

La gestión integral del agua en México: algunos casos de aplicación

A. Palma y F. González

**IV ENCUENTRO UNIVERSITARIO DEL AGUA
Auditorio del Jardín Botánico. UNAM
23 de octubre de 2012**



1. INTRODUCCIÓN

2. CONCEPTOS

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

4. CASOS DE APLICACIÓN

5. RESULTADOS

6. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES



- La población crece y con ello la demanda del agua de buena calidad, con la consecuencia del aumento del volumen de aguas residuales
- Al mismo tiempo son necesarias más áreas de irrigación para satisfacer la demanda de esta población en crecimiento
- Mientras que lo anterior es cierto, existe una gran incertidumbre en cómo cambiará el clima y cual será la afectación sobre las actividades humanas
- Dadas estas características es evidente una mayor competencia por el agua para diversas actividades; para afrontar esta situación es necesario realizar un manejo integral del agua

GESTIÓN INTEGRAL DEL AGUA: FUNDAMENTOS

El manejo integral del agua se refiere a la formulación de estrategias y aplicación de tecnologías adecuadas para la planeación y ejecución del manejo sustentable de los recursos hídricos en una región.

Es un proceso holístico donde todos los factores involucrados son considerados en el proceso de toma de decisiones, enfocado en:

- Manejo de la oferta
- Manejo de la demanda del agua (conservación, transferencias)
- Calidad del agua
- Manejo conjunto de aguas superficiales y subterráneas
- Reciclaje y reúso del agua
- Control de contaminación
- Resolución de conflictos
- Cambio climático

Manejo Integral de una cuenca con modelos acoplados de la hidrología regional, son necesarios para entender en su totalidad las relaciones complejas entre el Clima, Suelo/agua y flujos Superficial/subsuperficial y subterráneo

Relaciones complejas

CLIMA

Diferentes usos consuntivos

Recharge contributing to transboundary flow

Discharge from transboundary flow

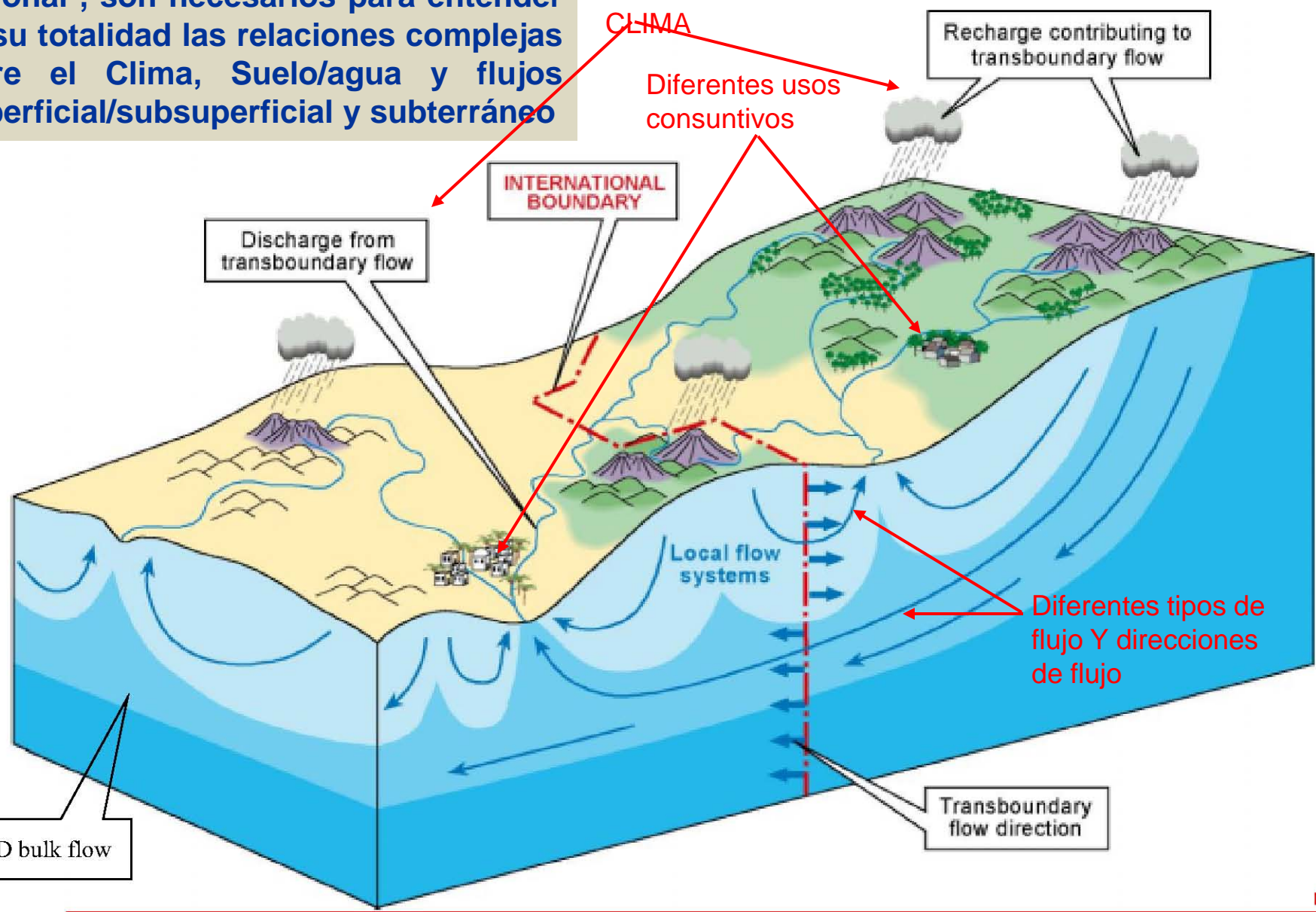
INTERNATIONAL BOUNDARY

Local flow systems

Diferentes tipos de flujo Y direcciones de flujo

Transboundary flow direction

3D bulk flow





Sustentabilidad: Manejo y uso del agua de forma tal que se pueda sostener el suministro de forma indefinida sin causar consecuencias ambientales, económicas y sociales.

