremos un archivo de forma existente con toda esta información ya completada. En la ventana "Elegir el shapefile que contiene la información de enlaces MODFLOW", seleccione "< Agregar un archivo shape como nueva capa del mapa >" para el "Shapefile del fondo con información de la vinculación MODFLOW ". Aparecerá un cuadro de diálogo que le pedirá que seleccione el shapefile de acople a utilizar. Elija “linkage\_esp.shp” (en el directorio Tutorial) y haga clic en Abrir.



En la pantalla "Mapa de estratos", cambie el nombre a "Acople MODFLOW" en la pestaña "Etiqueta", elija "R\_C" para el Campo en la pestaña Apariencia y establezca el Tamaño en 40%. Haga clic en Aceptar para cerrar la ventana.



## 6. Vincular el modelo MODFLOW al modelo WEAP

Después de elegir su shapefile, ya sea por el método de crear el shapefile o agregar un shapefile existente, debe especificar cuál de los campos en la tabla de atributos de acople se usará para el acople y a qué elementos MODFLOW

y WEAP corresponden. Basado en los nombres de las columnas de la tabla de atributos del archivo de formas de acople, WEAP intentará adivinar qué campos se usan para qué. Por ejemplo, si encuentra campos que contienen los nombres "Row" y "Col", asumirá que estos contienen los valores de renglón y columna de MODFLOW. En este ejemplo, WEAP puede adivinar correctamente todos los campos:

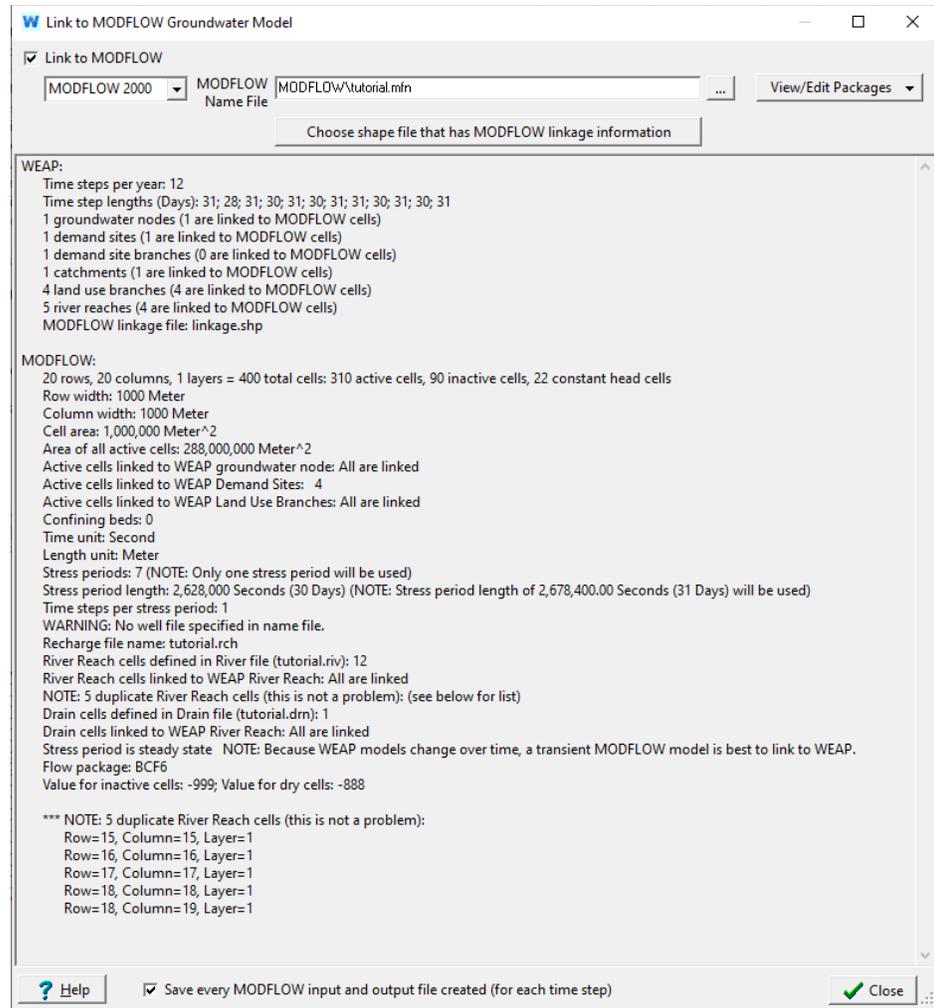
Row	Column	Row_Column	Is_Active	GW	Catchment	Land_Use	DemandSite	RiverReach	Area	Perimeter
20	1	20,1							1000000	4000
20	2	20,2							1000000	4000
20	3	20,3							1000000	4000
20	4	20,4							1000000	4000
20	5	20,5							1000000	4000
20	6	20,6							1000000	4000
20	7	20,7							1000000	4000
20	8	20,8							1000000	4000

Si no adivinó correctamente, seleccionaría el campo apropiado para cada elemento (p. ej., Campo de nombre de agua subterránea). Haga clic en Aceptar para cerrar esta ventana.

WEAP podrá vincular las celdas MODFLOW a los elementos WEAP después de que haya elegido el archivo de forma y especifique qué campos dentro de él contienen la información de acople.

Es necesario verificar en la ventana "Enlace al modelo MODFLOW de Agua Subterránea" bajo el encabezado WEAP cuántos elementos WEAP se vincularon a las celdas MODFLOW (por ejemplo, el texto entre paréntesis muestra esta información en la figura a continuación). No es necesario vincular todos los elementos, depende del esquema de su modelo. Tenga en cuenta que WEAP ahora informa el archivo de forma de acople y cuántos de los elementos WEAP y MODFLOW están vinculados entre sí, por ejemplo, "1 nodos agua subterránea (1 estan vinculados a celdas MODFLOW)".

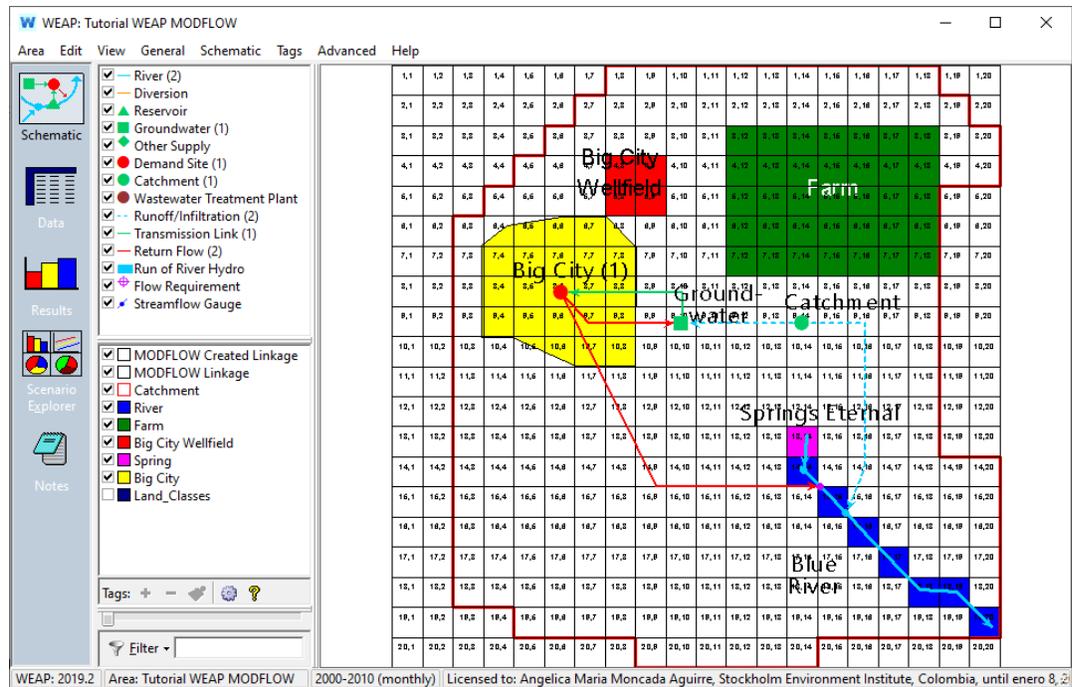
Además, debe verificar que todas las celdas activas estén vinculadas a elementos WEAP, esto se puede ver en el encabezado MODFLOW, "Activa celdas vinculadas a WEAP nodo de agua subterránea.:Todos están vinculados." Haga clic en Cerrar para volver al Esquema WEAP.



**Nota:**

- Asegúrese de marcar la casilla en la parte inferior ("Save every MODFLOW input and output file created (for each time step)") para que los resultados estén disponibles para verlos en WEAP y pueda ejecutarlos usted mismo en MODFLOW fuera de WEAP, ver los resultados con más detalle, o hacer pequeños cambios en las entradas.
- WEAP crea un conjunto de nuevos archivos de entrada temporales para cada paso de tiempo y escenario. Todos los nombres de archivos temporales comienzan con " !MF !" para distinguirlos de otros archivos.
- Cualquier cambio que realice directamente en los archivos de entrada temporales se perderá la próxima vez que WEAP realice sus cálculos, por lo que se recomienda guardarlos en otro directorio si desea conservarlos.
- Si el modelo MODFLOW incluye capas confinadas, puede agrupar una o más capas en distintos acuíferos para generar informes. Haga clic en el botón "Definir acuíferos" para especificar cuántos acuíferos existen y qué capas corresponden a qué acuíferos. Esta opción no está disponible si el modelo tiene solo una capa.

Las capas "Acople MODFLOW" y "Acople creado MODFLOW" ahora están en la lista de capas de fondo, ordenadas en la parte superior. Tenga en cuenta que WEAP solo puede vincularse a una capa MODFLOW a la vez, por lo que, aunque se muestren ambas, WEAP solo extraerá datos de la capa especificada en la ventana "Elegir el shapefile que contiene información de enlaces MODFLOW" (En Avanzado/Nexo con MODFLOW (Flujo Agua Subterránea)/Enlace al modelo MODFLOW de Agua Subterránea que tiene el botón de acople MODFLOW. En este caso, WEAP está vinculado a linkage\_esp.shp, que se muestra en WEAP como Acople MODFLOW. Si desea cambiar el orden de las capas en la ventana del elemento, haga clic derecho en el nombre de la capa y elija "Mover hacia abajo".



Tómese un momento ahora para ver la otra información contenida en este archivo de acople. Haga clic con el botón derecho en el nombre "Acople MODFLOW", elija "Definir Etiqueta como" y elija uno de los otros campos, como "Land\_Use". Esto le mostrará a cuál de las cuatro clases de tierra (Grass, City, Forest, Farm) corresponde cada celda. Teniendo en cuenta que la cuenca está conectada al nodo de agua subterránea y se modela mediante el uso de Esgurrimento de Lluvia (método del coeficiente simplificado), las mismas celdas vinculadas a la cuenca se recargarán con la escorrentía superficial de la cuenca. Elija el campo "DemandSite" para ver desde qué celdas bombeará el sitio de demanda de Big City. Según el esquema, las mismas celdas se recargarán con la descarga de agua de Big City. Elija el campo "GW" para ver qué celdas MODFLOW están vinculadas al nodo de agua subterránea WEAP llamado "Agua subterránea". Finalmente, elija el campo "RiverReach" para ver qué celdas están vinculadas a los tramos de río WEAP de "Blue River".

Finalmente, es necesario revisar los datos ingresados previamente en WEAP en las variables relacionadas con las aguas subterráneas o influenciadas por la interacción agua superficial – agua subterránea. La siguiente tabla muestra la lista de variables que pueden haber sido ingresadas en los modelos WEAP y algunos comentarios que deben ser considerados:

Elemento	Variable	Unidad	Comentarios
Captaciones de Lluvia Escorrentía (método de humedad del suelo)	Dirección de flujo preferida		Cuando se usa Rainfall Runoff (método de humedad del suelo) y la cuenca tiene un enlace de infiltración de escorrentía conectado a un nodo de agua subterránea, es útil para controlar el flujo del primer flujo al segundo (0 = 100 % horizontal, 1 = 100 % vertical).).
Sitios de demanda y cuencas	Consumo	%	Define el porcentaje de la demanda bruta que fluirá por el enlace de flujo de retorno (desde el sitio de demanda al río o nodo de aguas subterráneas), o por el enlace de transmisión ( cuando el sitio de demanda está conectado a otro sitio de demanda o a una planta de tratamiento de aguas residuales). ).
Sitios de demanda y cuencas de captación, incluidas las áreas de riego	Prioridad de demanda		Es útil para controlar el orden en que WEAP extrae agua de las fuentes de agua disponibles (ríos, aguas subterráneas) para satisfacer la demanda.
agua subterránea	Almacenamiento inicial	Millones de m <sup>3</sup>	Los datos existentes deben ser eliminados. Dejar vacío.
agua subterránea	Retiro Máximo	Millones de m <sup>3</sup>	Podría utilizarse para establecer restricciones de acuerdo con las reglas de funcionamiento.
agua subterránea	Recarga natural	Millones de m <sup>3</sup>	Los datos existentes deben ser eliminados. Dejar vacío.
agua subterránea	Capacidad de almacenamiento	Millones de m <sup>3</sup>	Los datos existentes deben ser eliminados. Dejar vacío.
Embalses	Pérdida de agua subterránea	Millones de m <sup>3</sup>	Los datos existentes deben ser eliminados. Dejar vacío.  Una solución alternativa es incluir una demanda ficticia que extraiga agua del embalse y la descargue al nodo de agua subterránea.

Elemento	Variable	Unidad	Comentarios
Flujos de retorno	Ganancia de agua subterránea	Millones de m <sup>3</sup>	<p>Los datos existentes deben ser eliminados. Dejar vacío.</p> <p>Una solución alternativa es incluir una demanda ficticia que extraiga agua del nodo de agua subterránea y la descargue en el mismo punto de descarga del sitio de demanda donde se conecta este flujo de retorno.</p>
Flujos de retorno	Pérdida de agua subterránea	%	<p>Los datos existentes deben ser eliminados. Dejar vacío.</p> <p>Una solución alternativa es incluir una demanda ficticia que extraiga agua del sitio de demanda y la descargue al nodo de agua subterránea.</p>
Flujos de retorno	Enrutamiento del flujo de retorno	% compartir	Define el porcentaje del caudal que va a las distintas fuentes donde se realizan los vertidos de agua (ríos, nodos de aguas subterráneas, depuradoras)
Río	Entrada de agua subterránea	Millones de m <sup>3</sup>	<p>Se desactiva cuando se utiliza el acoplamiento MODFLOW.</p> <p>Cuando el modelo MODFLOW no usa el paquete River (RIV) o Drain (DRN), MODFLOW no va a modelar la interacción agua superficial – agua subterránea. Una solución alternativa es incluir una demanda ficticia que extraiga agua del nodo de agua subterránea y la descargue al río.</p>
Río	Salida de agua subterránea	%	<p>Se desactiva cuando se utiliza el acoplamiento MODFLOW.</p> <p>Cuando el modelo MODFLOW no usa el paquete River (RIV) o Drain (DRN), MODFLOW no va a modelar la</p>

Elemento	Variable	Unidad	Comentarios
			interacción agua superficial – agua subterránea. Una solución alternativa es incluir una demanda ficticia que extraiga agua del río y la descargue al nodo de agua subterránea.
Escorrentía e Infiltración	Flujo de agua subterránea a agua subterránea	Millones de m <sup>3</sup>	Los datos existentes deben ser eliminados. Dejar vacío.  Esto está modelado por el modelo MODFLOW
Enlaces de transmisión	Pérdida de agua subterránea	%	Los datos existentes deben ser eliminados. Dejar vacío.  Una solución alternativa es incluir una demanda ficticia que extraiga agua del sitio de demanda y la descargue al nodo de agua subterránea.
Enlaces de transmisión	Preferencia de suministro		Define la preferencia de una fuente cuando un sitio de demanda o una cuenca con riego tiene múltiples fuentes.

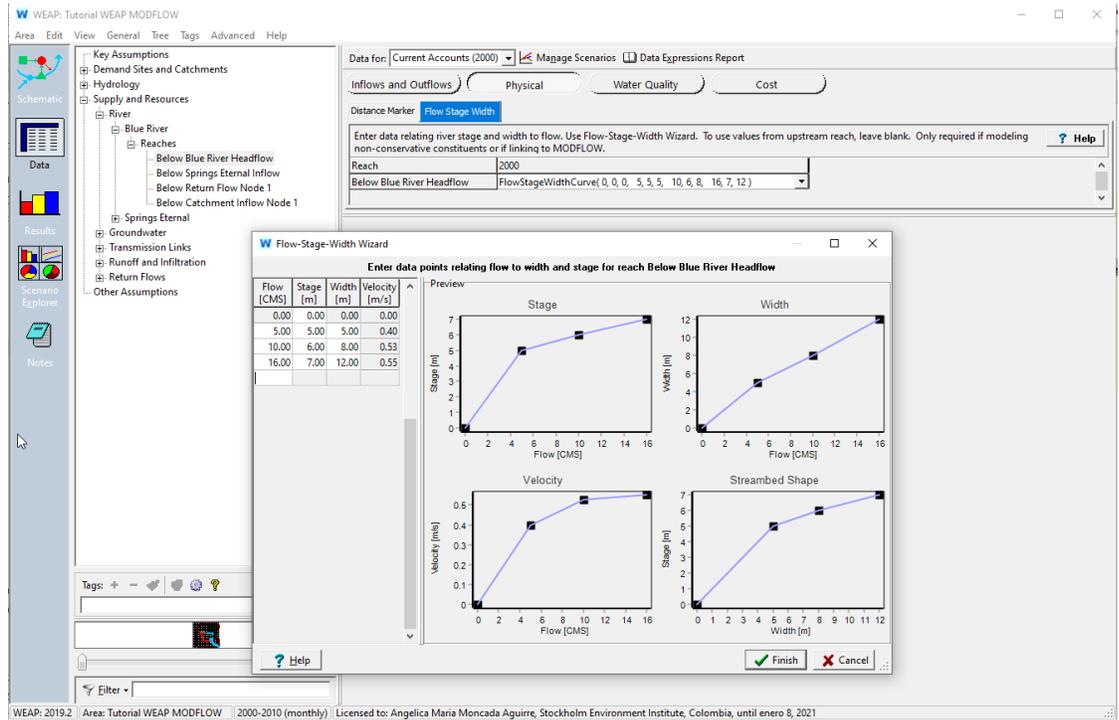
Verifique que la información ingresada para Almacenamiento inicial, Recarga natural y Capacidad de almacenamiento del nodo de agua subterránea esté vacía.

## 7. Establecer el ancho del nivel del caudal

La interacción agua superficial-agua subterránea requiere la curva de índice de caudal de etapa, que representa la relación entre el nivel del agua y el caudal en un punto determinado de un río. Esta relación debe especificarse en “Ancho del nivel del caudal” en la pestaña “Físico”. Esta pestaña solo está visible cuando se selecciona un tramo de río en el árbol de datos.

Vaya a la Vista de Datos y luego a Recursos y Suministro/Río/Blue River/Tramos/Por debajo de Blue RiverCaudal de Cabecera e ingrese los siguientes datos usando el asistente de ancho de etapa de flujo:

Caudal	Nivel de Agua	Ancho
0	0	0
5	5	5
10	6	8
16	7	12



Copie y pegue la misma expresión en Recursos y Suministro/Río/Springs Eternal/Tramos/Por debajo de Springs Eternal Caudal de Cabecera.

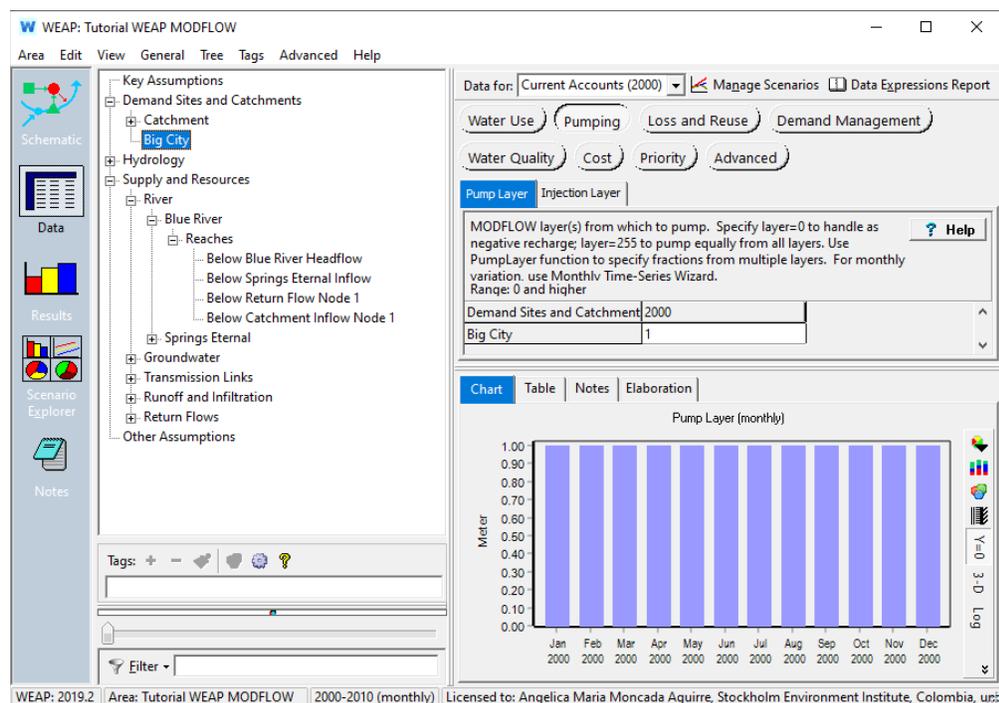
**Nota:**

Las expresiones deben completarse en tantos tramos de río como sea posible. Sin embargo, considerando que este tipo de información es limitada, WEAP podría calcular la interacción agua superficial – agua subterránea ingresando la expresión solo en el primer tramo del río.