Uso conjunto: Manejo conjunto de los recursos superficiales y subterráneos para optimar el suministro de agua a usuarios minimizando daños sobre la cantidad y **calidad**.

Gestión del agua: La actividad de planear, desarrollar, distribuir y manejar el uso óptimo de los recursos hídricos.



Gestión sostenible de agua

Una gestión sostenible y equilibrada de aguas no es posible, muchas veces, sin tener en cuenta el origen del agua, como las aguas superficiales o de precipitación.

En muchos países con distribución de precipitación anual concentrada en algunos meses específicos, o con largos consumos de agua, la gestión deberá tener en cuenta la utilización conjunta de aguas superficiales y subterráneas.

Hay muchos países en que la gestión conjunta aguas subterráneas / aguas superficiales:

- O no se hace de todo
- O se hace de una forma no controlada

- CASO MÉXICO

MÉTODOS DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA

- Gestión integrada de los recursos hídricos
- Procesos de planificación y coordinación
- Incentivar el manejo óptimo y **racional** del agua
- Desarrollar escenarios para planear la gestión
- Predecir los resultados de planes y programas alternativos
- CASO SONORA
- CASO VALLE DE MÉXICO

CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL RÍO SONORA

Objetivo General

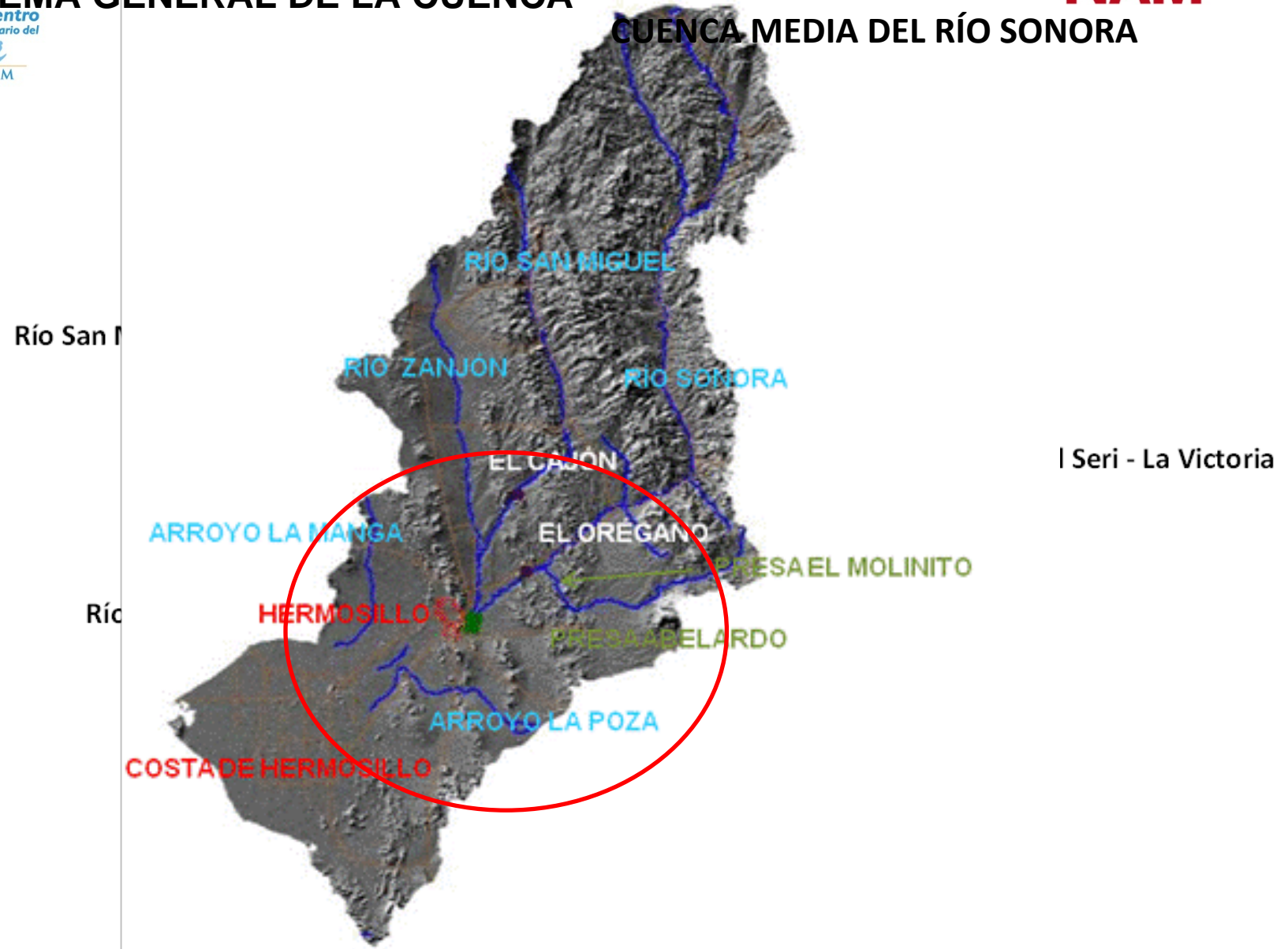
- Desarrollo de metodologías para el manejo integral de aguas (superficiales y subterráneas) en la cuenca