**8. Establecer capa de bombeo**

Un último paso para vincular el modelo WEAP con el modelo MODFLOW es especificar desde qué capa MODFLOW bombeará el sitio de demanda de Big City. En general, un sitio de demanda o un nodo de captación puede bombear desde una sola capa, desde muchas capas (en proporciones iguales o

diferentes), o hacer que el bombeo se maneje como recarga negativa en el archivo de recarga MODFLOW. Nuestro Acople MODFLOW tiene solo una capa de datos (que puede verificar yendo a Avanzado/ Nexo con MODFLOW (Flujo Agua Subterránea) donde dice "MODFLOW" y luego enumera los números de renglones, columnas y capas). Debido a que solo hay una capa, las opciones de bombeo son desde la capa 1 o como recarga negativa. Queremos bombear desde la capa 1. Vaya a la Vista de Datos, seleccione "Big City" en el árbol de datos, luego haga clic en la categoría "Bombeo" en la parte superior e ingrese "1" para la expresión. En el caso de querer representar bombeo como recarga negativa ingresaría la capa de bombeo = 0.



Ahora ha vinculado el modelo WEAP al modelo MODFLOW.

**Nota:**

El bombeo para satisfacer sitios de demanda o clases uso de suelo de una cuenca (p.ej. irrigación) puede manejarse como bombeo en el archivo de pozo o como recarga negativa en el archivo de recarga. Similarmente, se puede usar pozos para representar recarga artificial de flujo de retorno. En el caso de utilizar pozos de inyección para la recarga artificial del flujo de retorno de un sitio de demanda, especifique la(s) capa(s) MODFLOW en las que inyectar (recargar) agua. La capa de bombeo y la capa de inyección se especifican en la Vista de Datos en la pestaña de Bombeo para sitios de demanda y en la pestaña de Irrigación para cuencas.

- La capa de bombeo y la capa de inyección solo se usan cuando se vincula MODFLOW a WEAP.
- Cuando se especifica la capa  $> 0$ , WEAP agregará celdas al archivo de pozo si aún no están allí. Especifique `layer=255` para que una celda tenga bombeo o inyección por igual de todas las capas de esa celda. El paquete de pozos será modificado.
- Deje en blanco o especifique `layer=0` para manejar los retiros como recarga negativa (bombeo) o los flujos de retorno como recarga positiva (inyección). El paquete de recarga será modificado.
- Utilice la función `PumpLayer` para especificar fracciones bombeadas desde (bombeo) o hacia (inyección) diferentes capas.
- La capa de bombeo e inyección puede variar según el escenario y con el tiempo.
- Las capas de inyección solo se pueden usar para los flujos de retorno del sitio de demanda, no para la infiltración de la cuenca.
- Si la configuración (en General/Parámetros Básicos) para "Bombeo MODFLOW si las celdas están secas o inactivas" es "Do not reapportion pumping from dry or inactive cells", WEAP reducirá el bombeo de agua subterránea por sitios de demanda y captaciones de estas celdas de secado en consecuencia. Esto dará como resultado demandas no satisfechas y se incluirán en los informes de "Reducción de bombeo" de MODFLOW.

- En la pantalla Parámetros Básicos, puede elegir si todos los sitios de demanda y las subramas de captación bombearán desde la misma capa o conjunto de capas de MODFLOW. Para la capa de inyección, WEAP utilizará la misma configuración que para MODFLOW Bombeos para Sitios de Demanda.

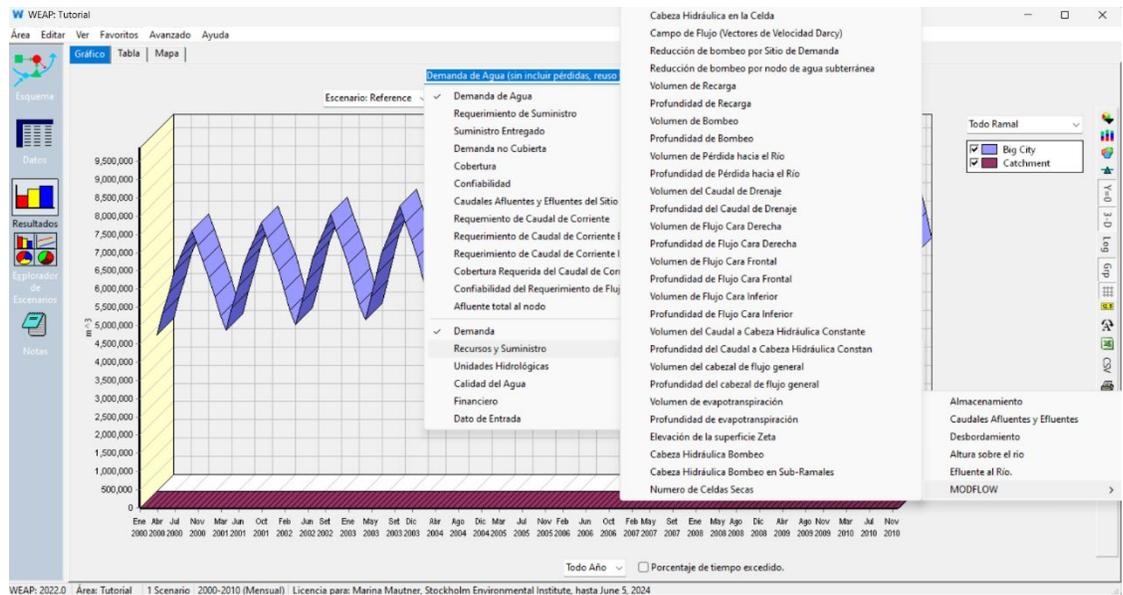
## Ejecución de MODFLOW y visualización de resultados

### 9. Ver resultados

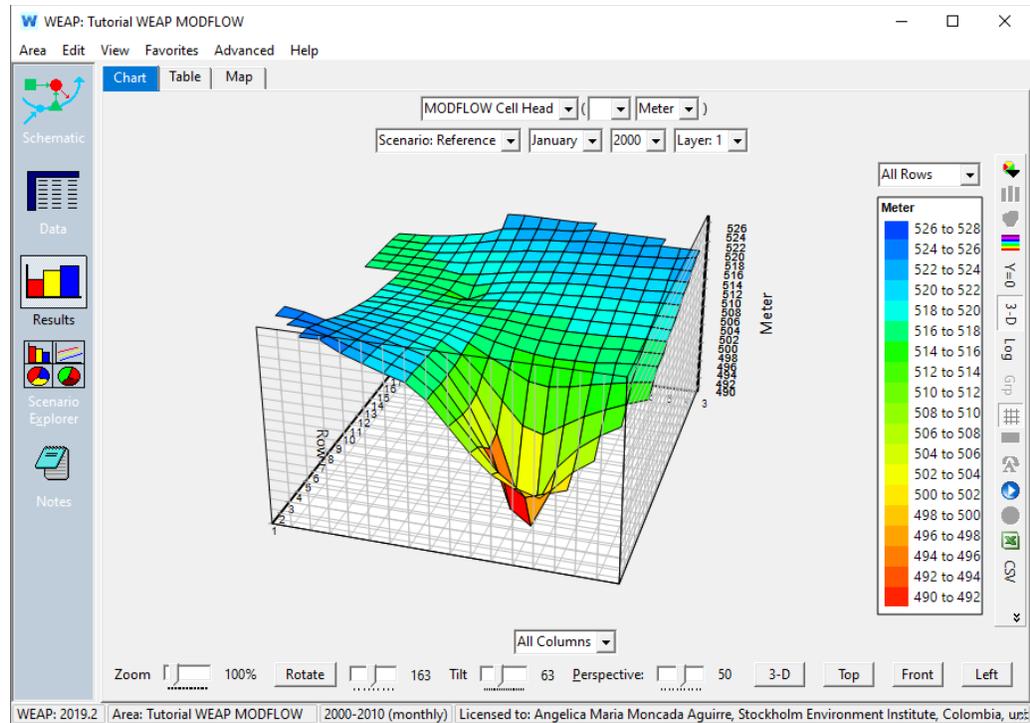
El encabezado de celda y otros resultados de MODFLOW pueden superponerse en el mapa o mostrarse como una superficie tridimensional. Además del cabezal de la celda, también puede ver los siguientes resultados de MODFLOW: Campo de Flujo (Vectores de Velocidad de Darcy), Reducción de bombeo (cuánto bombeo se ha reducido debido a las celdas secas), Recarga, Bombeo, Volumen de Pérdida hacia el Río, Profundidad de Pérdida hacia el Río, Caudal de Drenaje, Flujo Cara Derecha (flujo de la columna hacia la derecha, número de columna mas 1), Flujo Cara Frontal (flujo desde el renglón de abajo, número de renglón mas 1), Flujo Cara Inferior (flujo desde la capa de abajo, número de capa mas 1), Caudal a Cebeza Hidráulica Constante, Cabeza Hidráulica Bombeo, Cabeza Hidráulica Bombeo en Sub-Ramales (si está vinculado a las subramas del sitio de demanda) y Número de Celdas Secas. Para la recarga, los valores positivos representan un flujo entrando a la celda, mientras que, para el bombeo, el flujo de drenaje y las pérdidas al río, los valores positivos representan un flujo saliendo de la celda.

Haga clic en el botón Resultados para calcular y ver los resultados. Tenga en cuenta que en cada paso de tiempo, WEAP ejecuta MODFLOW.

Los resultados de MODFLOW se encuentran en la categoría "Recursos y Suministro / Agua Subterránea / MODFLOW" en el menú desplegable justo encima del gráfico.

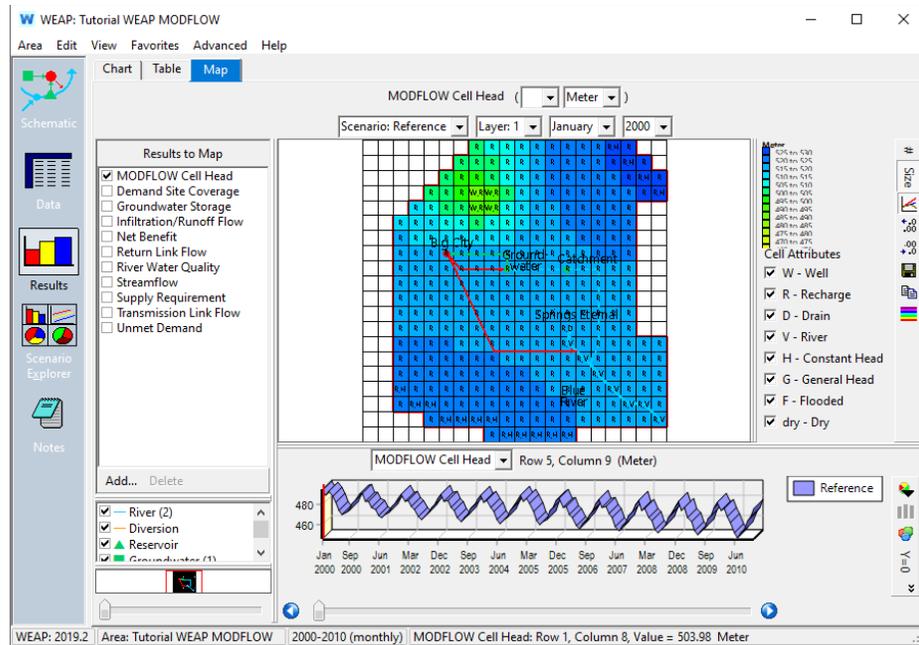


Mire los resultados de Recursos y Suministro / Agua Subterránea / MODFLOW / Cabeza Hidráulica en la Celda. Este informe muestra la carga hidráulica de cada celda MODFLOW. Los resultados de MODFLOW utilizan un gráfico de superficie tridimensional. Asegúrese de que "Superficie" esté seleccionado como tipo de gráfico (el primer ícono en la barra de menú a la derecha de la pantalla), y que el botón "Y=0" no esté presionado. Se muestra el encabezado de celda para un paso de tiempo (enero de 2000). Experimente con los controles deslizantes debajo del gráfico de superficie para rotar o inclinar la superficie. Haga clic en el botón "Rotar" para animar el gráfico. Haga clic en el botón "3D" para cambiar entre las vistas de superficie 3D y plano 2D. También puede hacer clic en la superficie 3D y arrastrar el ratón para rotar la vista.



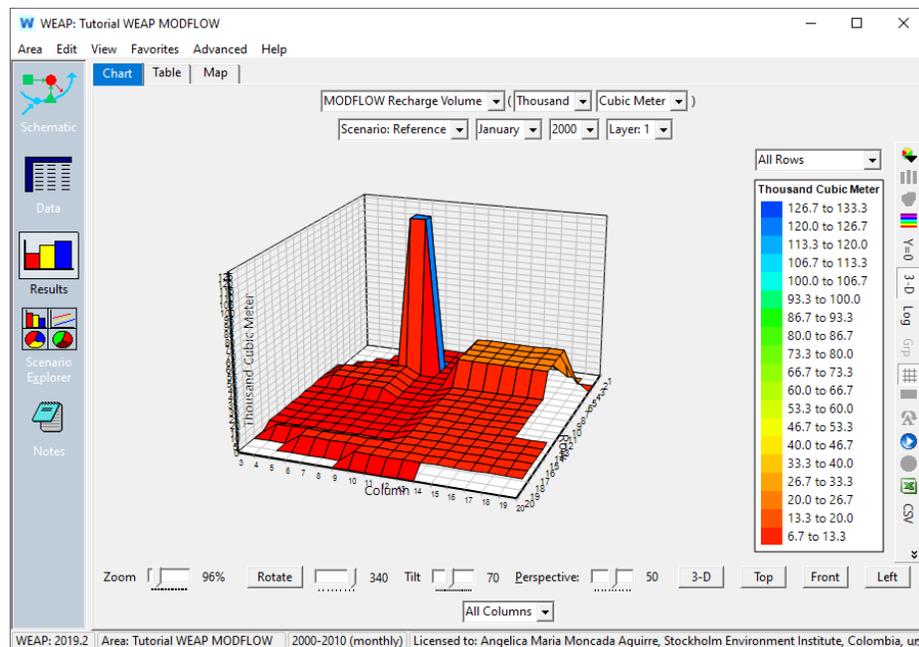
*¿Puede ver el impacto del bombeo del Big City? (Esta vista exagera la variación en la carga hidráulica; haga clic en el botón "Y=0" para ver una vista más realista. Por lo general, es mejor desactivar Y=0 para ver las diferencias con claridad).*

Haga clic en la pestaña Mapa para ver los valores de cabeza en el mapa, con un gráfico a continuación. Cuando hace clic en una celda de la cuadrícula, su valor a lo largo del tiempo se graficará debajo del mapa. Es necesario tener activado el botón "¿Mostrar gráfico debajo del mapa?" que se encuentra a la derecha. Haga clic en algunas de las celdas de pozos en Big City para ver cómo varían. Hay una fluctuación estacional en la carga hidráulica de la celda (más alta en invierno, más baja en verano, debido al aumento del bombeo y la disminución de las precipitaciones en el verano) y una tendencia general hacia abajo desde 2000 hasta 2010. Puede hacer clic y arrastrar el ratón sobre muchas celdas y el gráfico se actualizará en tiempo real a medida que mueva el ratón. Esta es una buena manera de obtener una comprensión rápida de cómo las celdas en diferentes áreas del modelo se comportan de manera diferente con el tiempo. Tenga en cuenta que la opción para desactivar  $Y = 0$  ahora se encuentra en el menú inferior derecho.



Mire algunos otros resultados de MODFLOW, como Recarga, Bombeo, Flujo de drenaje y Pérdida al río.

Tenga en cuenta que el bombeo y la recarga ocurren en las mismas celdas vinculadas al sitio de demanda de la "Big City" y el área irrigada (Farm) de la "Cuenca".



## 10. Calibración y Validación

En cuanto a la calibración y validación, debe hacerse utilizando la información de los pozos exploratorios comparando los niveles simulados y observados. El nivel simulado en una celda específica se puede exportar desde WEAP yendo a la Vista de Resultados, elija la variable Recursos y Suministro / Agua Subterránea / MODFLOW / Cabeza Hidráulica en la Celda. Haga clic en la pestaña Mapa para ver los resultados de la carga hidráulica de las celdas que se muestran en el esquema. Debajo del mapa, un gráfico muestra cómo los resultados de cabeza para una sola celda varían con el tiempo, una línea para cada escenario. Haga clic en cualquier celda del mapa para verla en el gráfico a continuación. Grafique la serie de tiempo de los niveles simulados y observados utilizando un lenguaje de programación o una hoja de cálculo como Microsoft Excel una vez que exporte y formatee los datos.

Además, se debe realizar la calibración del agua superficial. Consulte la sección de este manual relacionada con la calibración.

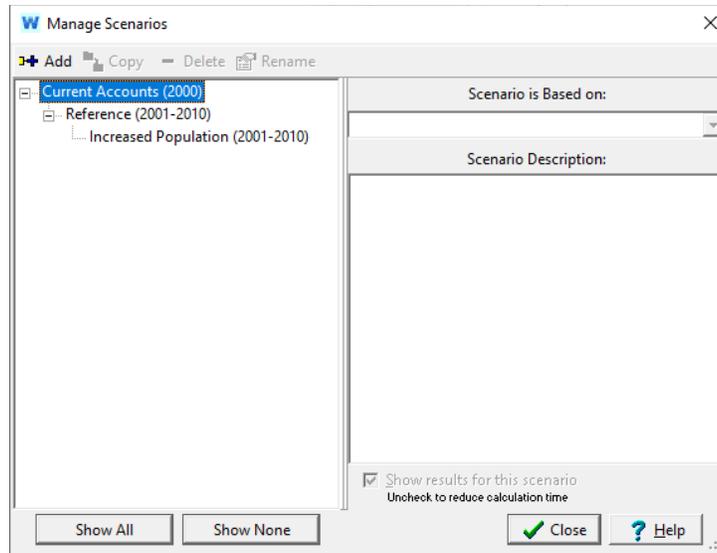
Se puede suponer que un modelo está calibrado cuando el registro de caudal obtenido de las estaciones de medición es similar al caudal simulado en WEAP y el nivel de agua subterránea registrado en los pozos exploratorios es similar a los niveles simulados en MODFLOW.

## Escenario: aumento de la población

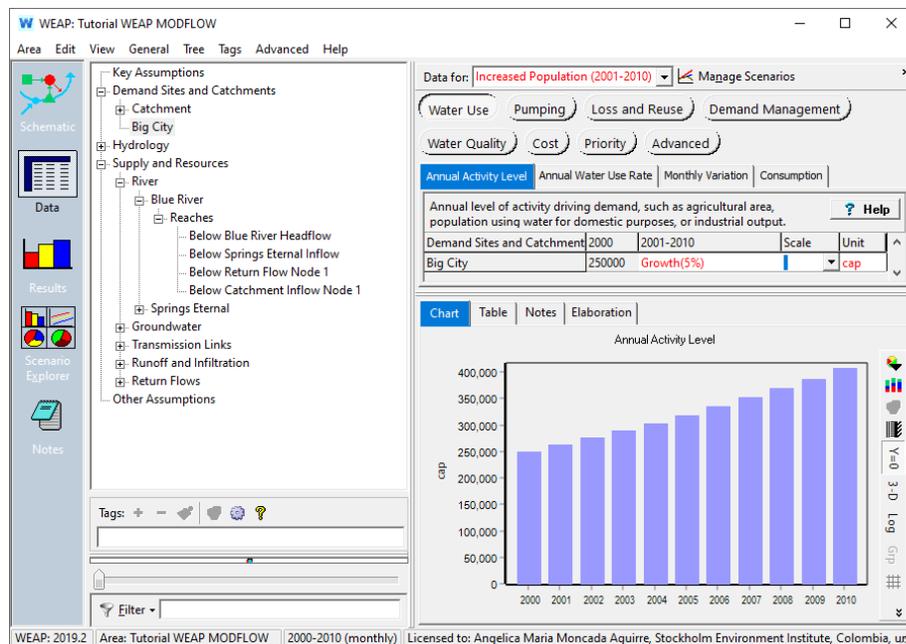
Ahora que tenemos un modelo MODFLOW vinculado a nuestro modelo WEAP, podemos crear algunos escenarios WEAP y explorar cómo podrían afectar las aguas subterráneas.

## 11. Crear escenario

Cambie a la Vista de Datos y cree un nuevo escenario debajo de "Referencia", llámelo "Aumento en población" (Menú principal: Área, Administrar Escenarios).



En la pestaña Uso del agua, cambie la expresión del Nivel de actividad anual de la gran ciudad de "Growth(1%)" a "Growth(5%)".