Objetivos específicos

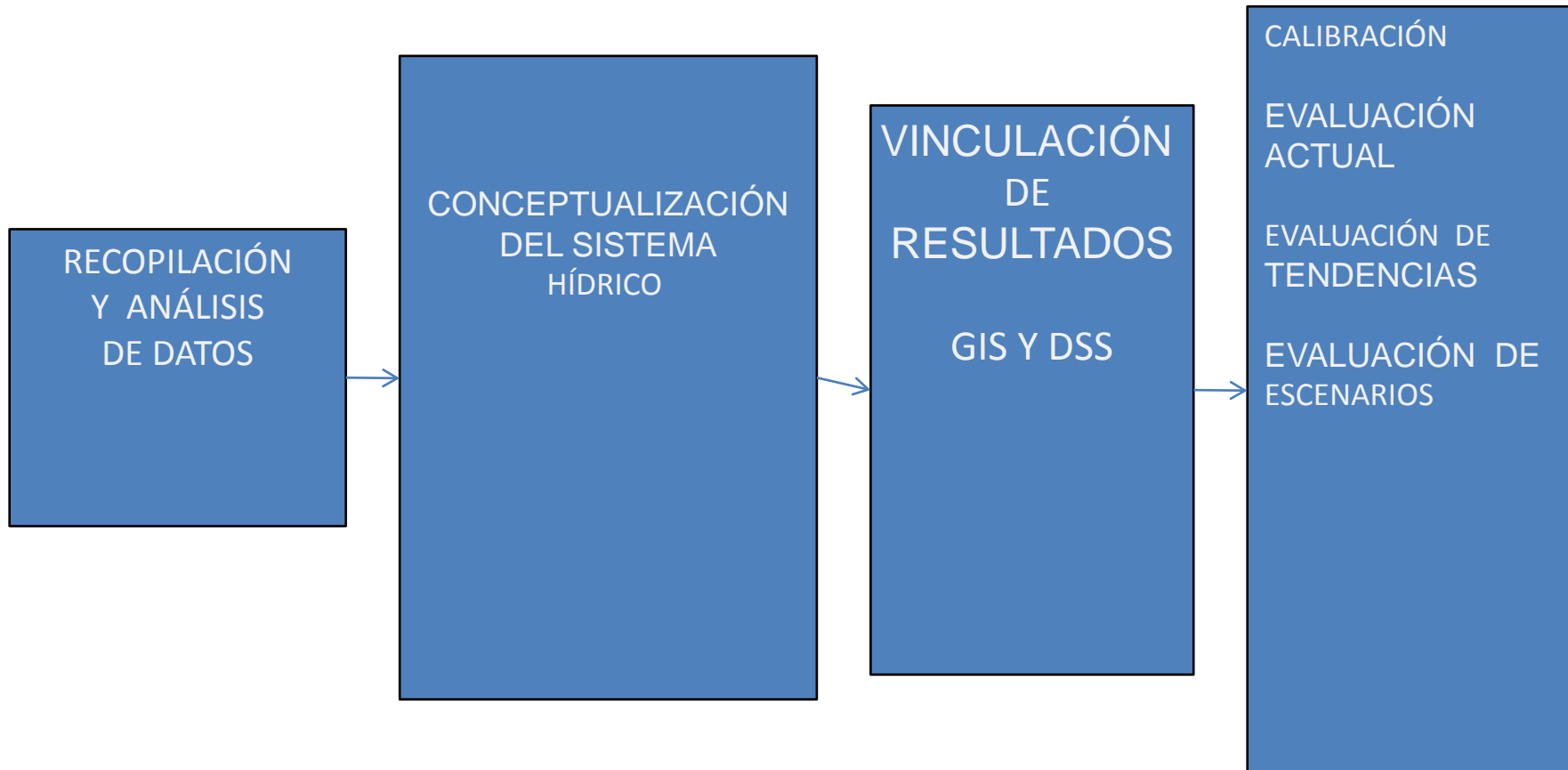
- Análisis hidrológico integrado de la cuenca
- Políticas de operación de las presas y acuíferos
- Definir proyectos de recarga artificial
- Optimizar el abastecimiento del sistema
- Desarrollar Modelos de simulación

ESQUEMA GENERAL DE LA CUENCA

CUENCA MEDIA DEL RÍO SONORA

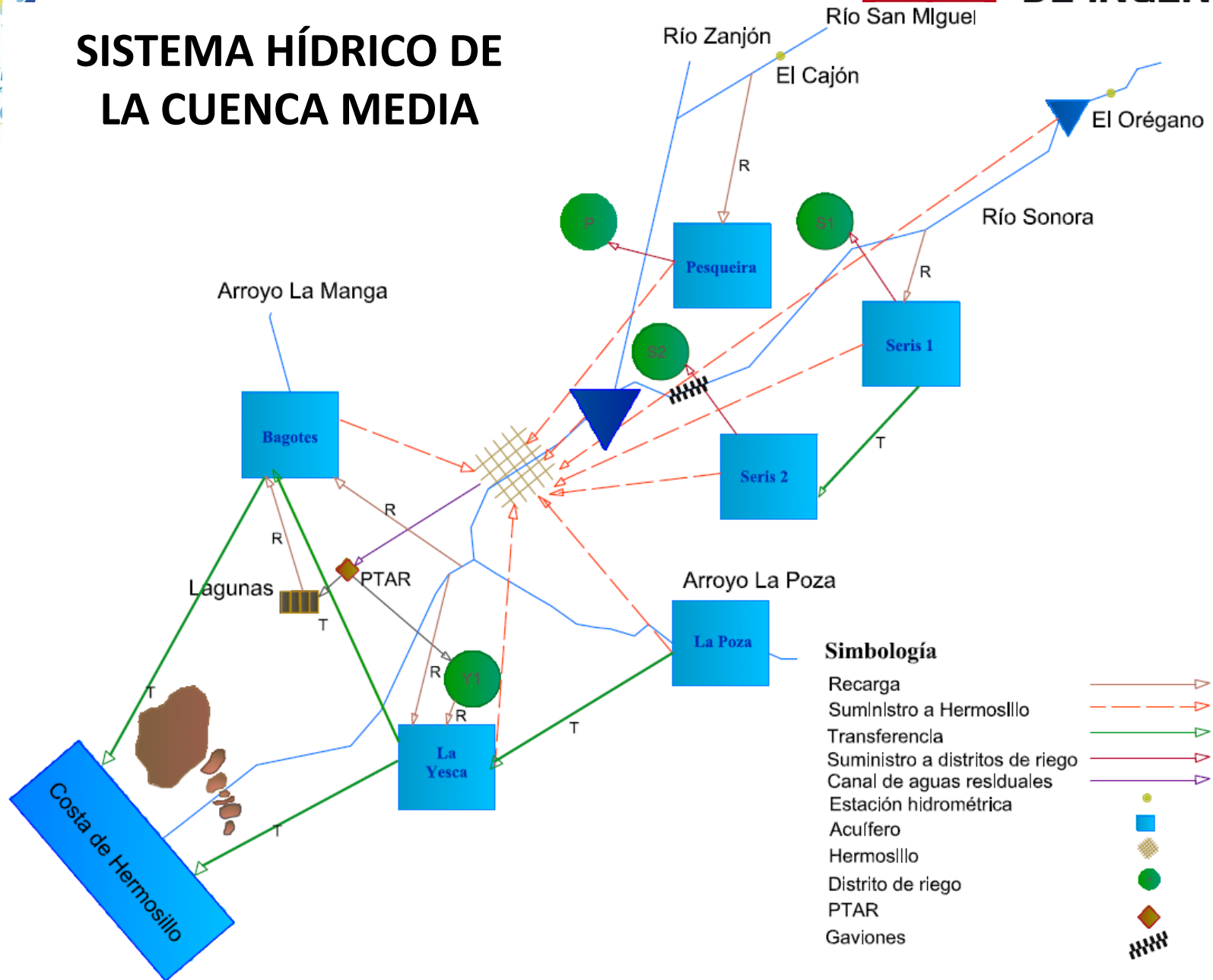


MANEJO CONJUNTO EN LA CUENCA MEDIA DEL RÍO SONORA



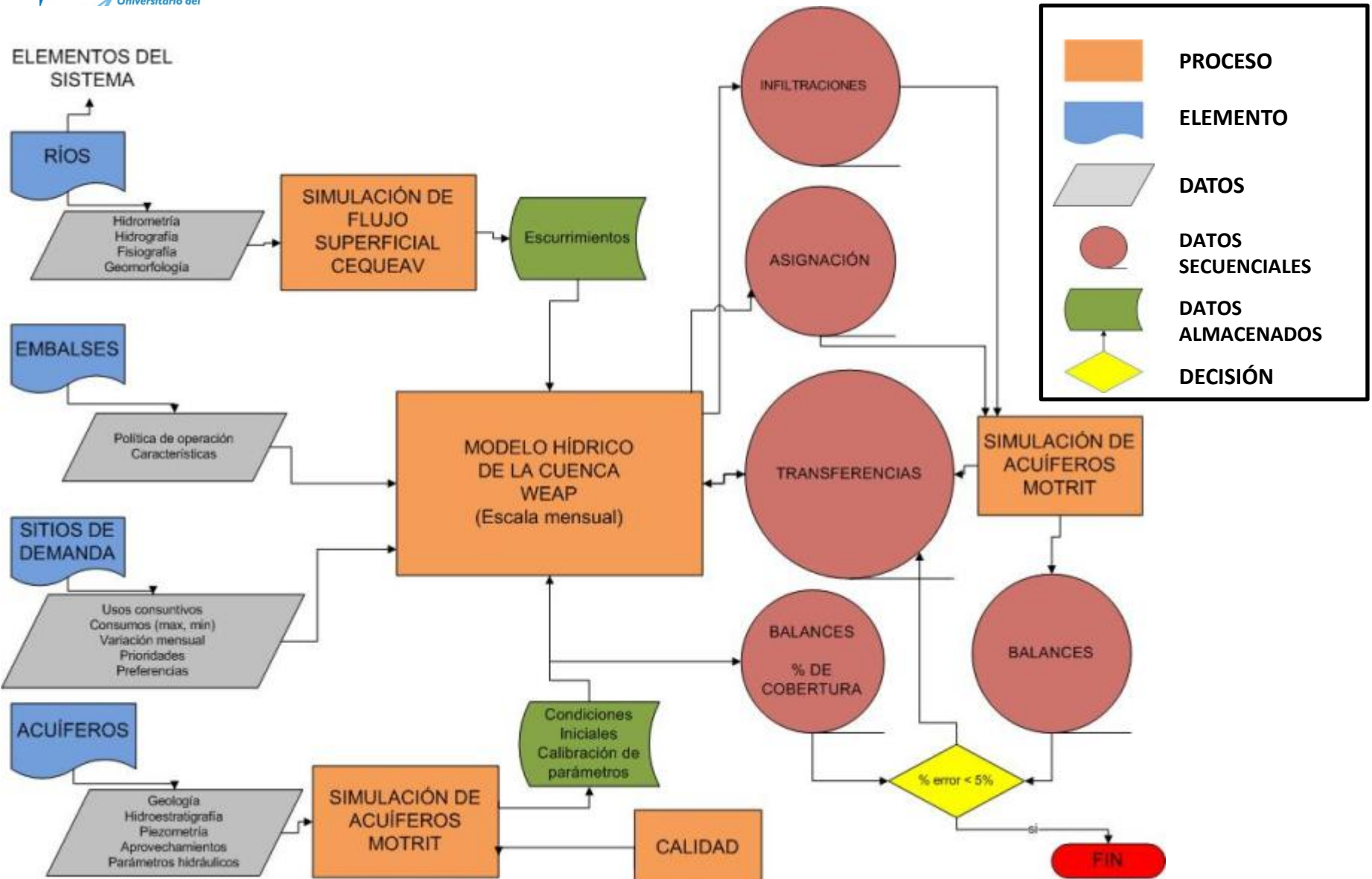


SISTEMA HÍDRICO DE LA CUENCA MEDIA



Simbología

- Recarga