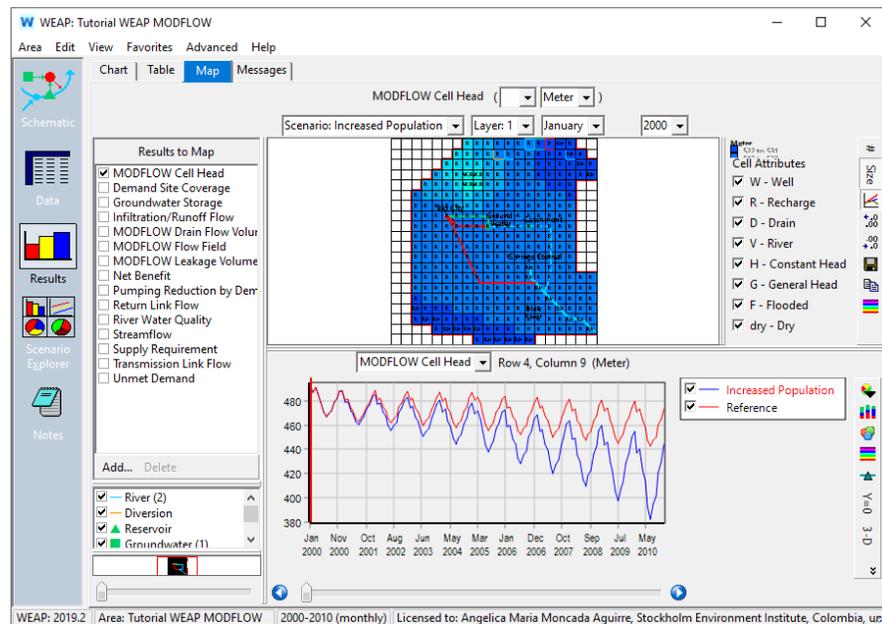


## 12. Evaluar resultados

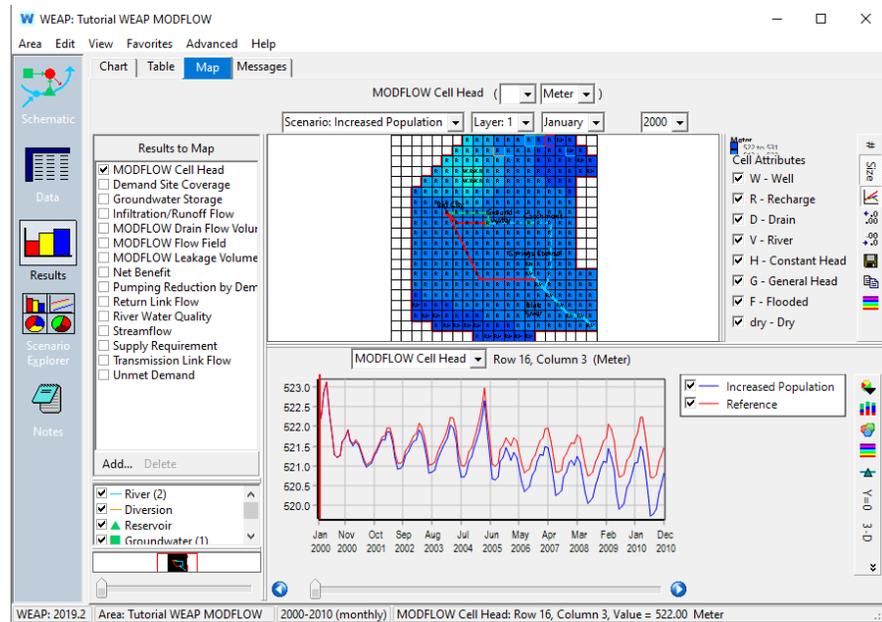
Una vez que WEAP terminó de ejecutar el modelo, mostrará una ventana emergente que indica que hubo advertencias o errores durante los cálculos. Puede verificar esto en la pestaña Mensajes. Este mensaje específico se debe al parámetro de alta conductancia utilizado en el modelo MODFLOW. Puede

verificar esto yendo a la opción " Avanzado \Nexo con MODFLOW (Flujo Agua Subterránea)" en el menú principal, botón Ver \ Editar paquetes.

Para explorar los resultados, vaya a la Vista de Resultados y busque el impacto del aumento del bombeo de Big City en los niveles de agua subterránea (asegúrese de haber seleccionado las siguientes opciones del menú desplegable: Escenario: Aumento en población, Capa: 1, enero de 2000, Renglón 4, Columna 9). Como puede ver, la lenta tendencia hacia abajo del escenario de Referencia ahora se ha acelerado en el escenario de Aumento en población. Esto es especialmente evidente en las celdas en o cerca de los pozos de Big City.

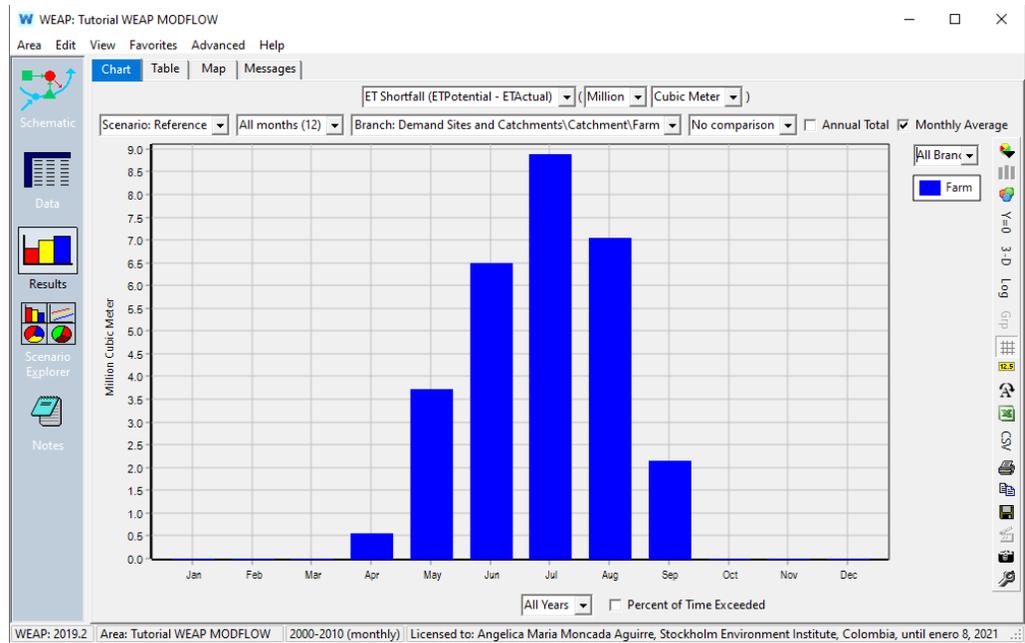


Pero un efecto, aunque más pequeño, incluso se puede ver lejos del campo de pozos, por ejemplo, en la Renglón 16, Columna 6 (en la esquina inferior izquierda del modelo).



## Escenario: Irrigación

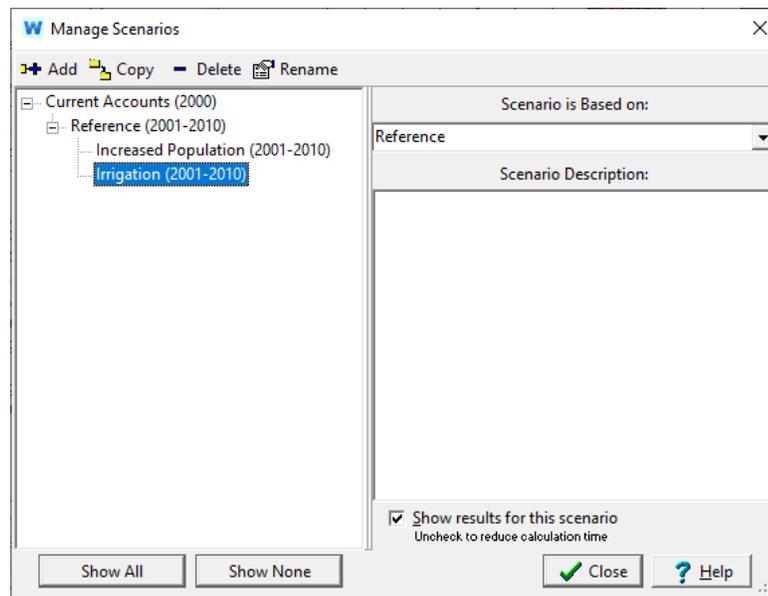
Inicialmente los cultivos del Farm son de secano, pero en verano no llueve lo suficiente para cubrir su demanda de evapotranspiración. Mire los resultados de Unidades hidrológicas/Diferencial de ET para la rama Farm de la cuenca en el escenario de Referencia. Asegúrese de haber seleccionado las siguientes opciones del menú desplegable: Millón, m<sup>3</sup>, Escenario: Referencia, Todo mes (12), Rama: Sitios de demanda y Cuencas/Catchment/Farm, Sin comparación, Promedio mensual.



### 13. Crear escenario

Investigue el impacto de agregar riego proveniente de bombeo de agua subterránea, tanto en los niveles de agua subterránea como en el rendimiento de los cultivos.

*Cambie a Vista Esquema y vaya a Áreas/Administrar escenarios. Cree un nuevo escenario debajo de "Referencia", llámelo "Irrigación".*



Hay varios pasos a seguir para activar el riego para el uso de suelo Farm y para las celdas MODFLOW asociadas con Farm.

## 14. Añadir una conducción

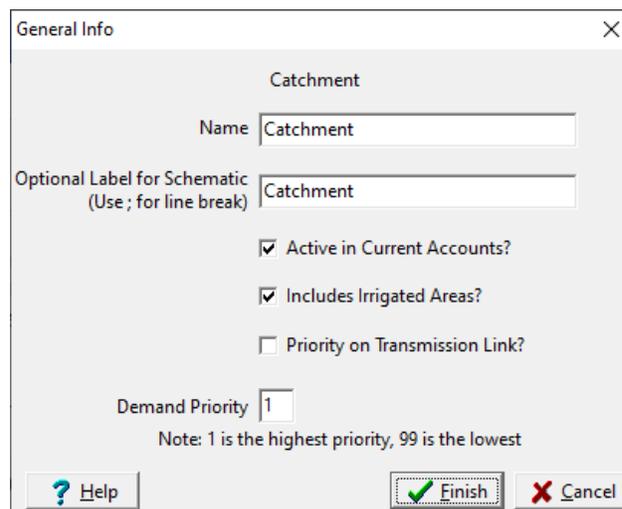
*Agregue una conducción desde el nodo de agua subterránea hacia la cuenca y desmarque "¿Activo en el año base?"*



Cuando agrega esta conducción, WEAP establecerá automáticamente que la cuenca tiene riego.



Puede dejar la prioridad como 1.



## 15. Establecer la clase de uso de suelo como regada

Vaya a la Vista de Datos y cambie "Irigado" a 1 para Farm y "Fracción de riego" a 50 (50 % de eficiencia de riego). Asegúrese de que el escenario de Irrigación esté seleccionado en el cuadro desplegable "Datos para" en la parte superior.

The screenshot shows the WEAP interface with the 'Irrigation' data view selected. The 'Irrigated' section is active, and the 'Irrigation Fraction' table is displayed. The table shows values for Farm (50), City (100), Forest (100), and Grass (100). A chart below shows the 'Irrigation Fraction (monthly)' for the years 2000-2010.

Catchment	2000	2001-2010	Scale	Unit
Farm	100	50		Percent
City	100	100		Percent
Forest	100	100		Percent
Grass	100	100		Percent

*Para la conducción, establezca el año de inicio en 2003.*

The screenshot shows the WEAP interface with the 'Startup Year' data view selected. The 'Startup Year' section is active, and the 'Startup Year' table is displayed. The table shows values for 'to Catchment' and 'from Groundwater' (2003).

to Catchment	Startup Year
from Groundwater	2003

Vaya a la pestaña Sitios de demanda y Cuencas/Catchment "Rendimiento" y establezca "Rendimiento Potencial" en 6200 para Farm y "Factor de respuesta de rendimiento" en 1,25. Asegúrese de que Cuentas Corrientes esté seleccionada en el cuadro desplegable "Datos para" en la arriba.

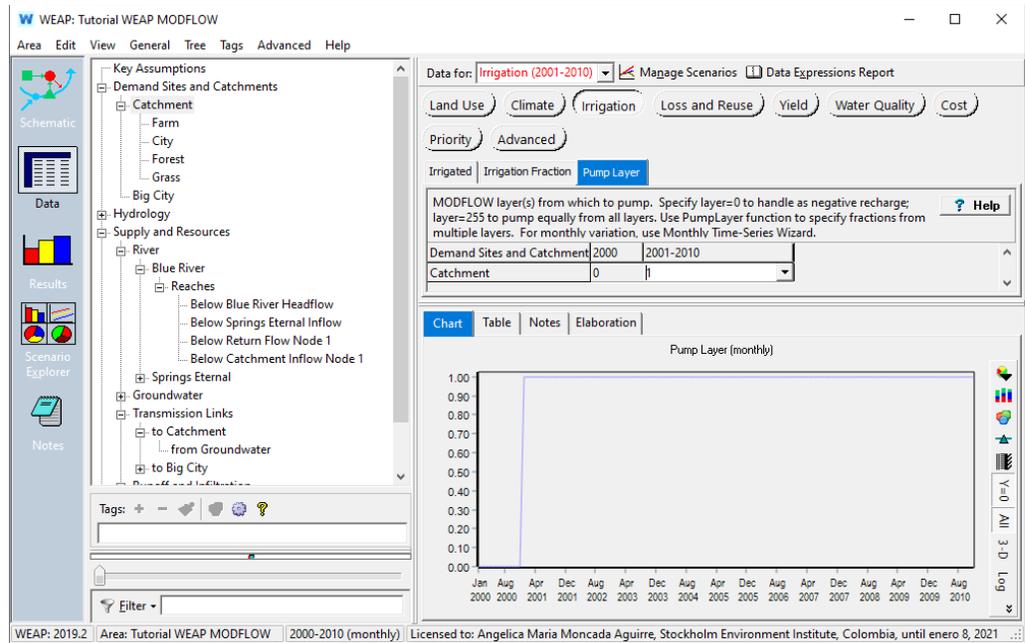
The screenshot shows the WEAP software interface with the 'Yield Response Factor' settings for different land uses. The 'Data for' dropdown is set to 'Current Accounts (2000)'. The 'Yield' tab is selected, and the 'Yield Response Factor' variable is active. The table below shows the values for each land use category.

Catchment	2000	Scale	Unit
Farm	1.25		
City			
Forest			
Grass			

Below the table, a bar chart titled 'Yield Response Factor' displays the values for each land use category: Farm (1.25), City (1.0), Forest (1.0), and Grass (1.0). The Y-axis ranges from 0.0 to 1.2.

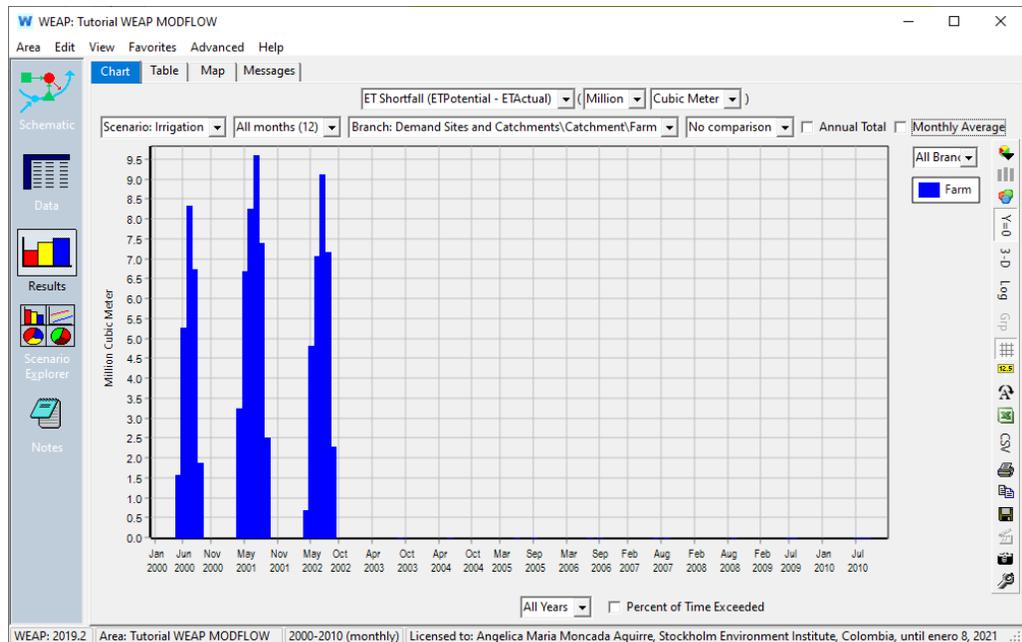
## 16. Establecer la capa MODFLOW para riego

Queremos que MODFLOW bombee el agua de riego desde la capa 1. Haga clic en la rama "Catchment" en el árbol de datos, luego haga clic en la categoría "Riego" en la parte superior y en la pestaña variable "Capa de Bombeo". Introduzca un valor de 1.

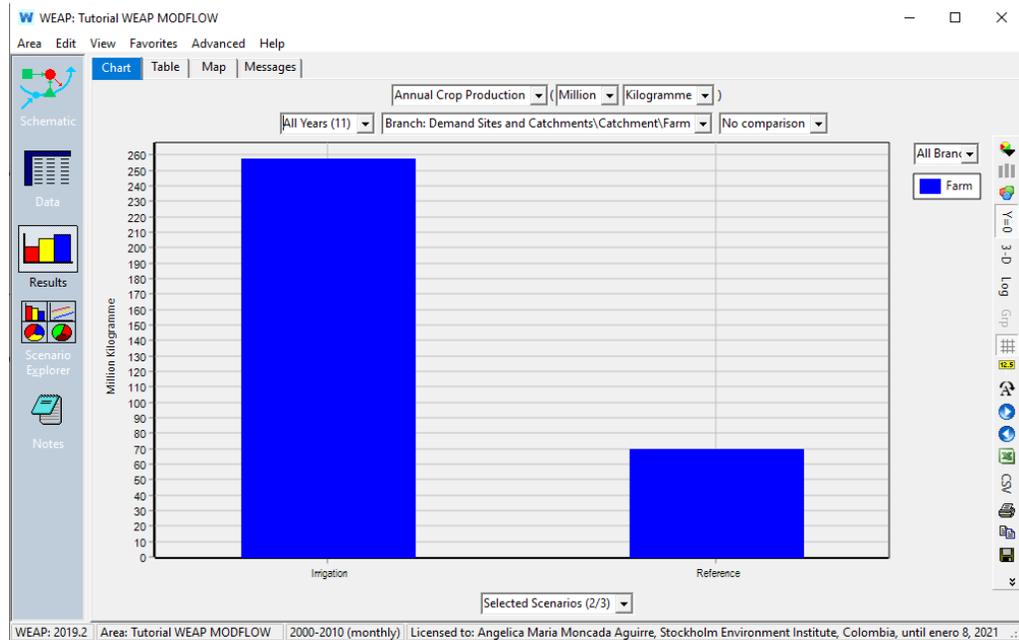


## 17. Evaluar resultados

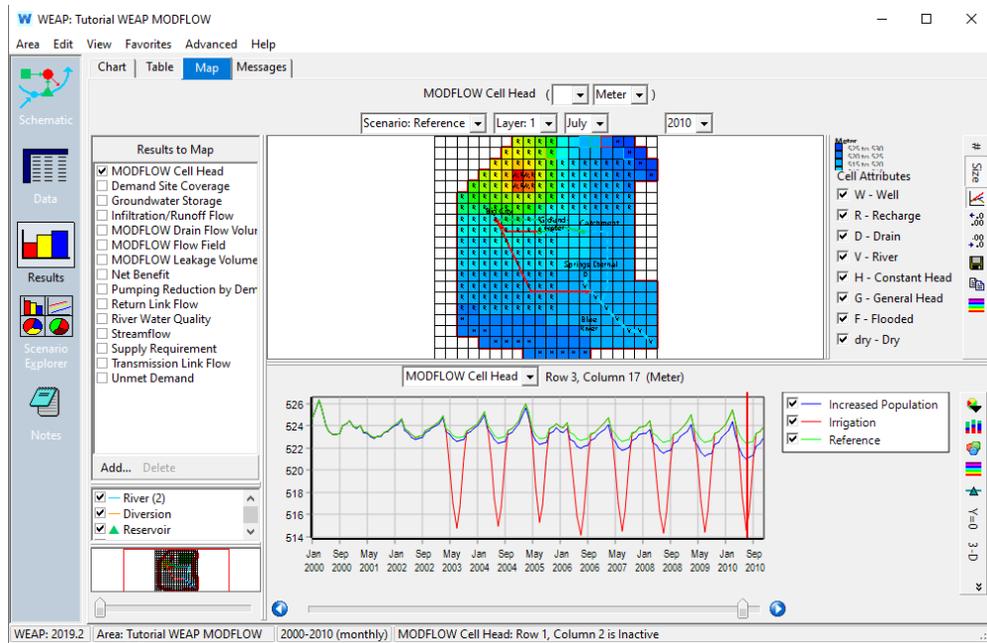
Vaya a la Vista de Resultados. Primero, verifique que el riego comience en 2003, reduciendo el Déficit de ET a cero. Asegúrese de haber seleccionado las siguientes opciones del menú desplegable: Millón, m<sup>3</sup>, Escenario: Irrigación, Todo Mes (12), Ramal: Sitios de demanda y Cuencas/Catchment/Farm, Sin comparación.



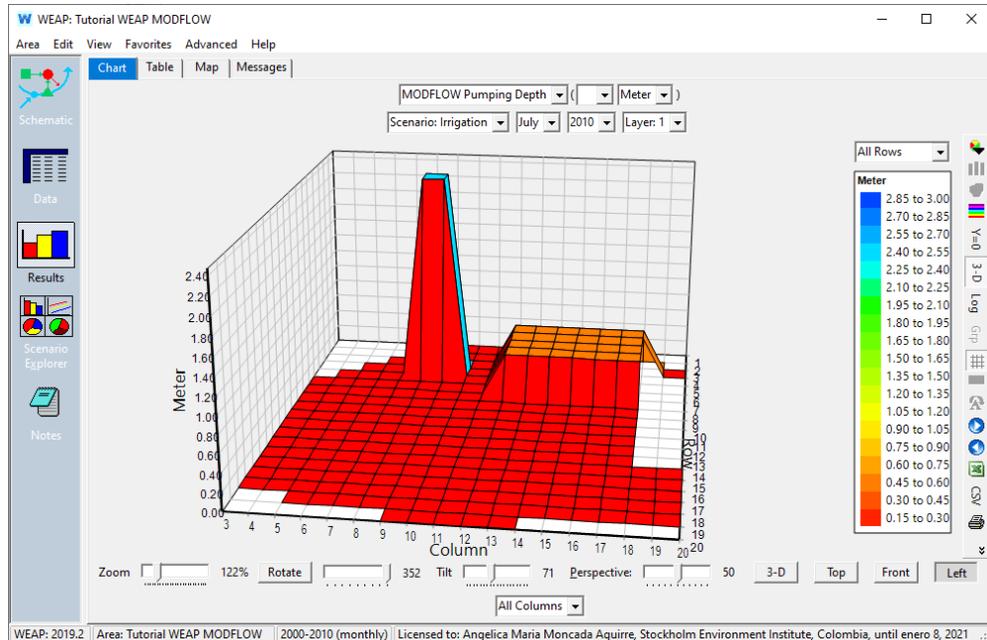
*¿Qué pasa con el rendimiento de los cultivos, ahora que reciben toda el agua que necesitan? Mire el informe de Unidades Hidrológicas Producción anual de cultivos, comparando el rendimiento entre escenarios seleccionando Escenarios en el menú desplegable en la parte inferior y seleccionando Todo Ramal en el menú desplegable a la derecha. Asegúrese de haber seleccionado las siguientes opciones del menú desplegable: Millón, Kilogramme, Todos los años, Ramal: Sitios de demanda y Cuencas/Catchment/Farm, Sin comparación.*



Ahora observe el impacto del riego en las aguas subterráneas. Vea los resultados de Cabeza Hidráulica en la Celda MODFLOW para julio de 2010 en la pestaña Mapa. Haga clic en una celda del mapa en Farm para ver el efecto más grande, o en una celda alejada de la Granja para ver el efecto más pequeño.



Compare las tasas de bombeo para Farm y para Big City. Asegúrese de haber seleccionado las siguientes opciones del menú desplegable: Metro, Escenario: Riego, julio de 2000, Capa: 1:



# Escenario: Recarga Artificial

Para un escenario final, explore el impacto de la recarga artificial de las aguas subterráneas.



---

La recarga artificial, o "Almacenamiento y recuperación de acuíferos" (ASR), consiste en recargar agua a un acuífero a través de pozos o por expansión e infiltración en la superficie y luego bombearla cuando sea necesario. El acuífero funciona esencialmente como un banco de agua. Los depósitos se realizan en épocas de excedencia, por lo general durante la temporada de lluvias, y los retiros ocurren cuando el agua disponible no alcanza la demanda.

---

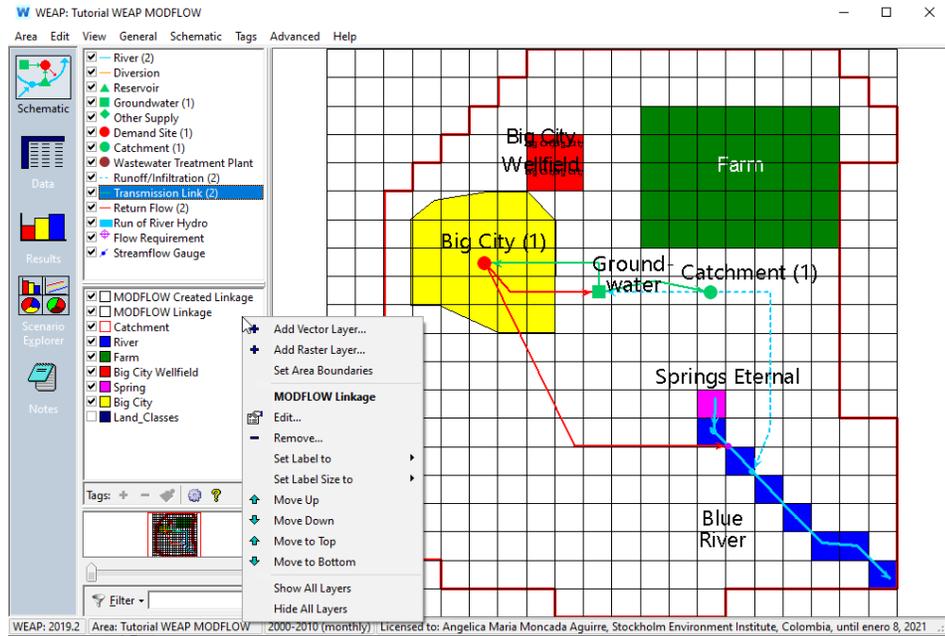
En este ejemplo, el agua provendrá de fuera del área de captación y no variará estacionalmente.

## 18. Crear escenario

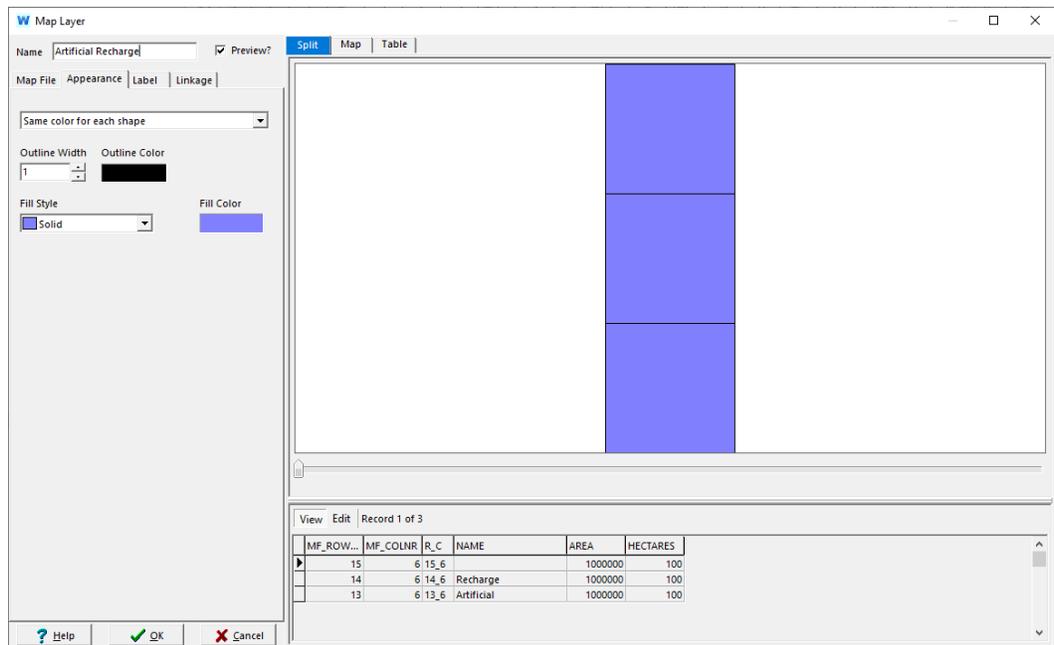
Cambie a la Vista de Esquema y cree un nuevo escenario debajo de "Referencia", llámelo "Recarga artificial".

## 19. Cargar un shapefile

En el menú principal, seleccione Esquema, Agregar Capa Vector.



Elija el archivo artificial\_recharge.shp. Asígnele el nombre "Recarga artificial" y cambie su **apariciencia** para que el Estilo sea "Sólido" y el "Color de relleno" sea azul claro. Tenga en cuenta que las celdas están en la columna 6, renglones 13-15.

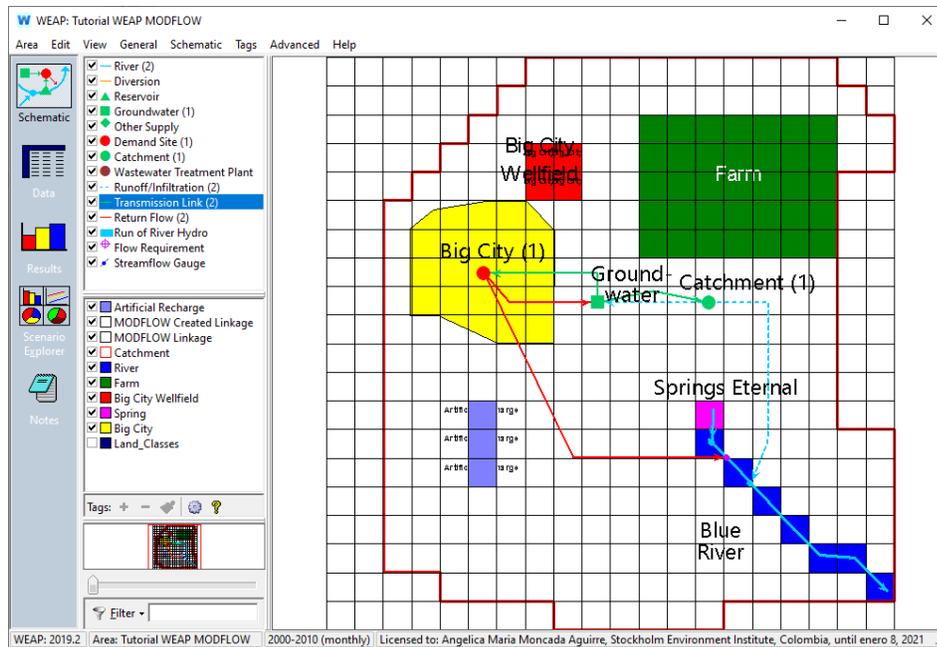


## 20. Editar el shapefile de acople

Para que WEAP pueda decirle a MODFLOW cuáles celdas recibirán la recarga artificial, necesitamos editar el shapefile de acople. En la Vista de Esquema, haga doble clic en "Acople MODFLOW", seleccione la pestaña Tabla y haga clic en el botón Editar. Desplácese hacia abajo para encontrar las celdas de recarga artificial: columna 6, renglones 13, 14 y 15. Para estas tres celdas, escriba en el campo denominado DEMANDSITE el nombre del sitio de demanda de recarga artificial: "Recarga artificial". Haga clic en Aceptar para guardar los cambios y volver a la vista esquemática.

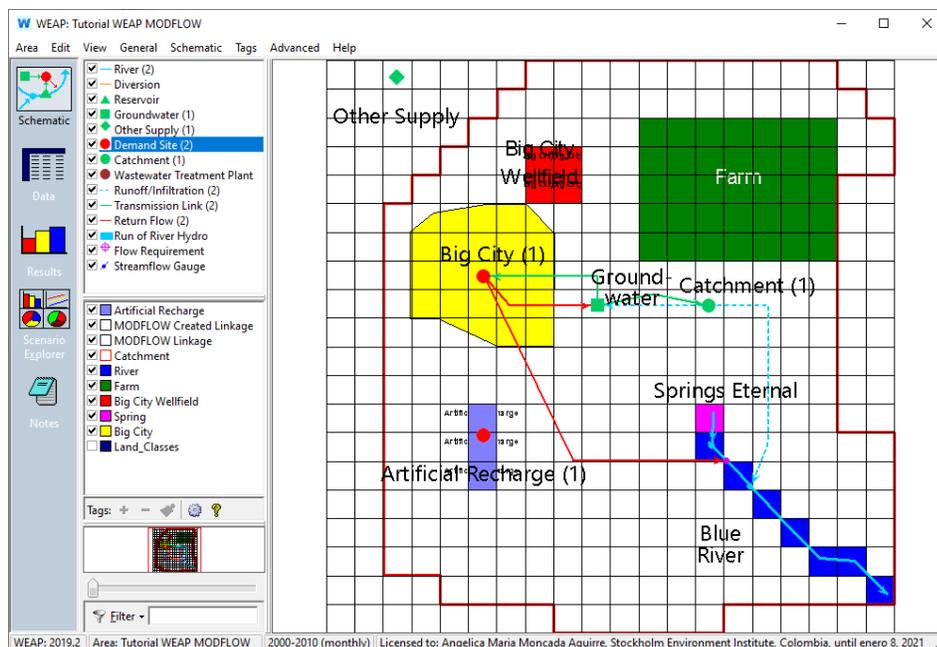
ROW	COLUMN	ROW_COLUMN	GW	CATCHMENT	LAND_USE	DEMANDSITE	RIVERREACH
15	6	15,6	A	Groundwater	Catchment	Grass	Artificial Recharge
15	7	15,7	A	Groundwater	Catchment	Grass	
15	8	15,8	A	Groundwater	Catchment	Grass	
15	9	15,9	A	Groundwater	Catchment	Grass	
15	10	15,10	A	Groundwater	Catchment	Grass	
15	11	15,11	A	Groundwater	Catchment	Grass	
15	12	15,12	A	Groundwater	Catchment	Forest	
15	13	15,13	A	Groundwater	Catchment	Forest	
15	14	15,14	A	Groundwater	Catchment	Forest	
15	15	15,15	A	Groundwater	Catchment	Forest	Blue River, Be
15	16	15,16	A	Groundwater	Catchment	Forest	
15	17	15,17	A	Groundwater	Catchment	Forest	
15	18	15,18	A	Groundwater	Catchment	Forest	
15	19	15,19	A	Groundwater	Catchment	Forest	
15	20	15,20	A	Groundwater	Catchment	Forest	
14	1	14,1					
14	2	14,2					
14	3	14,3	A	Groundwater	Catchment	Grass	
14	4	14,4	A	Groundwater	Catchment	Grass	
14	5	14,5	A	Groundwater	Catchment	Grass	
14	6	14,6	A	Groundwater	Catchment	Grass	Artificial Recharge
14	7	14,7	A	Groundwater	Catchment	Grass	
14	8	14,8	A	Groundwater	Catchment	Grass	
14	9	14,9	A	Groundwater	Catchment	Grass	
14	10	14,10	A	Groundwater	Catchment	Grass	
14	11	14,11	A	Groundwater	Catchment	Grass	
14	12	14,12	A	Groundwater	Catchment	Forest	
14	13	14,13	A	Groundwater	Catchment	Forest	
14	14	14,14	A	Groundwater	Catchment	Forest	Blue River, Be
14	15	14,15	A	Groundwater	Catchment	Forest	
14	16	14,16	A	Groundwater	Catchment	Forest	
14	17	14,17	A	Groundwater	Catchment	Forest	
14	18	14,18	A	Groundwater	Catchment	Forest	
14	19	14,19	A	Groundwater	Catchment	Forest	
14	20	14,20	A	Groundwater	Catchment	Forest	
13	1	13,1					
13	2	13,2					
13	3	13,3	A	Groundwater	Catchment	Grass	
13	4	13,4	A	Groundwater	Catchment	Grass	
13	5	13,5	A	Groundwater	Catchment	Grass	
13	6	13,6	A	Groundwater	Catchment	Grass	Artificial Recharge
13	7	13,7	A	Groundwater	Catchment	Grass	
13	8	13,8	A	Groundwater	Catchment	Grass	

Verifique esta nueva información de acople. Establezca la etiqueta para la capa de enlace MODFLOW en DEMANDSITE. Debería ver las celdas de recarga artificial etiquetadas, así como las de los pozos de Big City:

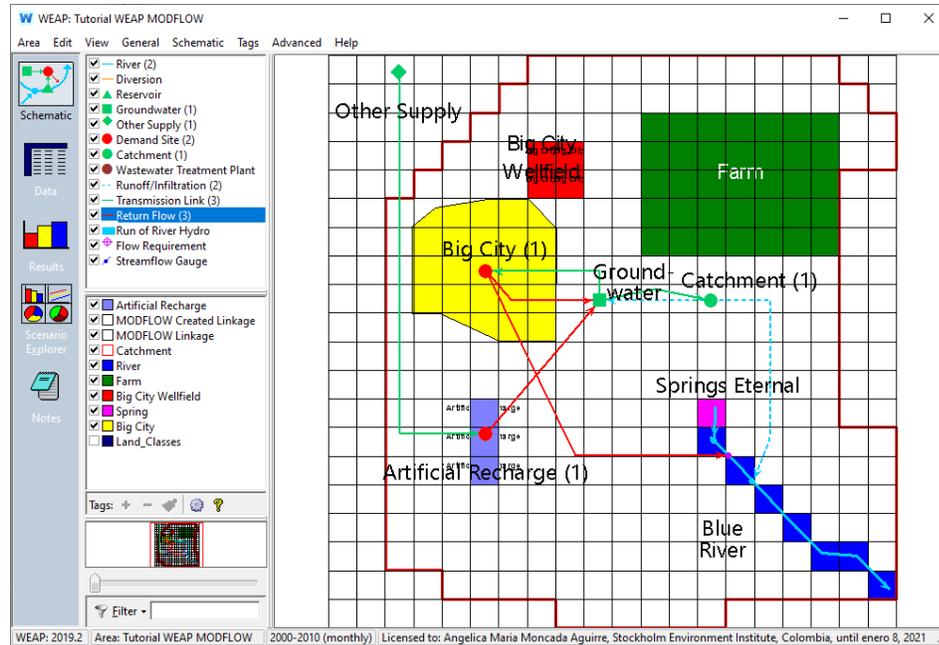


## 21. Crear otro sitio de oferta y demanda

Cree un nodo de "Otras Fuentes" llamado "Otro Suministro" en la esquina superior izquierda. Cree un nuevo Sitio de Demanda: colóquelo encima de una de las celdas azules de recarga artificial. Llámalo "Recarga Artificial" y desmarca "¿Activo en Cuentas Corrientes?"

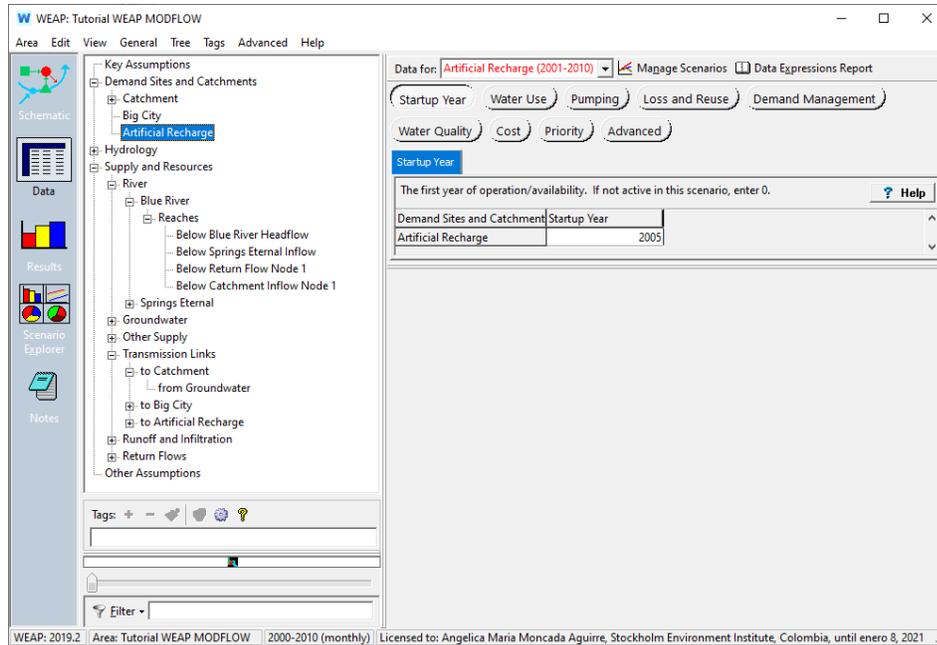


Agregar una conducción de Otro Suministro a Recarga Artificial. Luego agregue un enlace de Flujo de Retorno desde la recarga artificial al nodo de agua subterránea.

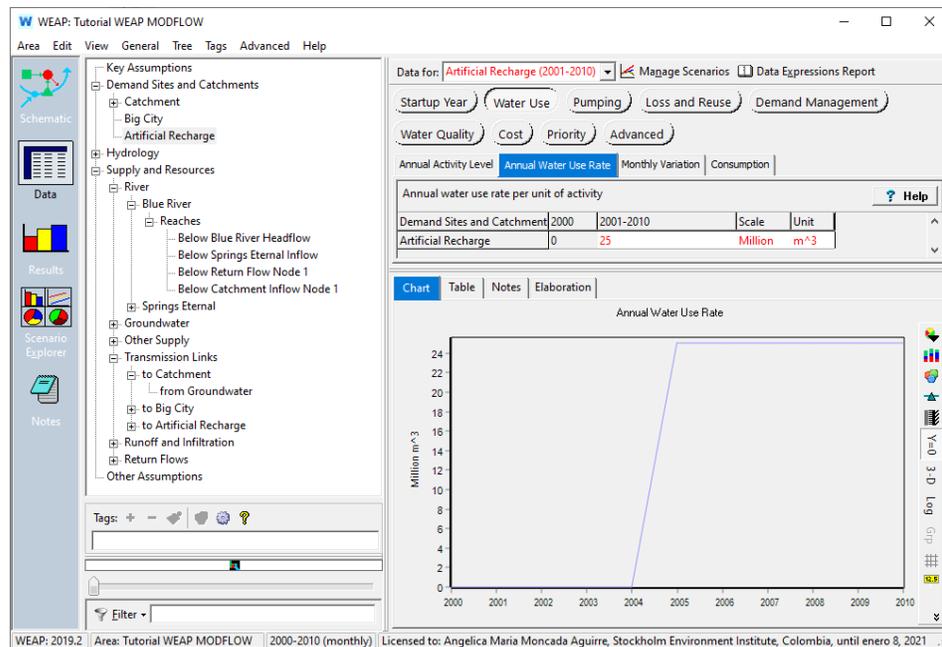


## 22. Ingrese los datos de oferta y demanda

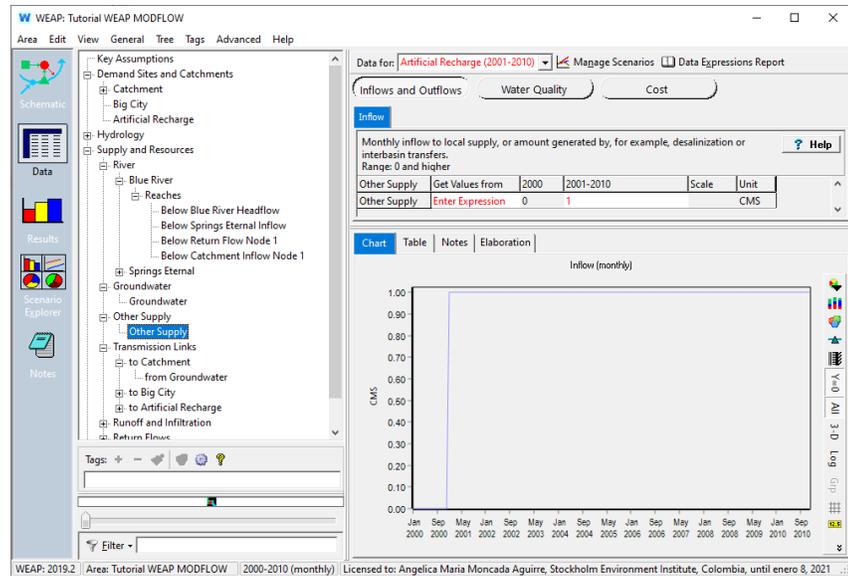
Vaya a la Vista de Datos, seleccione el escenario "Recarga artificial" y luego haga clic en la rama del sitio de demanda Recarga Artificial en el árbol. Establezca el año de inicio en 2005.