- Suministro a Hermosillo
- Transferencia
- Suministro a distritos de riego
- Canal de aguas residuales
- Estación hidrométrica
- Acuífero
- Hermosillo
- Distrito de riego
- PTAR
- Gaviones



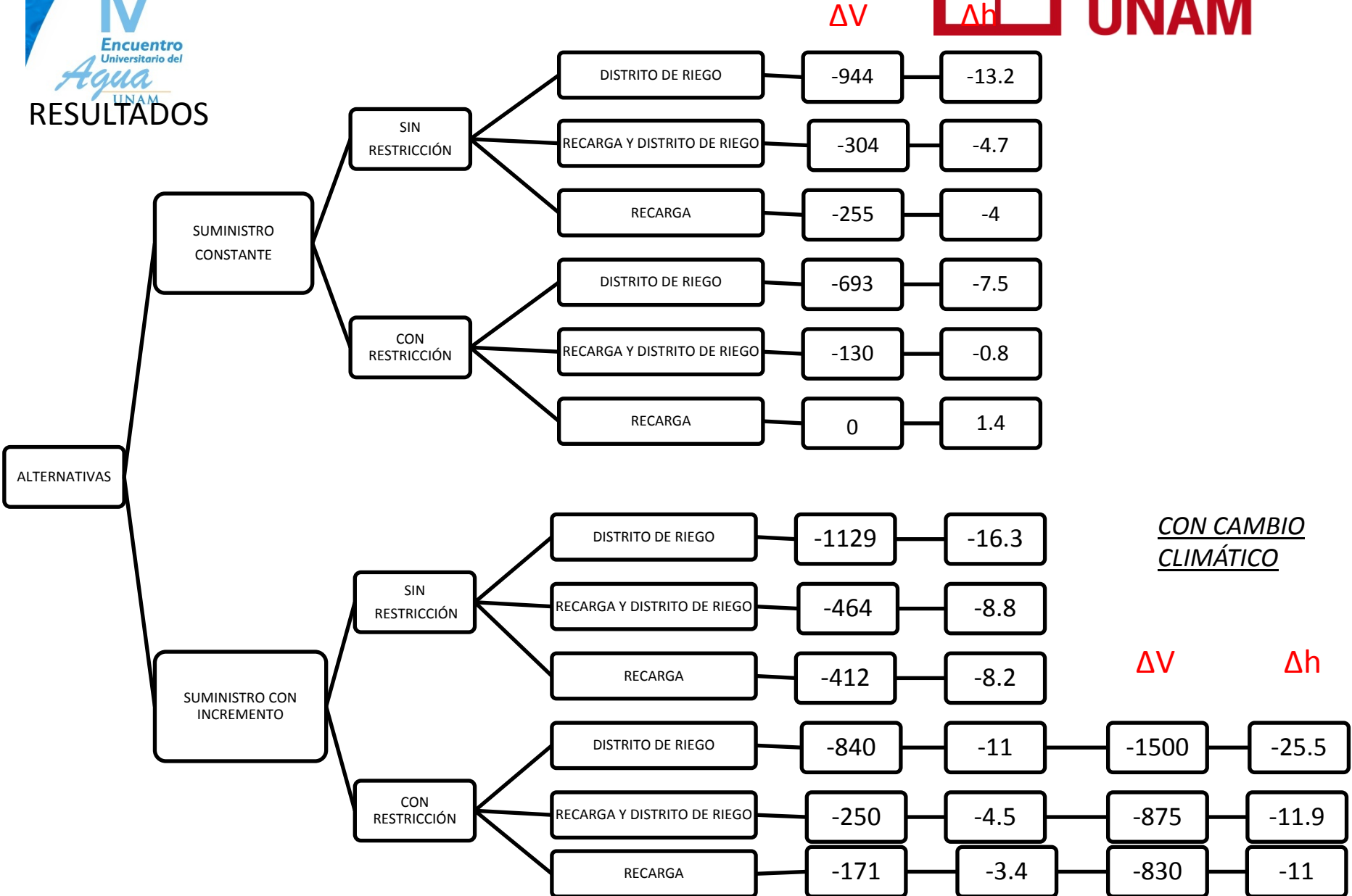
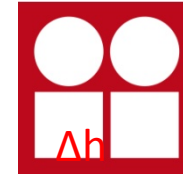