Para Uso de agua, establezca el Nivel de actividad anual en 1 (Sin Unidad), Tasa Anual de Uso de Agua a 25 Millones de metros cúbicos (la capacidad anual de los pozos inyectores), y el Consumo a 0%.



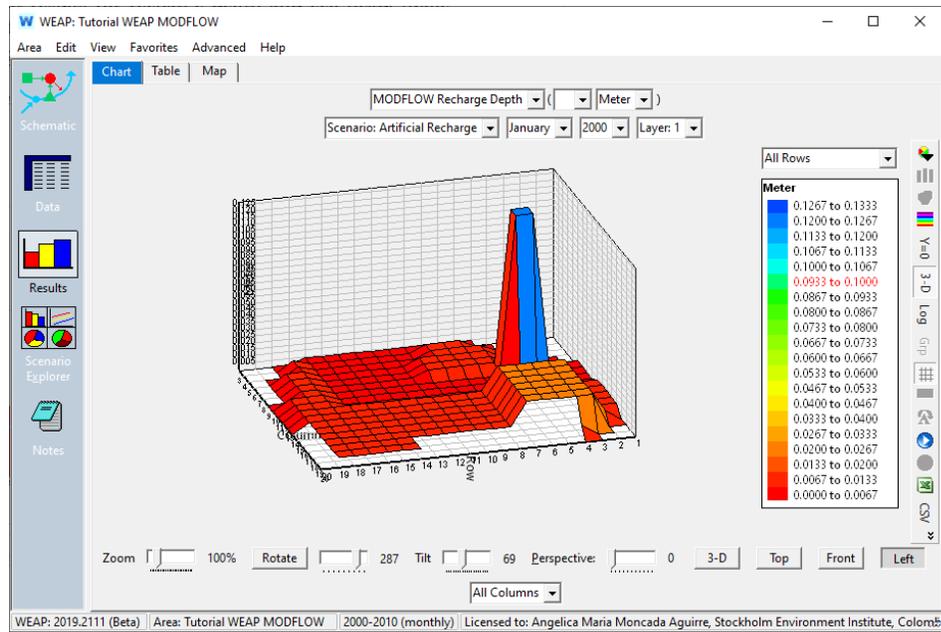
Haga clic en la rama para el Otro Suministro y luego ingrese 1 CMS para el flujo de entrada.



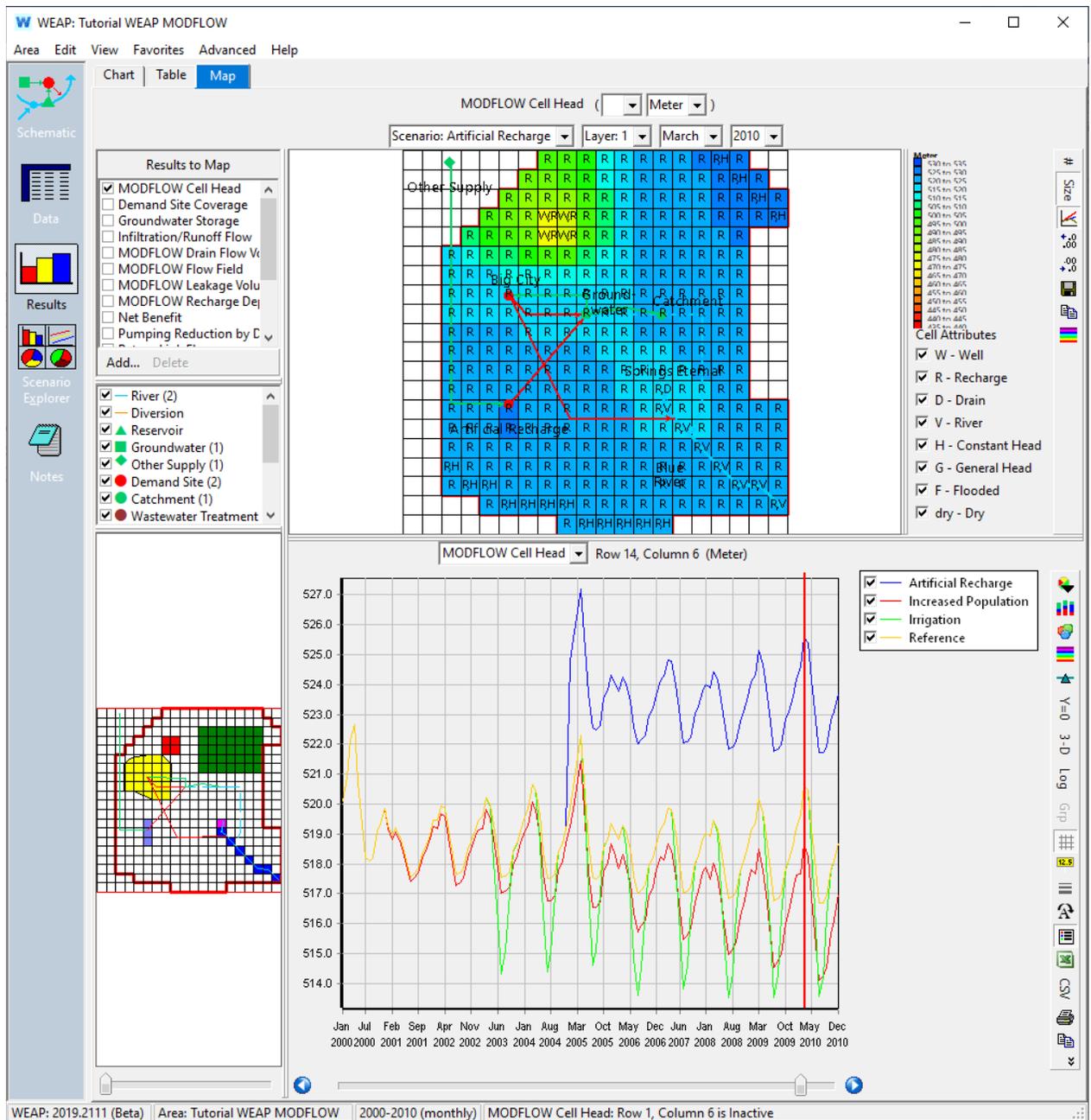
## 23. Evaluar resultados

Ejecute el modelo y observe los resultados de la profundidad de recarga y la carga hidráulica de la celda. Asegúrese de haber seleccionado las siguientes opciones del menú desplegable: Metro, Escenario: Recarga artificial, julio de 2010, Capa: 1:

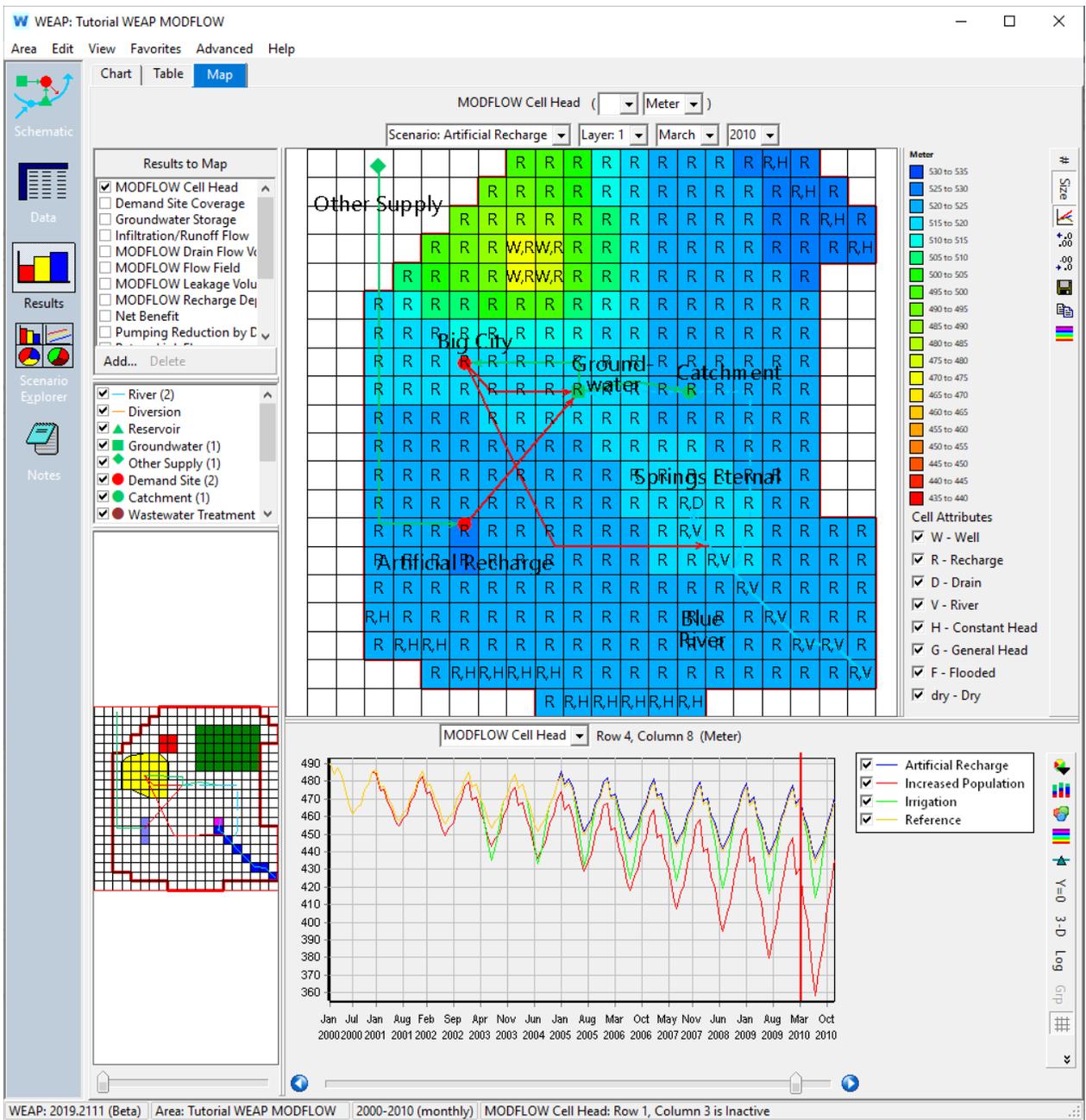
*¿La recarga artificial tiene mucho impacto en los niveles de agua subterránea en el sitio de recarga? ¿Hay mucho impacto más cerca a los pozos de Big City o del riego? ¿Puede pensar en otro sitio para la recarga artificial que aliviaría mejor la caída del bombeo?*



Los niveles de agua subterránea en el sitio de recarga son mucho más altos que los de Referencia (asegúrese de haber seleccionado las siguientes opciones del menú desplegable: Cabeza Hidráulica en la Celda MODFLOW, Metro, Escenario: Recarga artificial, marzo de 2010, Capa: 1, Renglón 14, Columna 6):



Los niveles de agua subterránea en el campo de pozos son casi iguales que en el escenario de referencia (asegúrese de haber seleccionado las siguientes opciones del menú desplegable: Cabeza Hidráulica en la Celda MODFLOW, Metro, Escenario: Recarga artificial, marzo de 2010, Capa: 1, Renglón 4, Columna 8) :





# WEAP

Water Evaluation And Planning System

# Vinculando WEAP a LEAP

*Un tutorial para*

*Vinculando WEAP y LEAP .....392*

*Escenario: Generación Hidroeléctrica de WEAP .....397*

*Escenario: Demanda de agua de refrigeración de  
LEAP.....407*

*Escenario: Demanda de Electricidad de WEAP .....413*

**noviembre de 2023**

**Nota:**

Para este módulo tendrá que haber completado los módulos anteriores ("WEAP en una hora, herramientas básicas, y escenarios), o tener un conocimiento razonable de WEAP (estructura de datos, supuestos clave, generador de expresiones, la creación de escenarios). Para iniciar este módulo, vaya al menú principal, seleccione "Revert to version" y elija la versión llamada "Answer key for Linking WEAP to LEAP module"

# Vinculando WEAP y LEAP

## 1. Introducción a LEAP

LEAP, el Sistema de Planificación de Alternativas Energéticas de largo alcance, es una herramienta de software ampliamente utilizada para el análisis de la política energética y la evaluación de la mitigación del cambio climático que fue desarrollada por el Instituto Ambiental de Estocolmo.

LEAP es una herramienta de modelado integrado que se puede utilizar para realizar un seguimiento del consumo energético, la producción y la extracción de recursos en todos los sectores de una economía. Puede ser usado para reportar fuentes y sumideros que generen la emisión de gases de efecto invernadero (GHG) tanto del sector energético como no energético. Además del seguimiento de gases de efecto invernadero, el LEAP también se puede utilizar para analizar las emisiones locales y regionales de contaminantes atmosféricos, por lo que es muy apropiado para los estudios del clima en pro de la reducción de contaminación del aire local.

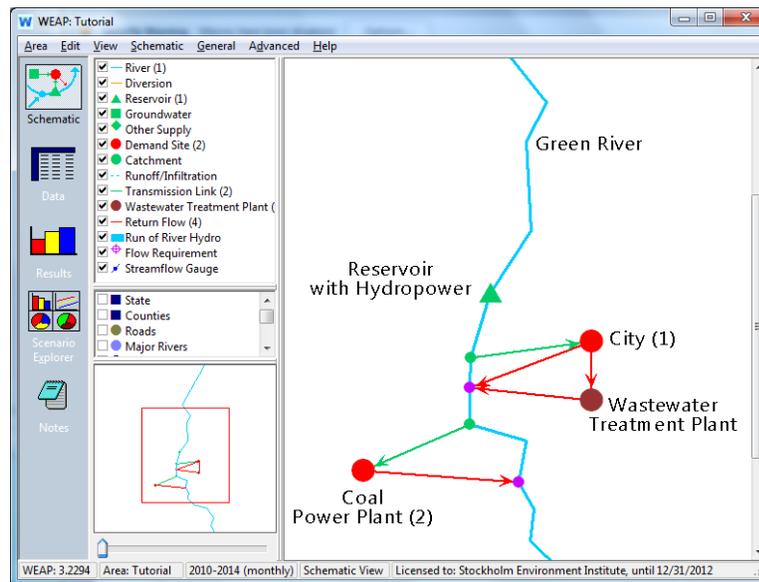
Para mayor información sobre LEAP y para descargar el software, visite <http://www.energycommunity.org>.

## 2. Acoplamiento de los modelos agua-energía WEAP y LEAP

Vamos a examinar un sistema agua-energía simple; por un lado el sistema de agua usado por WEAP, por otro lado el de energía utilizando por LEAP. A continuación vamos a vincular los modelos WEAP y LEAP para examinar la interacción de las dos partes y ver cómo esta interacción influye en los resultados que obtenemos.

### 3. Modelo WEAP

En la vista " Schematic " WEAP hay una ciudad situada cerca del río con su propia planta de tratamiento de aguas residuales. Un embalse para explotación hidroeléctrica del río. La demanda de agua proviene de dos fuentes: la demanda municipal de la ciudad, y la demanda de refrigeración térmica de una central eléctrica de carbón también situado cerca del río. La demanda municipal ("City(1) ") tiene la primera prioridad de la demanda y la demanda de refrigeración térmica(" Cool Power Plant(2) ") tiene la segunda.



Ya podemos ver los vínculos en este modelo entre los sistemas de agua y energía. El embalse y la planta de energía de carbón utilizan agua del yacimiento para generar electricidad. Por otro lado, la planta de tratamiento de aguas residuales utiliza energía en su proceso de tratamiento. También es requerida la energía tanto para los procesos de bombeo como para la transmisión.

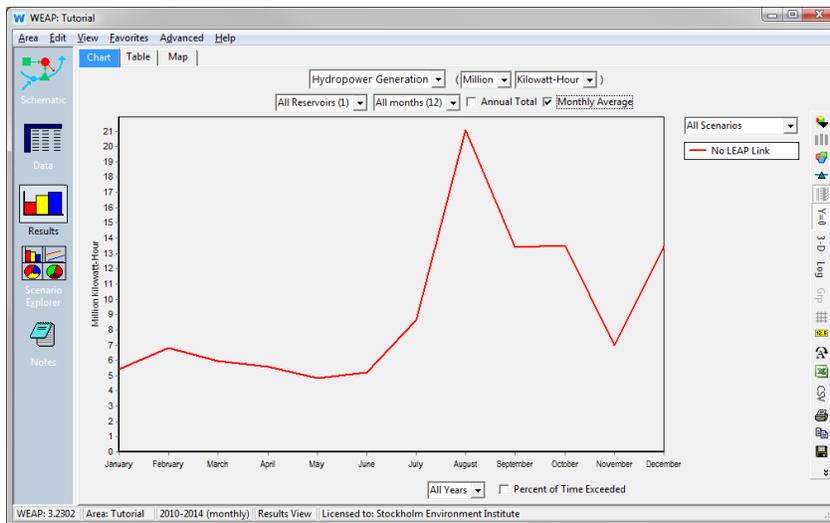
### 4. Ver resultados WEAP

Haga clic en el menú desplegable en la parte superior izquierda, seleccione " Supply and Resources "> "Reservoir"> " Hydroelectric Generation ". Esto nos permite ver la variación en el tiempo de la energía hidroeléctrica generada por el embalse. Cambie a la unidad de kilovatio-hora. Recuerde que usted puede cambiar el tipo de gráfico a

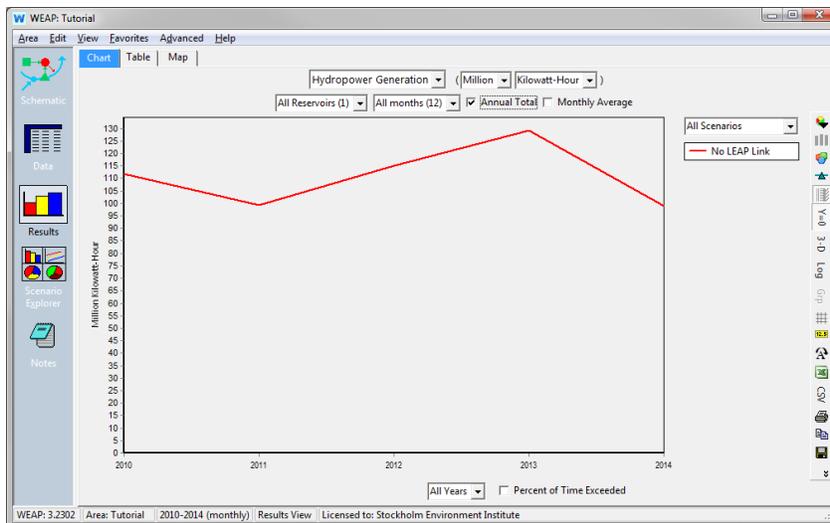
línea o barra haciendo clic en el botón "Tipo de gráfico" en la parte derecha de la ventana.

También puede ver la media mensual o la energía hidroeléctrica anual generada, marcando la casilla correspondiente en la parte superior de la ventana. De estas opciones, podemos ver que los picos de generación de energía hidroeléctrica aumentan durante el verano, y varían de año en año.

Promedio Mensual:



Total anual:

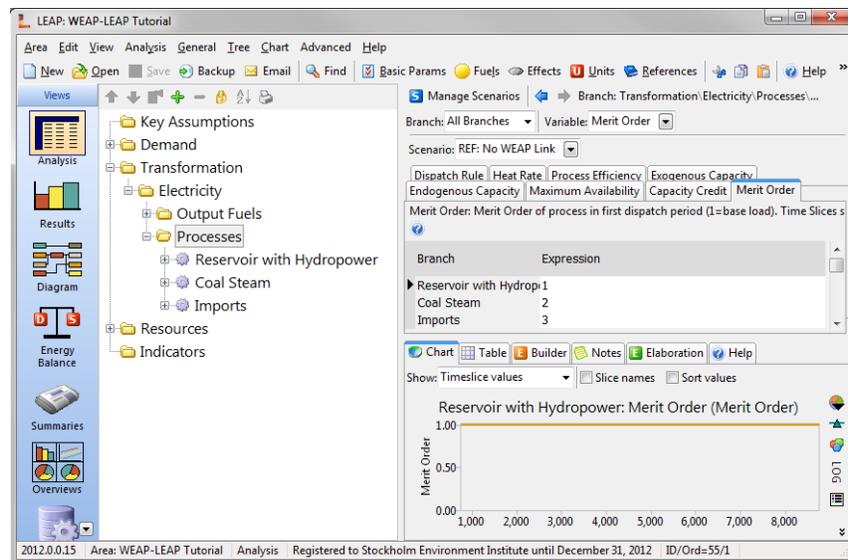


## 5. Modelo LEAP

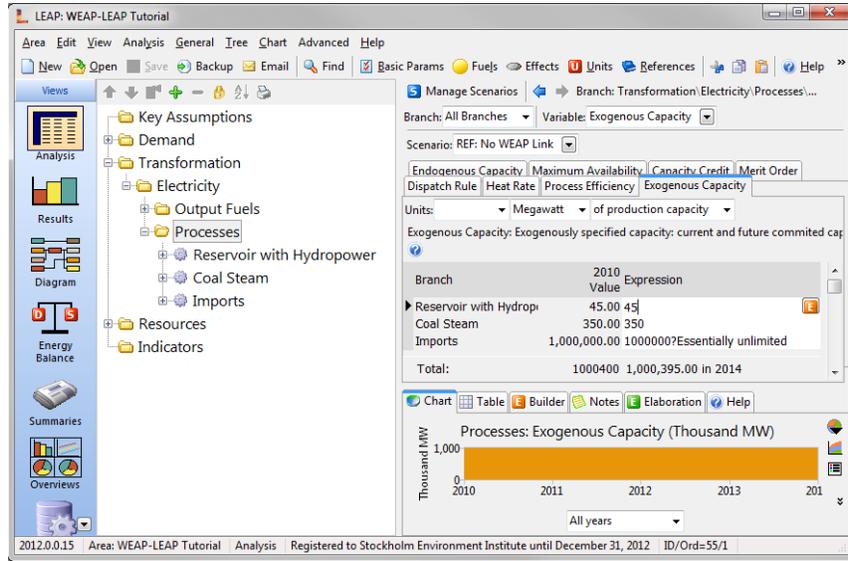
Ahora vamos a abrir el programa de modelado de energía, LEAP, para ver las fuentes actuales de energía para Big City. Abra el WEAP-LEAP.

Vaya a "Área">"Revert to Version">" Starting point for WEAP-LEAP Tutorial".

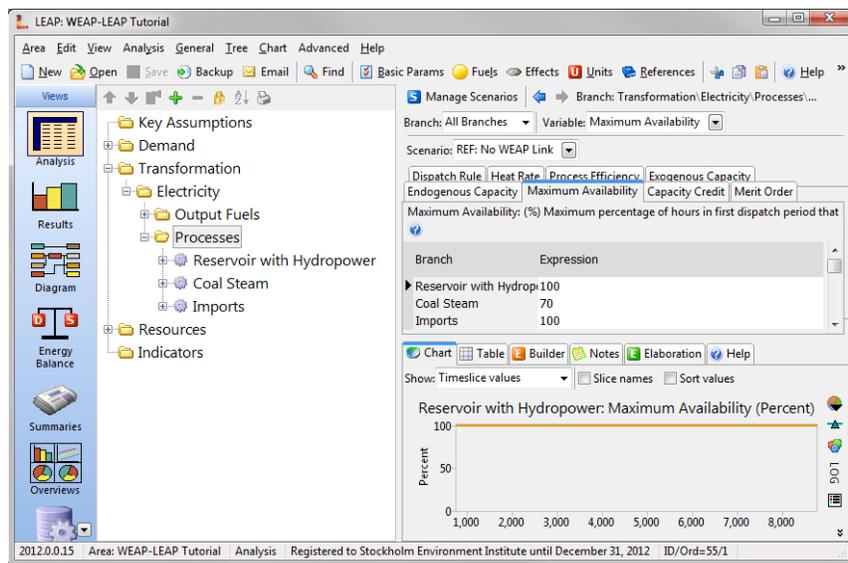
Abra la vista "Analysis" de LEAP, que se encuentra en el lado izquierdo de la ventana. Esta es similar a la vista "Data" en WEAP. Seleccione "REF: No WEAP Link" en el desplegable " Scenario" que se encuentra en la parte superior ventana. Vaya a "Transformation" > "Electricity" > "Processes". Hay tres procesos que generan electricidad: La hidroeléctrica del embalse, la planta de energía de vapor de carbón, y las importaciones de energía. Si selecciona la pestaña " Merit Order ", se puede ver que la energía hidroeléctrica es enviada en primer lugar, seguida de la energía del carbón. Cualquier déficit restante se suple con las importaciones, que es último en el orden de mérito.



Las capacidades de producción de energía de estas plantas están bajo la pestaña "Exogenous Capacity (Capacidad exógena)".



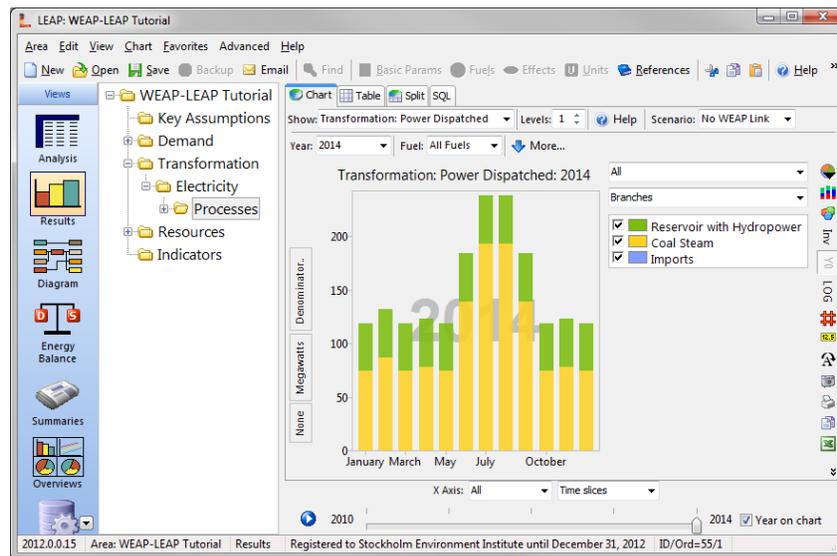
La parte de la producción máxima de energía que está disponible para cada proceso de producción de energía, puede ser encontrada bajo la etiqueta de "Maximum Availability (Máxima disponibilidad)". En el escenario "No WEAP Link", se ha introducido que la máxima disponibilidad de la central hidroeléctrica es el 100%. LEAP está suponiendo que para la energía hidroeléctrica se reunió toda la demanda de agua, ya que no tiene información sobre la cantidad de agua disponible para la generación de energía hidroeléctrica.



## 6. Ver resultados en LEAP

Cambie a la vista "Results", que se encuentra bajo el botón " Analysis " en el lado izquierdo de la ventana. Desde la ventana desplegable superior, seleccione la variable "Transformación: Power Media distribuye".

En 2014, casi un tercio de la electricidad total producida proviene de la energía hidroeléctrica, funcionando a su capacidad nominal total de 45 MW. Esto no es realista si hay insuficiente agua para satisfacer la demanda de electricidad.

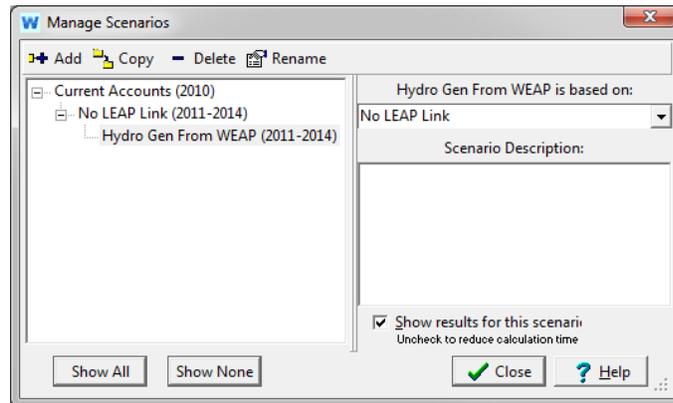


## Escenario: Generación Hidroeléctrica de WEAP

Con el fin de tener una representación más realista de la energía hidroeléctrica, vincularemos LEAP a WEAP, para que LEAP pueda leer los resultados hidroeléctricas calculados por WEAP. De esta manera, LEAP puede determinar cuánta electricidad podría, en realidad, ser generada a partir de la energía hidroeléctrica.

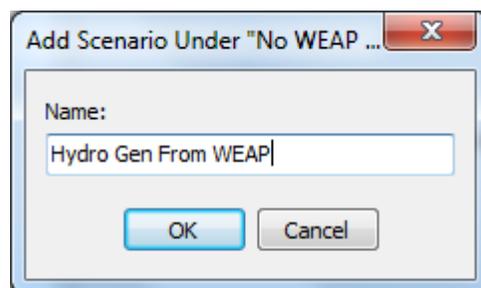
## 7. Crear el escenario en WEAP

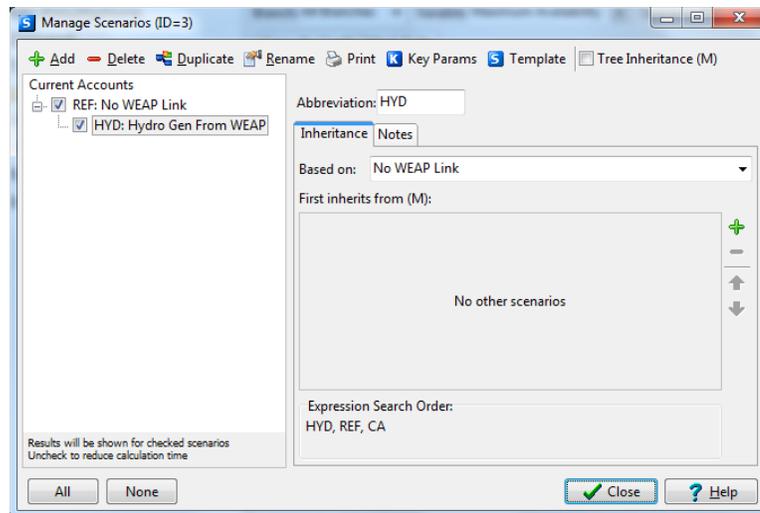
En WEAP, vaya al menú y elija "Area"> "Manage Scenarios (Manejo de Escenarios)", para crear un nuevo escenario bajo el escenario "No LEAP Link", con el nombre de "Hydro Gen From WEAP."



## 8. Crear escenario en LEAP

En WEAP, vaya al menú y elija "Area"> " Manage Scenarios (Manejo de Escenarios) " para crear un nuevo escenario bajo el escenario de "No LEAP Link", y el nombre de "Hydro Gen From WEAP. En la ventana desplegable " Based on", seleccione "No WEAP Link". Esto asegurará que el nuevo escenario hereda las características del escenario "No WEAP Link". Cierre la ventana("Close").

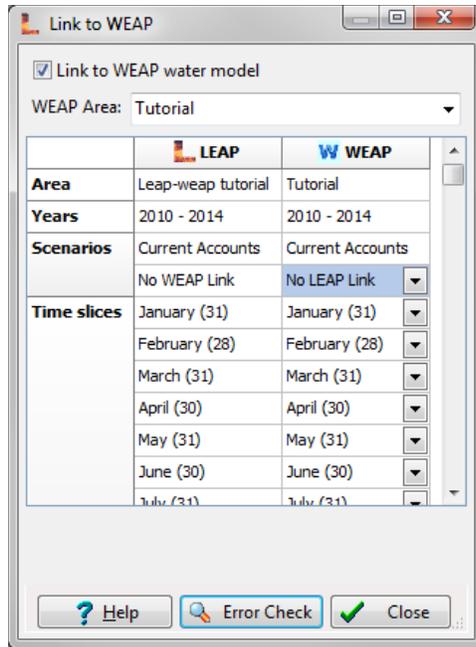




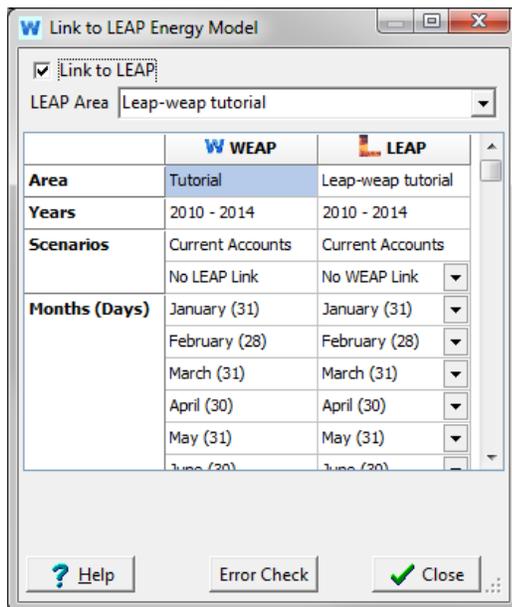
## 9. Vinculando WEAP y LEAP

En LEAP, vaya a la vista "Analysis" y a continuación, en el menú "Advanced (Avanzado)", seleccione "Link to WEAP Water Model (Vincular al Modelo de Agua WEAP)". La ventana que aparece es el gestor de enlaces. En esta ventana, se asocia el área de LEAP con el área WEAP correcta. También es donde usted sincroniza los escenarios y los pasos de tiempo de LEAP y WEAP.

Marque " Link to WEAP water model (Vincular al modelo de agua WEAP)" en el cuadro de la parte superior. Donde dice < *Select a WEAP Area (Selecione un área de WEAP)*>, escoja "Tutorial". Cuando LEAP y WEAP son vinculados por primera vez y los dos modelos tienen el mismo nombre, estos intentarán coincidir los escenarios y pasos de tiempo. Todos los pasos de tiempo deben ser emparejados de forma automática, así como los escenarios "Hydro Gen de WEAP". Los escenarios "No WEAP Link" y "No LEAP Link" no se enlazarán (cuando sus nombres son diferentes), pero esto es correcto, esos dos escenarios no están vinculados. Puede hacer clic en el botón Error Check para doble verificación de los errores. A continuación, cierre la ventana.

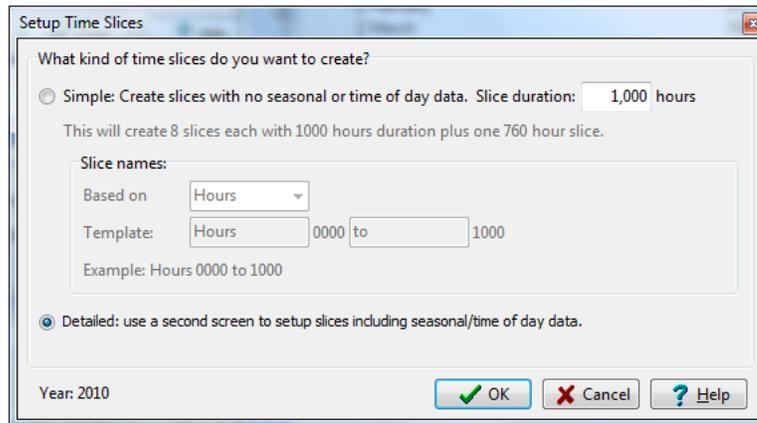


Ahora vamos a seguir los mismos pasos para WEAP. En WEAP, bajo el menú "Advanced", seleccione "Link to LEAP Energy Model". Deben aparecer una ventana y el gestor de enlaces LEAP. Marque el cuadro " Link to LEAP" y compruebe que el Área de LEAP, los escenarios y pasos de tiempo estén vinculados correctamente. Cierre la ventana.

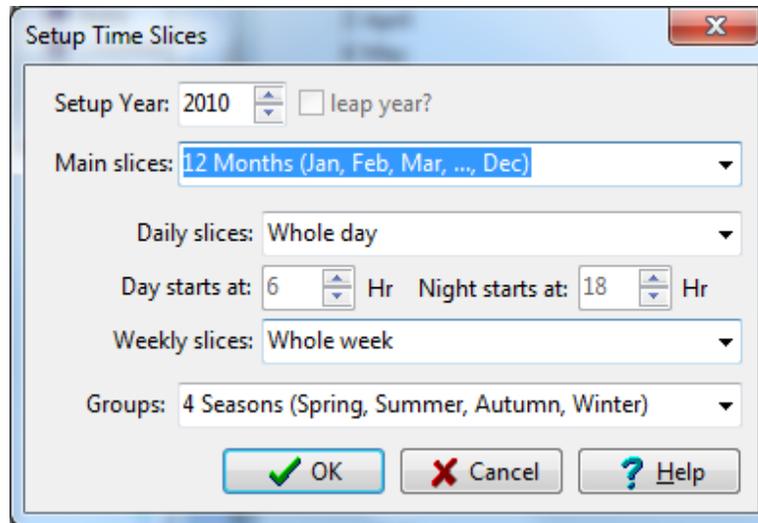


## 10. Períodos de tiempo

En este ejemplo, los timeslices (períodos de tiempo) LEAP ya se han ajustado a mensual. Pero cuando usted crea su propia área de LEAP, tendrá que configurar los timeslices para que coincida con los de la zona WEAP a vincularse (normalmente, mensual). En la vista de Analysis de LEAP, vaya al menú "General" en la parte superior de la ventana y seleccione "Time Slices (porciones de tiempo)". Si esto hubiera sido una nueva área, el valor por defecto de los períodos de tiempo sería 8 días y noches. Para cambiar esto, haga clic en " Setup (Configuración)".



En la ventana "Setup Time Slices (Configuración de períodos de Tiempo)" que aparece, seleccione "Detailed (detallada)" y luego Ok. Cambie " Main slices (períodos principales)" a "12 meses". Asegúrese de que " Daily slices (períodos diarios)" es " Whole day (Todo el día)" y " Weekly slices (períodos semanales)" es " Whole week (semana entera)." Para guardar esta configuración, haga clic en Ok. Sin embargo, debido a que ahora mismo los intervalos de tiempo son mensuales, usted puede simplemente hacer clic en Cancel.

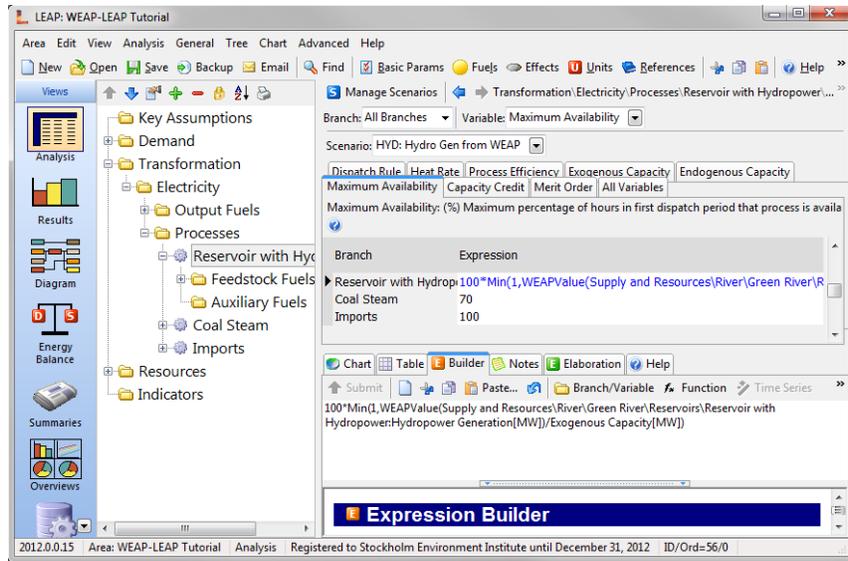


## 11. Leyendo resultados de WEAP en LEAP

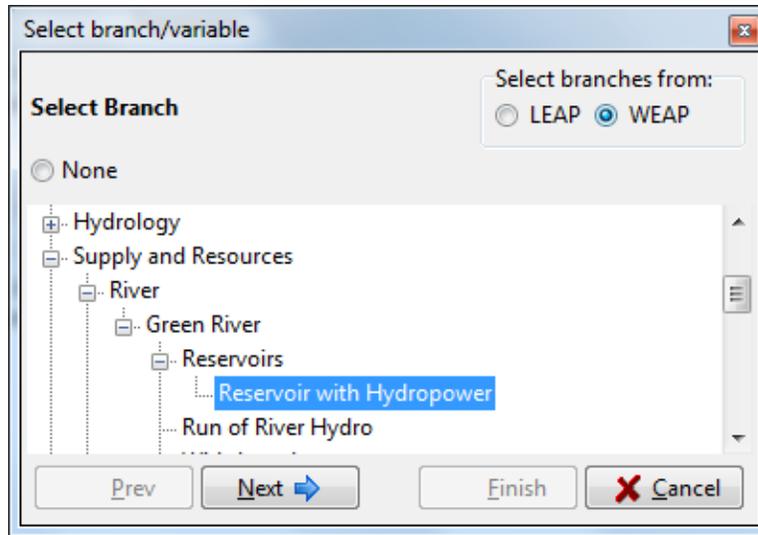
En la vista "Analysis" de LEAP, abra en el árbol de datos "transformation"> "Electricity"> "Processes." Asegúrese de que se ha seleccionado el nuevo escenario "Hydro Gen From WEAP", seleccione la pestaña " Maximum Availability (máxima disponibilidad)" y cambie la expresión (expression) de la rama "Reservoir with Hydropower (Embalse con Hidroeléctrica)" por lo siguiente:

***100\*Min(1,WEAPValue(Supply and Resources\River\Green River\Reservoirs\Reservoir with Hydropower:Hydropower Generation[MW])/Exogenous Capacity[MW])***

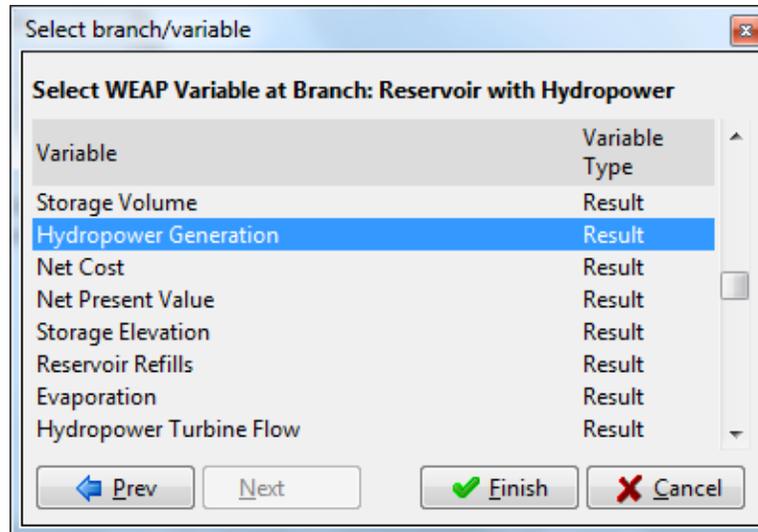
Puede escribir esto directamente o usar el Generador de expresiones (Expression Builder) de LEAP (en la ficha con el icono E de color naranja en la parte inferior de la ventana) para ayudar a construir la expresión.