VARIABLES PARA LA EVALUACIÓN DEL SISTEMA

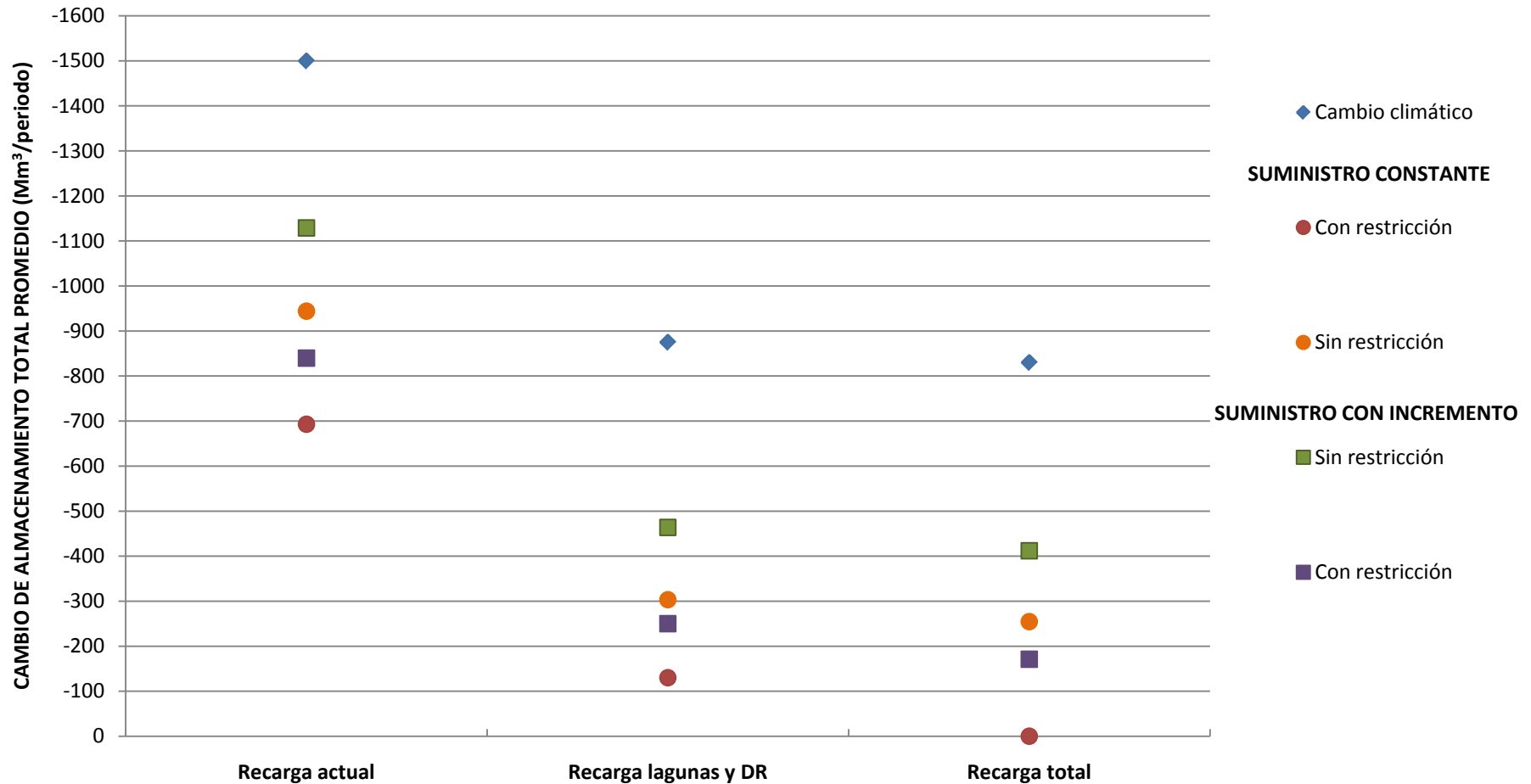
TIPO DE VARIABLE	VARIABLE
DECISIÓN	DEMANDA, EXTRACCIÓN, CAPACIDAD DE OBRAS DE RECARGA, POLÍTICA DE OPERACIÓN DE PRESAS
ESTADO	ALMACENAMIENTO (RÍOS, ACUÍFEROS Y PRESAS)
ESTOCÁSTICA	HIDROGRAMAS EN RÍOS

- **Evaluación actual (calibración): 1993-2010**
- **Evaluación de tendencias: 1942-2007**
- **Definición de escenarios: 1942-2007, series históricas de 25 años, (en total 5 series)**