Use el botón "Branch/Variable" para ingresar en las ramas de WEAP:



Escoja en el ramal "Supply and Resources" > "River" > "Green River" > "Reservoir" > "Reservoir with Hydropower" y dé clic en "Next".

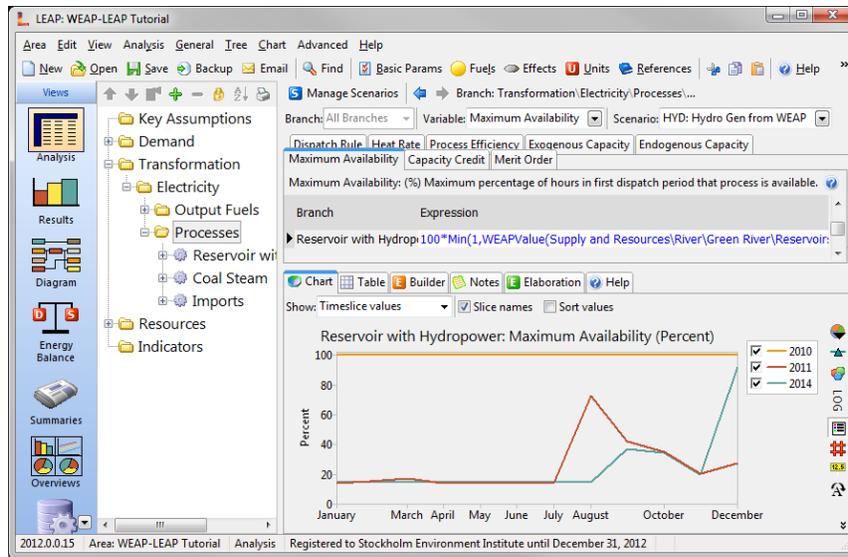


Desplácese hacia abajo para encontrar el resultado de la variable "Hydropower Generation (Generación Hidroeléctrica)" y haga clic en Finalizar. Puede que tenga que cambiar la unidad de "Generación Hidroeléctrica" de GJ a MW. Rellene el resto de la expresión: ponga  $100 * \text{Min}(1, \text{antes del valor de la función WEAP})$  y *Exogenous Capacity-capacidad exógena [MW]*) después de ella. La expresión completa debe ser:

***100\*Min(1,WEAPValue(Supply and Resources\River\Green River\Reservoirs\Reservoir with Hydropower:Hydropower Generation[MW])/Exogenous Capacity[MW])***

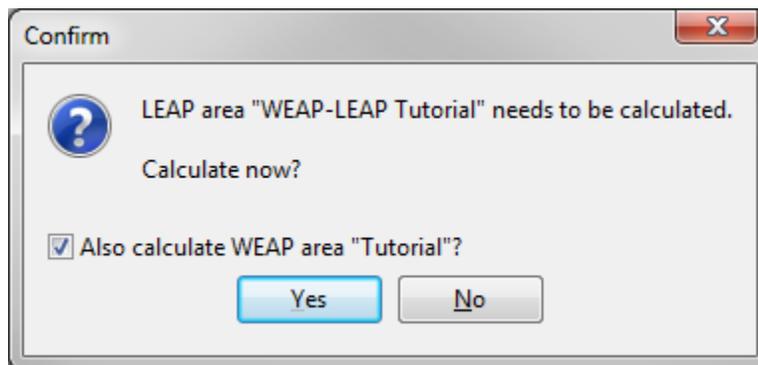
Haga clic en el botón "Submit" de la esquina superior izquierda del generador de expresiones. La función "WEAPvalue" dice a LEAP que mire los datos o resultados calculados por WEAP.

El gráfico de la pestaña "Chart" muestra que la máxima disponibilidad de energía hidroeléctrica en 2011 y 2014, según los cálculos de WEAP, en realidad es mucho más baja que el 100%. Esto restringe la cantidad de electricidad que LEAP puede despachar desde centrales hidroeléctricas. (Nota: Sólo podrá ver estos valores en el gráfico si WEAP ya ha calculado su escenario "Hydro Gen from WEAP".)



## 12. Visualizar los resultados de LEAP

Para ver cómo los resultados hidroeléctricos de WEAP afectan el envío de electricidad de LEAP, cambie a la vista "Results". Ahora que WEAP y LEAP están vinculados y dependen de los resultados de cada uno, necesitará asegurarse que los resultados de ambos estén al día. En el diálogo de confirmación de LEAP para ejecutar los cálculos, se muestra que WEAP también necesita calcular y da la opción de hacer eso también.



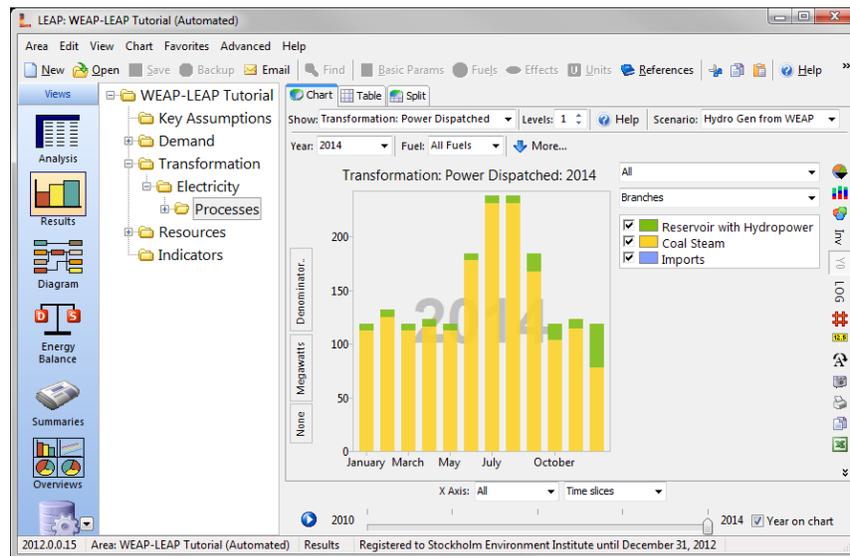
En esta versión inicial del sistema de modelado WEAP-LEAP, el flujo de los cálculos no es totalmente automático. En los modelos que tienen vínculos en ambas direcciones, el usuario es responsable de ejecutar los modelos varias veces hasta que el sistema converge, o reconocer los casos en que los resultados divergen u oscilan entre dos o más estados diferentes. Se espera automatizar este proceso en futuras versiones.

---

**Nota: Sus resultados para este tutorial pueden no coincidir exactamente con los que se muestran aquí, pues varían de acuerdo al número de veces que itere los cálculos de LEAP y WEAP.**

---

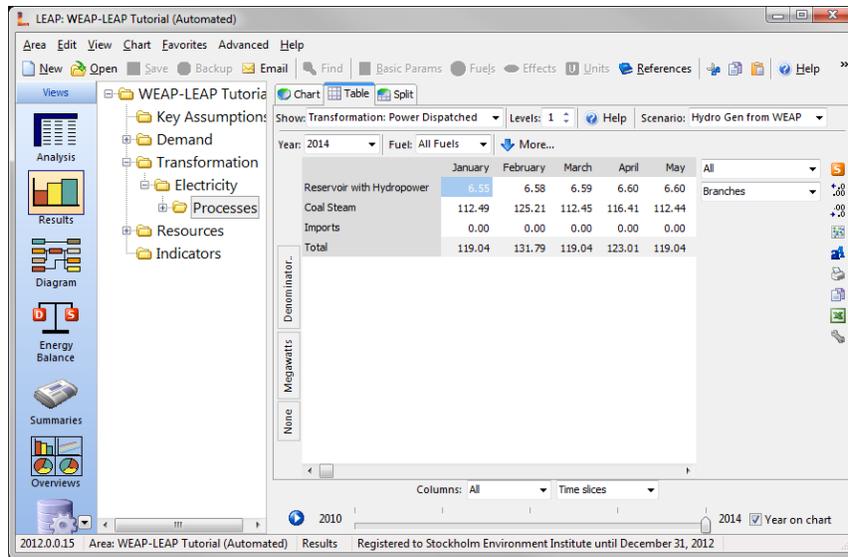
Vaya a la ventana desplegable "Show", que está bajo la pestaña "Chart" y seleccione la opción "Transformation: Average Power Dispatched". Seleccione el escenario "Hydro Gen from WEAP" que se encuentra en la ventana desplegable de "Scenario" en la parte superior derecha. En la ventana desplegable debajo de Scenarios, seleccione " All Branches (Todas las Ramas)" para el eje vertical de la gráfica, y " All Time Slices (Todos los segmentos de tiempo)" para el eje horizontal.



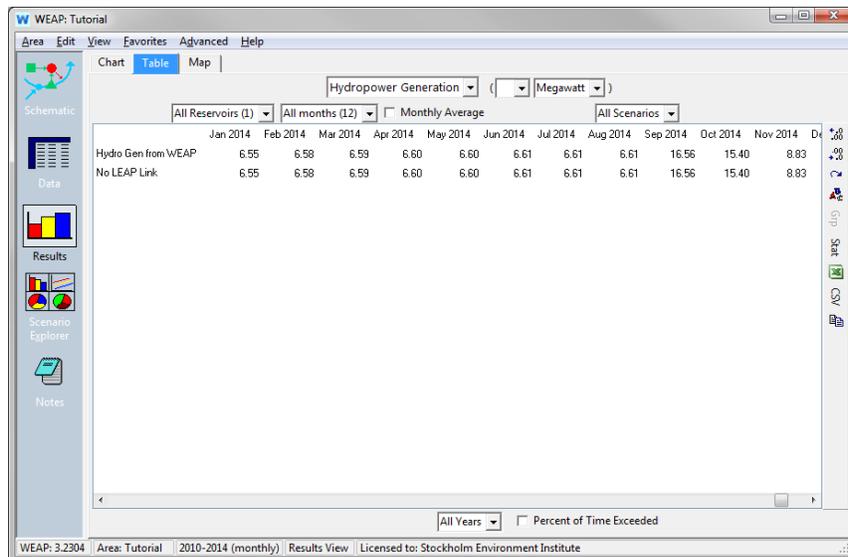
Como podemos ver en el gráfico, hay mucha menos energía hidroeléctrica y mucho más vapor de carbón en este escenario debido a la restricción dada por WEAP.

Podemos comprobar que las salidas generadas por WEAP efectivamente coinciden con las entradas a LEAP.

Vaya a la pestaña "Tabla" en la vista LEAP "Results"; note que para enero de 2014, la cantidad de energía hidroeléctrica generada por el embalse es de 6.55 MW .



En WEAP, bajo la pestaña "tabla" de la vista "Results", el valor para enero de 2014 es también 6,55 MW.



## Escenario: Demanda de agua de refrigeración de LEAP

Como se mencionó antes, la central eléctrica de carbón aguas abajo de la ciudad, utiliza agua de refrigeración en su proceso de generación de electricidad. La demanda

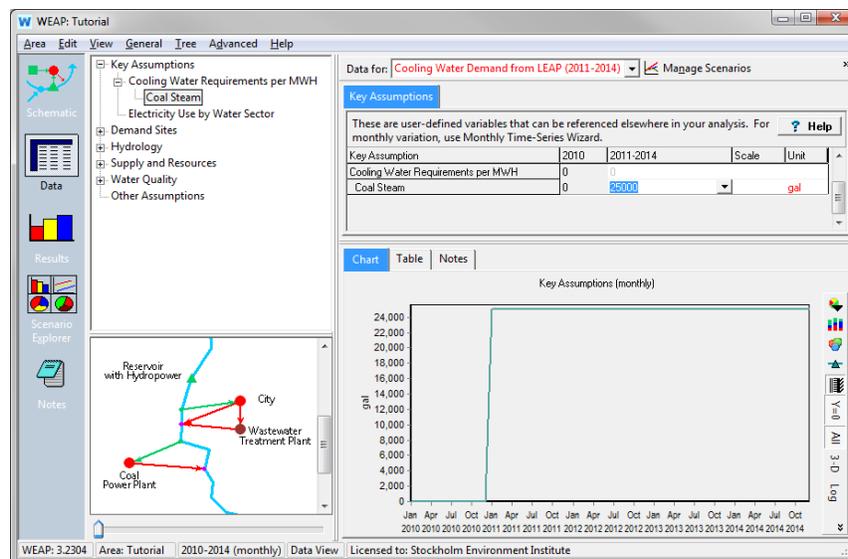
de agua de la planta de carbón se determina por la cantidad de electricidad que genera en LEAP.

## 13. Crear el escenario

Crear un nuevo escenario, tanto en WEAP como en LEAP, llamado "Cooling Water Demand from LEAP." El nuevo escenario debe heredar las propiedades del escenario "Hydro Gen from WEAP". Compruebe el gestor de enlaces para asegurarse de que los nuevos escenarios están vinculados entre sí ("Advanced"> "Link to WEAP" o "Link to LEAP" dependiendo si está en LEAP o WEAP).

## 14. Introducir el Uso del Agua en WEAP

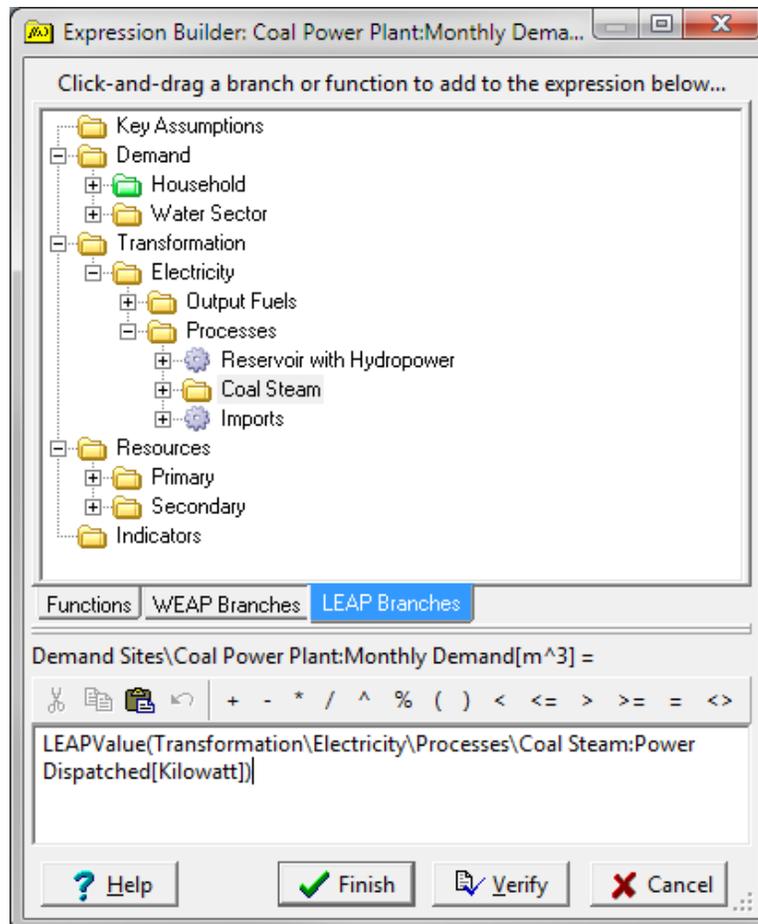
En la vista "Datos" de WEAP, vaya a "Key Assumptions"> "Cooling Water Requirements per MWH MHW" > "Coal Steam". Escriba 25.000 galones (asegúrese de que el escenario "Cooling Water Demand from LEAP-demanda de agua de refrigeración de LEAP" está seleccionado):



Seleccione "Demand Sites (Sitios de demanada)" > "Coal Power Plant (Planta de carbón)" en el árbol. En la pestaña "Water Use (Uso del Agua)" seleccione "Monthly Demand (Demanda mensual)", introduzca la siguiente función LEAP:

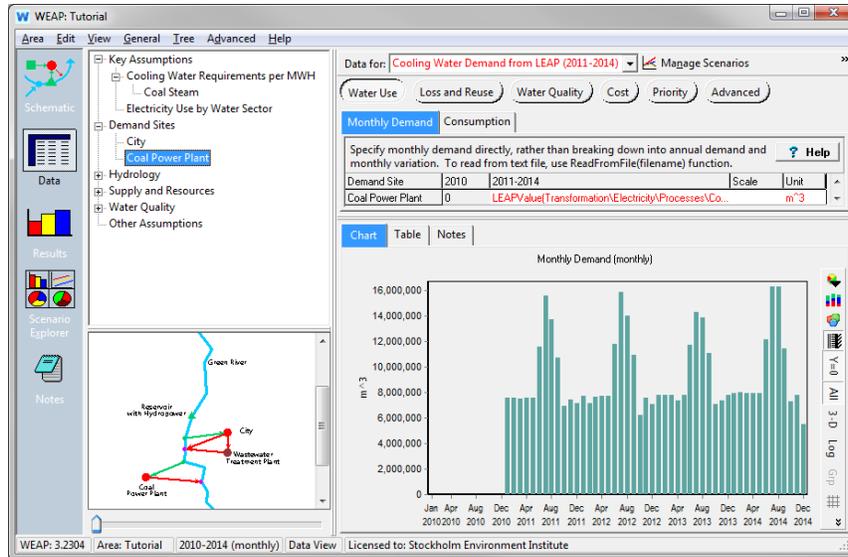
*LEAPValue(Transformation\Electricity\Processes\Coal Steam:Average Power Dispatched[MW]) \* Days \* 24 \* Key\Cooling Water Requirements per MWH\Coal Steam[m^3].*

*Nota: Puede usar la pestaña " LEAP Branches " en Generador de expresiones de WEAP para ayudar a construir parte de la expresión LEAPValue. Si lo hace, tendrá que cambiar la unidad de kilovatios a MW:*



Multiplicando *Días* \* 24 convierte la energía de MW a MHW (megavatio-hora); multiplicando el requerimiento de agua por MHW da el volumen de agua necesaria para que la central eléctrica de carbón funcione.

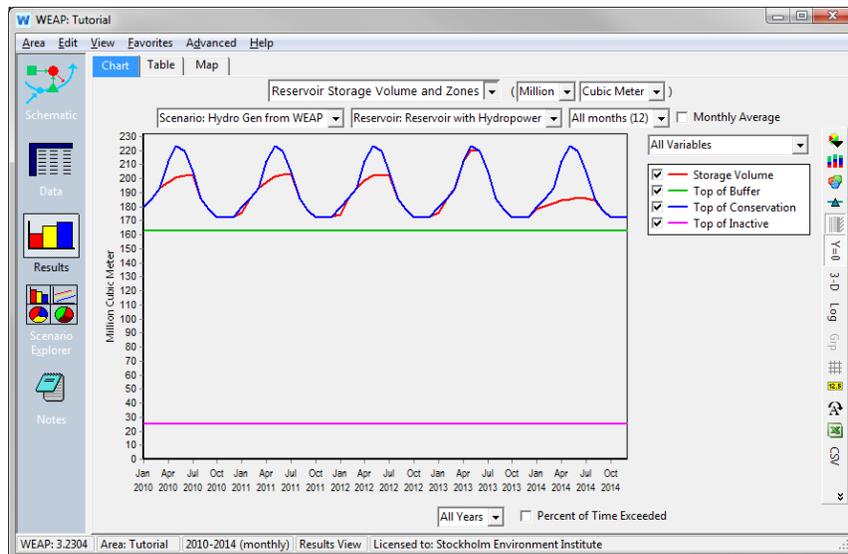
El gráfico muestra la variación de la demanda de agua refrigerada, dependiendo de la cantidad de electricidad que es generada por la planta energética de carbón.