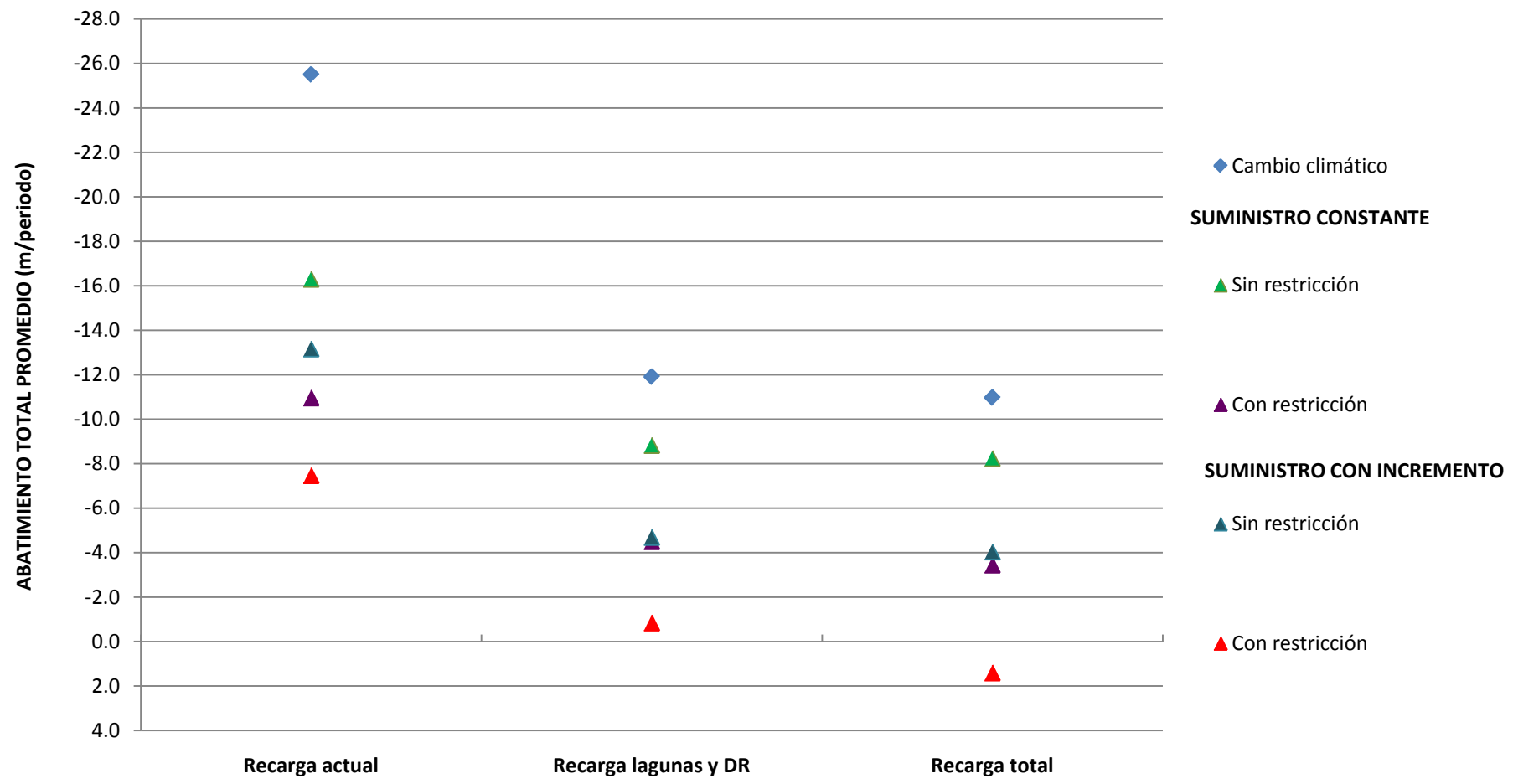
ALTERNATIVAS DE MANEJO DE LA CUENCA



COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO



COMPARACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE MANEJO



RESULTADOS

Al implementar el manejo integral de la recarga artificial se obtiene:

- Una disminución de la sobreexplotación del 70 % para la condición de suministro constante
- Al implementar la restricción agrícola se disminuye la sobreexplotación en 80%, disminuyendo sólo el 30% de área de irrigación en el distrito de riego de Mesa del Seris
- En la alternativa de suministro con incremento, la sobreexplotación se disminuye en un 60% y con restricción en un 70%, con una disminución de área de irrigación en Mesa del Seris en un 50%
- Para la condición de cambio climático, se reduce en un 40% considerando restricción agrícola, la cual reduce su área en un 50% en todos los distritos de riego de la cuenca media alta (San Miguel y Seris)
- Para todas las condiciones al implementar la recarga total del efluente de la PTAR en las lagunas de infiltración, se disminuye solo el 10% de sobreexplotación, lo que implica dejar de regar las 2800 ha de la Yesca



CONCLUSIONES

- A medida que sube el estrés hídrico en la cuenca es conveniente restringir las extracciones para uso agrícola en un 30%
- Es necesario cambiar la regulación para hacer atractiva la opción de recarga artificial de acuíferos y reúso
- Construir los pozos y las líneas de conducción para ampliar la batería de los bagotes en la Ciudad de Hermosillo
- Implantar un sistema de monitoreo de los niveles de almacenamiento y calidad del agua