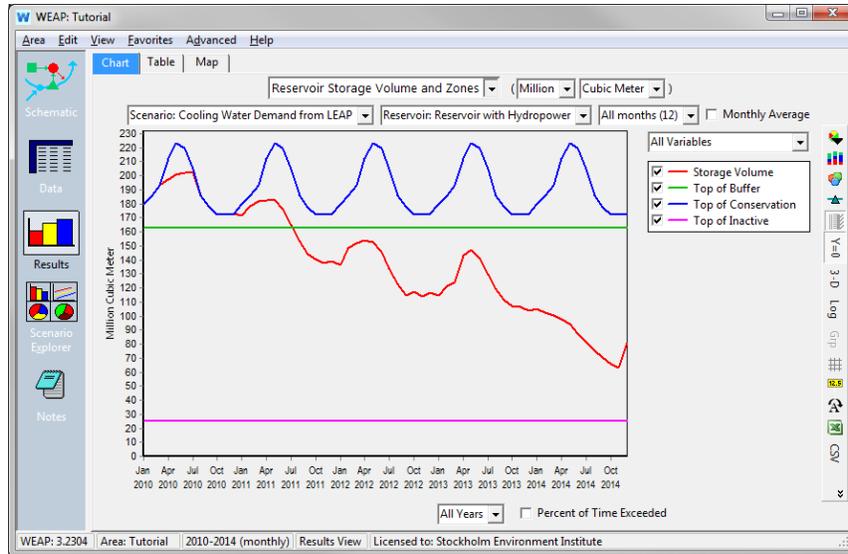
Nota: Si LEAP aún no ha calculado este escenario, no verá ningún resultado aquí.

## 15. Visualizar resultados de WEAP

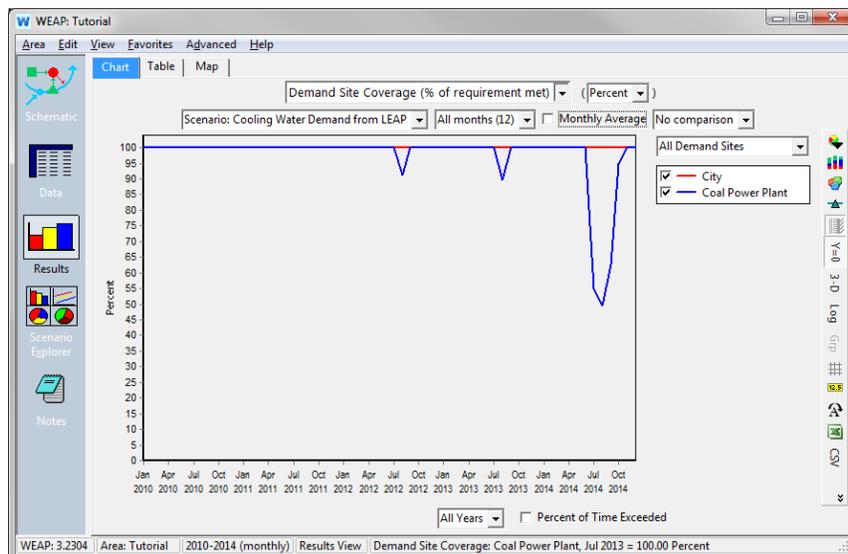
Vaya a la vista "Results", seleccione "Reservoir Storage Volume and Zones (Volumen de almacenamiento de embalse y zonas)" en la ventana desplegable de la parte superior. ("Supply and Resources">"Reservoir">"Storage Volume and Zones"). El gráfico muestra en rojo el volumen de almacenamiento contra de las diferentes zonas del embalse.



Cambie el escenario a "Cooling water demand from WEAP". Ahora podemos ver que el nivel del embalse baja con el tiempo debido a la nueva demanda de agua de refrigeración.



Si echamos un vistazo a la variable "Demand Site Coverage", se observa que la cobertura de la demanda de la planta de carbón es inferior al 100% en varios meses. Esto significa que no hay suficiente agua para satisfacer la demanda de la planta de carbón.

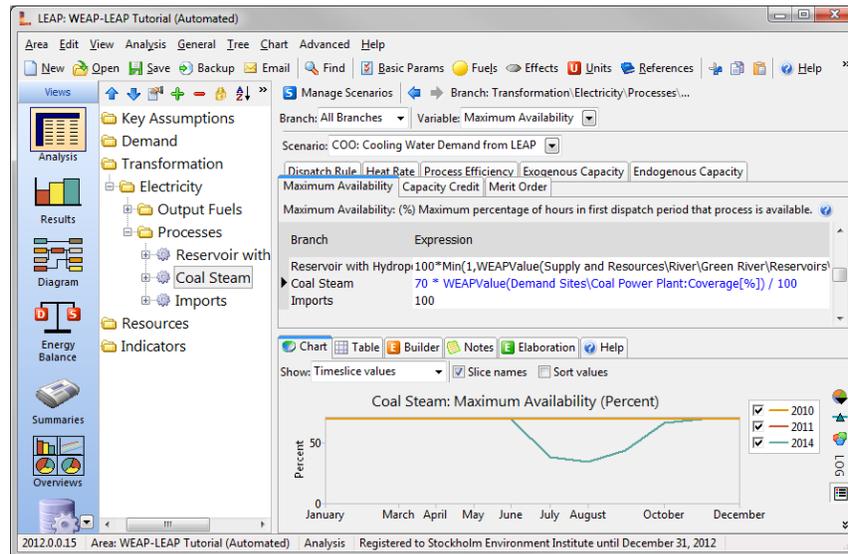


## 16. Introducir la expresión WEAP en LEAP

Ahora vamos a ver cómo esta restricción en WEAP afecta los resultados en LEAP. Vaya a la vista "Analysis" en LEAP y seleccione el escenario "Cooling Water Demand from LEAP" de la ventana desplegable. En la pestaña "Maximum Availability (Máxima disponibilidad)", introduzca la siguiente expresión de entrada en WEAP para la rama de carbón de vapor:

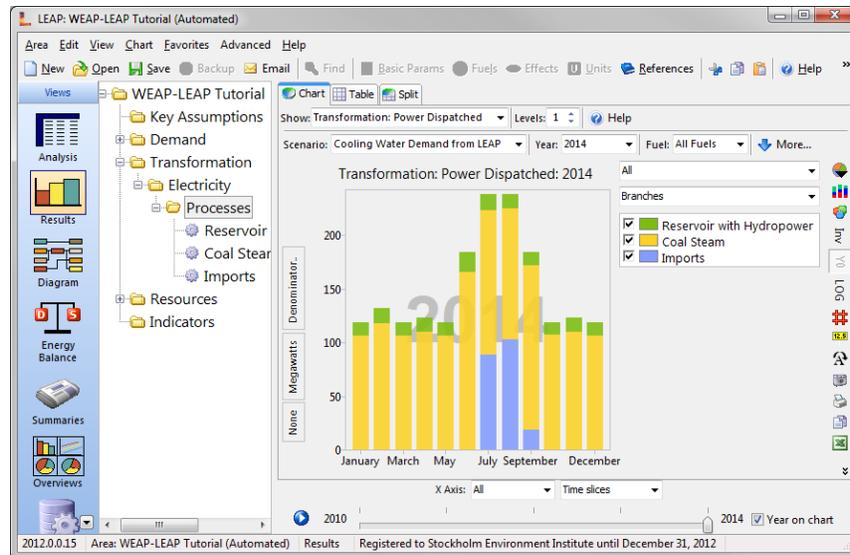
***70 \* WEAPValue(Demand Sites\Coal Power Plant:Coverage[%]) / 100***

Esta es la cobertura de la demanda de la planta energética de carbón. El gráfico muestra que, en los meses donde la cobertura está por debajo de 100%, la disponibilidad máxima será de menos del 70%.



## 17. Visualizar Resultados en LEAP

Cambie la vista a "Results", seleccione el escenario "Cooling Water Demand from LEAP ". En el 2014, no hay suficiente agua para satisfacer la demanda de agua de enfriamiento, lo que reduce la capacidad de generación de la planta de carbón. Podemos ver que, a veces, las importaciones (en azul) están obligadas a compensar la falta de cobertura de la energía hidroeléctrica y del vapor de carbón.



## Escenario: Demanda de Electricidad de WEAP

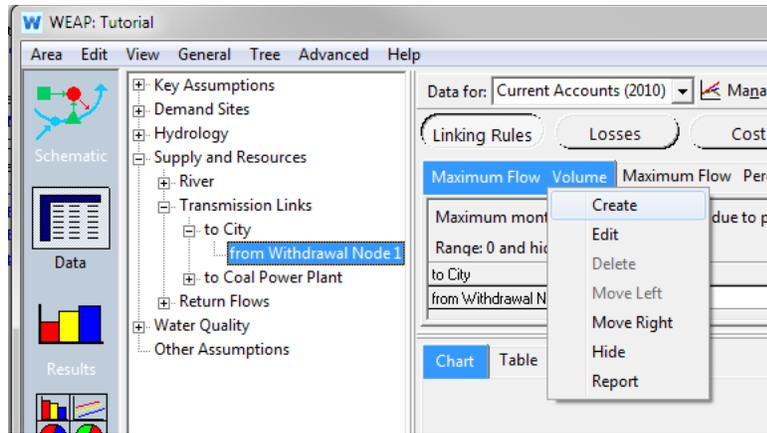
El sector del agua utiliza la electricidad para tratar, bombear y distribuir agua. La cantidad de agua utilizada y tratada, cambia acorde a la demanda de electricidad.

### 18. Crear escenario en WEAP

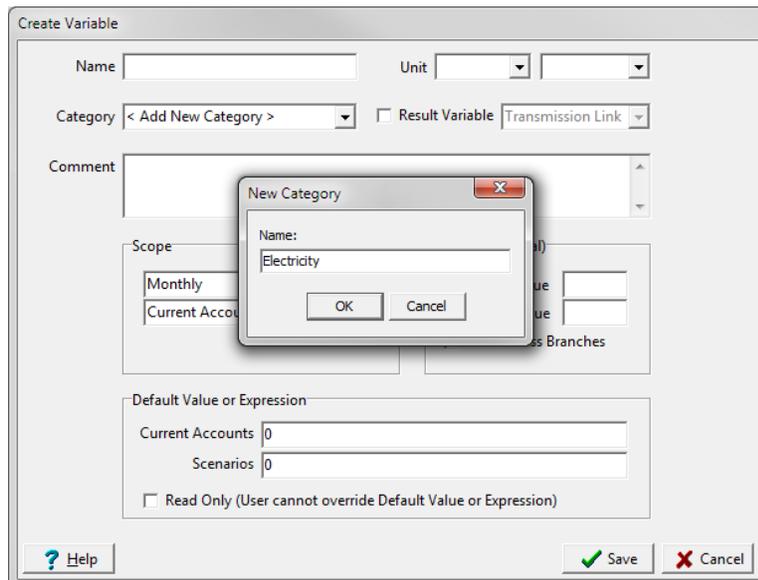
En WEAP, cree un nuevo escenario llamado "Electricity Demand from WEAP (La demanda de electricidad a partir WEAP)," heredando las características del escenario "Cooling water demand from LEAP ". Aquí nos vamos a centrar en dos demandas de electricidad por el sector del agua.

La primera es la transmisión desde el río a la ciudad. En el árbol de datos, abra "Supply and Resources (Suministro y Recursos)", "Transmission Links (Enlaces de transmisión)" y "to City".

Cree dos nuevas variables, "Electricity per Cubic Meter (electricidad por metro cúbico)" y "Total Electricity (Electricidad Total )", para modelar la electricidad utilizada por el bombeo y el tratamiento de agua. Haga clic derecho en una pestaña existente (por ejemplo, Maximum Flow Volume) y seleccione "Crear".

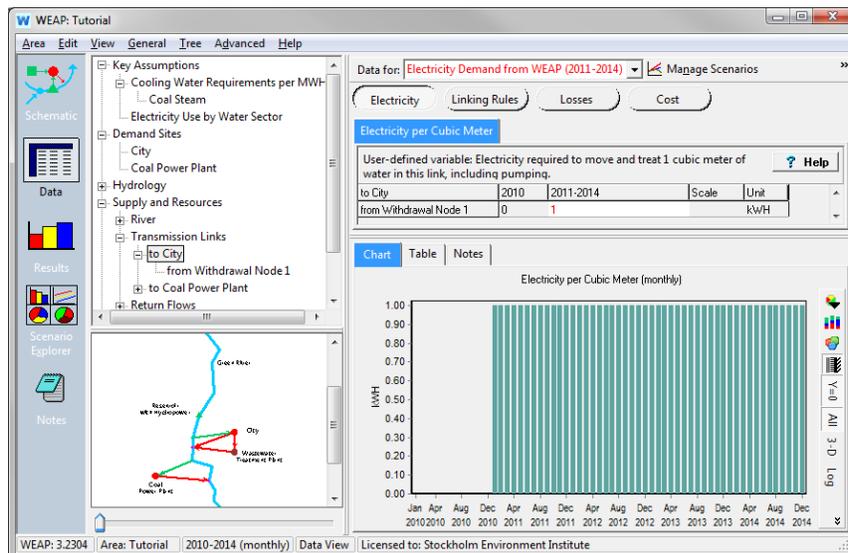


En primer lugar, cree una nueva categoría llamada "Electricity": seleccione < *Add New Category*> para agregarlo.



Ahora, introduzca la siguiente información y haga clic en Guardar:

Una vez creada la variable, introduzca los datos en el escenario "Electricity Demand from WEAP" sobre la energía necesaria para el bombeo y tratamiento de la Ciudad (1kWH / cubic meter) y la Planta de carbón (0.2 kWH / cubic meter). Consejo: haga clic en el enlace de transmisión en la parte inferior izquierda del mapa para ir a esa rama en el árbol.



Cree otra variable llamada " Total Electricity ":

The screenshot shows the 'Edit Variable' dialog box with the following configuration:

- Name:** Total Electricity
- Unit:** kWH
- Category:** Electricity
- Result Variable:** Transmission Link (checked)
- Comment:** Electricity required to move and treat water flowing through this link, including pumping.
- Scope:** Monthly, Current Accounts and Scenarios
- Values (Optional):** Minimum Value: 0, Maximum Value: (empty), Sum Across Branches (checked)
- Default Value or Expression:**
  - Current Accounts: Electricity per Cubic Meter \* PrevTSValue(Flow)
  - Scenarios: Electricity per Cubic Meter \* PrevTSValue(Flow)
- Read Only:** (checked)

Nota: Esta variable será de sólo lectura, la expresión que usted introduce (*Electricity per Cubic Meter \* PrevTSValue(Flow)*) calculará por defecto el total de electricidad utilizada por el enlace de transmisión en el paso de tiempo anterior. Debido a que esta es la expresión predeterminada, será usada para todos los enlaces de transmisión.

La segunda demanda de electricidad en este modelo es de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. Encuentre ésta en el árbol de datos debajo de " Water Quality (Calidad del Agua)" y " Wastewater Treatment (Tratamiento de Aguas Residuales)". Vamos a modelar de la misma manera como lo hicimos para los enlaces de transmisión. Agregue dos nuevas variables: "Electricity per Cubic Meter" y "Total Electricity," con las siguientes definiciones:

The screenshot shows the 'Edit Variable' dialog box for the variable 'Electricity per Cubic Meter'. The 'Name' field contains 'Electricity per Cubic Meter' and the 'Unit' is set to 'kWh'. The 'Category' is 'Electricity' and the 'Result Variable' is 'Water Quality'. The 'Comment' field contains 'Energy required to treat 1 cubic meter of wastewater.' The 'Scope' is set to 'Monthly' and 'Current Accounts and Scenarios'. The 'Values (Optional)' section has 'Minimum Value' set to '0' and 'Maximum Value' is empty. The 'Sum Across Branches' checkbox is checked. The 'Default Value or Expression' section has 'Current Accounts' and 'Scenarios' both set to '0'. The 'Read Only' checkbox is unchecked. Buttons for 'Help', 'Save', and 'Cancel' are at the bottom.

The screenshot shows the 'Edit Variable' dialog box for the variable 'Total Electricity'. The 'Name' field contains 'Total Electricity' and the 'Unit' is set to 'kWh'. The 'Category' is 'Electricity' and the 'Result Variable' is 'Water Quality'. The 'Comment' field contains 'Energy required to treat all wastewater at this plant.' The 'Scope' is set to 'Monthly' and 'Current Accounts and Scenarios'. The 'Values (Optional)' section has 'Minimum Value' and 'Maximum Value' both empty. The 'Sum Across Branches' checkbox is checked. The 'Default Value or Expression' section has 'Current Accounts' and 'Scenarios' both containing the expression 'Electricity per Cubic Meter[kWh] \* PrevTSValue(Wastewater Treatment Plant Total Inflow[m^3])'. The 'Read Only' checkbox is checked. Buttons for 'Help', 'Save', and 'Cancel' are at the bottom.

Una vez que ha creado " Electricity per Cubic Meter ", introduzca los datos en el escenario " Electricity Demand from WEAP ": 0,1 kWh / metro cúbico. La expresión predeterminada para la solo-lectura del resultado de total de electricidad es:

$$\text{Electricity per Cubic Meter[kWh]} * \text{PrevTSValue(Wastewater Treatment Plant Total Inflow[m}^3\text{])}$$

## 19. Añadir supuestos clave en WEAP

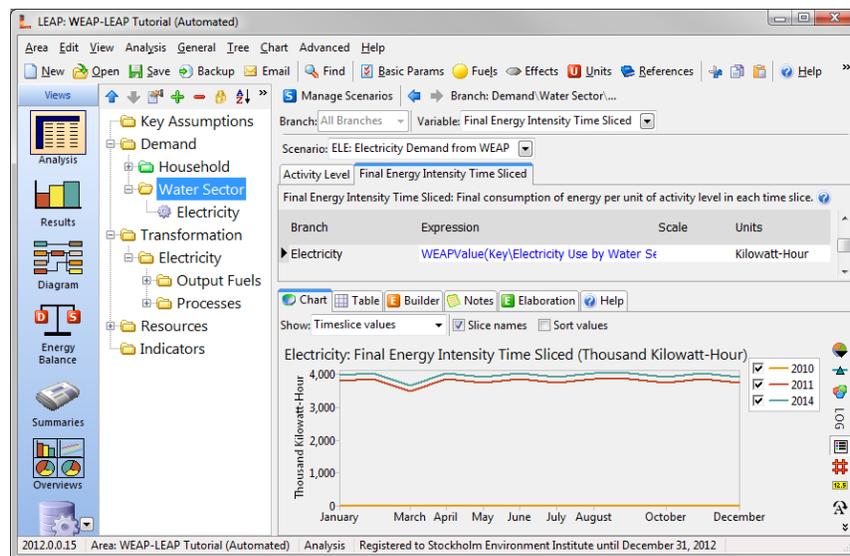
Estas dos demandas de electricidad se pueden resumir en una suposición clave. Añadir un nuevo supuesto clave en el árbol de datos con el nombre de "Electricity Use by Water Sector (Electricidad usada por el sector de agua)." (Haga clic derecho sobre la rama "Supuestos clave" y seleccione "Agregar" y seleccione kilovatio-horas para la unidad.) Escriba la siguiente expresión en las cuentas corrientes:

*(Supply and Resources \ Transmission Links:Total Electricity[kWH] + Water Quality \ Wastewater Treatment:Total Electricity[kWH])*

## 20. Crear escenario en LEAP

Abra la vista "Analysis" de LEAP y cree un escenario llamado "Electricity Demand from WEAP." Vaya a la pantalla de vincular a WEAP y vincule este escenario con el escenario correspondiente en WEAP. En el árbol de datos, vaya a branch Demand \ Water Sector. Introduzca esta expresión en "Final Energy Intensity Time Sliced" (asegúrese de que el escenario "Electricity Demand from WEAP" esté seleccionado):

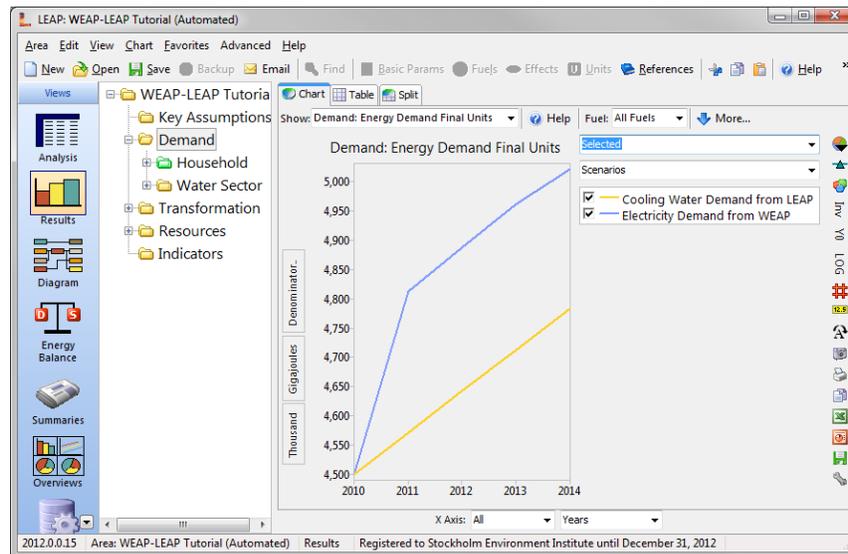
*WEAPValue(Key \ Electricity Use by Water Sector[kWH])*



Tendrá que ejecutar los cálculos antes de poder ver estos resultados en la vista de datos

## 21. Visualizar resultados y comparar escenarios

En la vista "Results" de LEAP, se puede comparar la demanda de energía a través de los escenarios. Elija la variable "Energy Demand Final Units" desplegable en la parte superior de la ventana, y "All Scenarios" para la leyenda. El escenario "Electricity Demand from WEAP" debe mostrar una variación de la demanda, mientras que los otros escenarios muestran líneas rectas, ya que no tienen en cuenta la demanda de electricidad cambiando desde el sector del agua.



Mire en WEAP los resultados por escenarios para el depósito del embalse. Debido a la demanda de electricidad de WEAP, LEAP debe remitir más carbón de la planta, lo que aumenta el requisito de agua de refrigeración, que reduce aún más el nivel del depósito. En este sencillo ejemplo, se ve la complejidad de lo que puede ser modelado mediante la vinculación de WEAP y LEAP.