Caso del acuífero del Valle de México

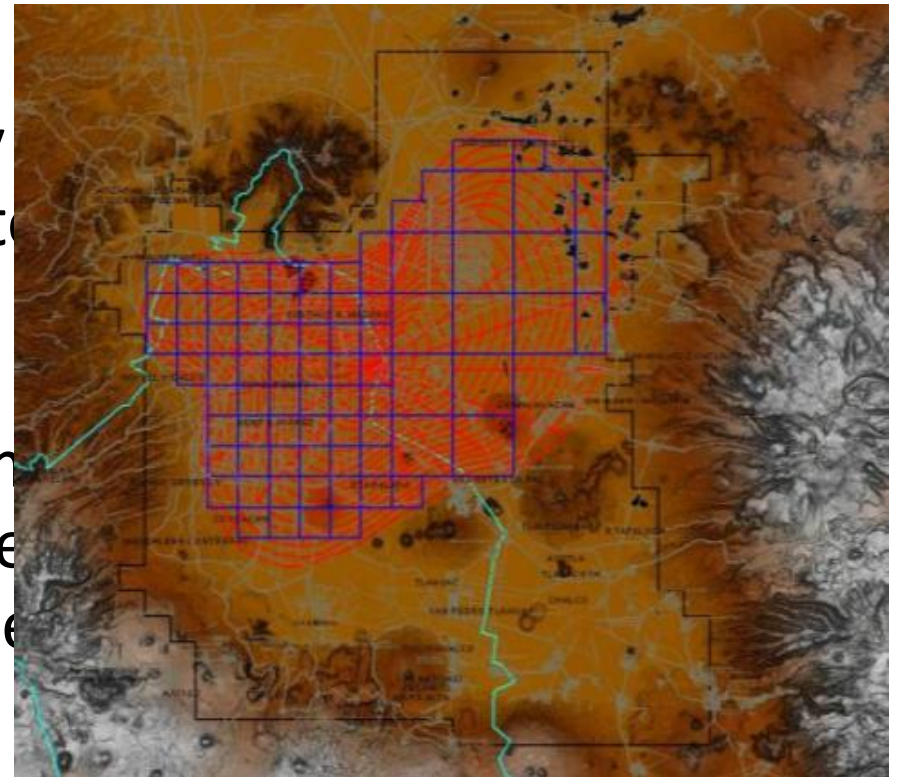


INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

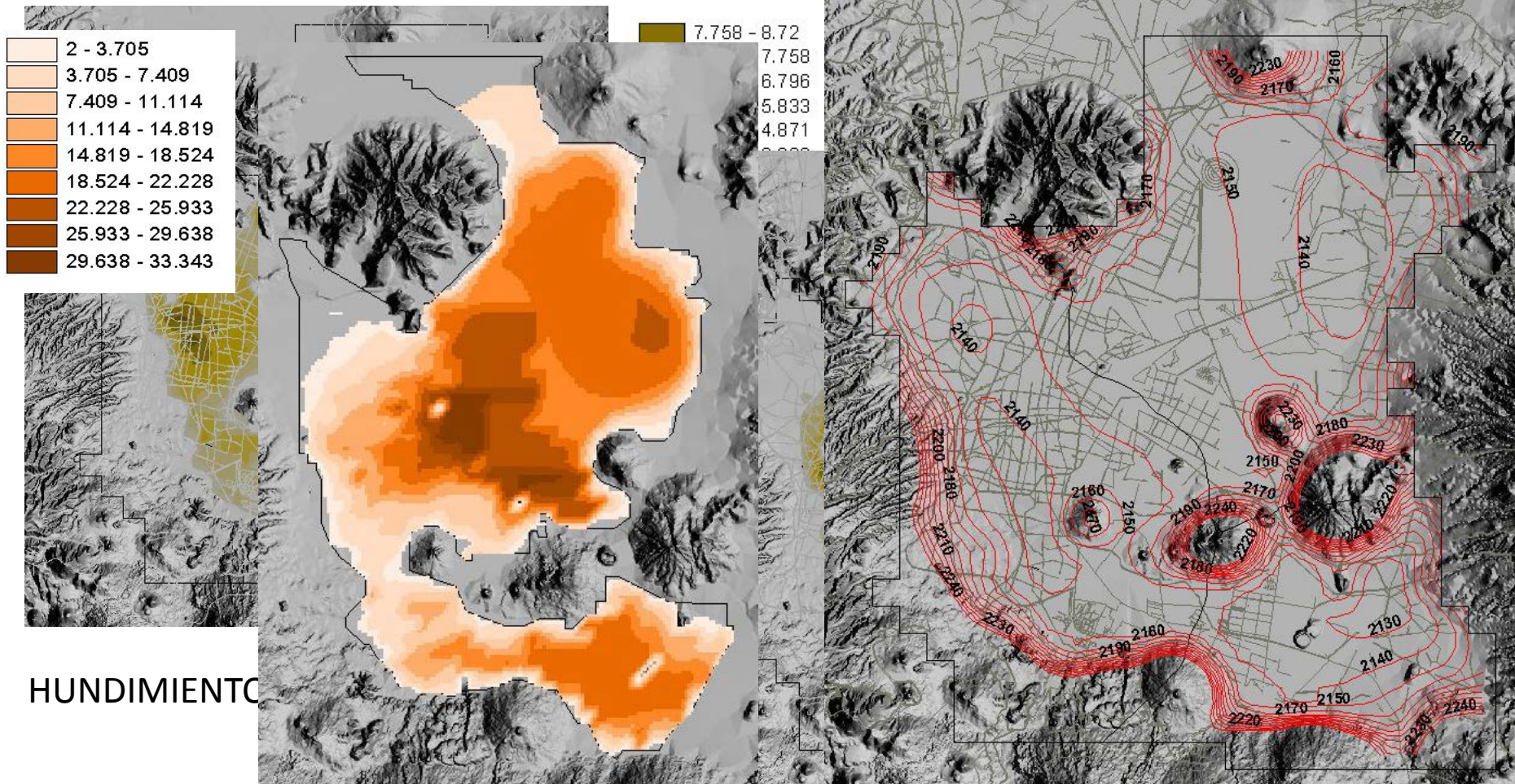
- El Valle de México es ejemplo de dificultad para el manejo del agua, convivencia y competencia de los sistemas urbano y lacustre
- Es sujeto periódicamente a sequías e inundaciones recurrentes en un sistema hidrológico cerrado
- Para abastecer a esta gran urbe que consume $60\text{m}^3/\text{s}$, es necesario importar agua de otras fuentes.
- El 70% de este caudal aproximadamente, se extrae de los acuíferos del Valle
- Para la zona de estudio, este valor es de $32\text{ m}^3/\text{s}$



- El acuífero bajo la ciudad de México se estudia en este instituto desde 1979, aunque este inicio fue precedido por la inmensa labor de investigación de su subsuelo con los trabajos de Nabor Carrillo, Raúl Marsal y Marcos Mazari.
- A partir de esa fecha y simulación numérica exitosa del acuífero; se transmitió la información al General de Construcción y Urbanismo que se perdió en septiembre de 1985 y de la recuperación a pasar de los años hicieron.



- Se tiene así un modelo confiable para probar políticas de operación del acuífero y hacer cualquier tipo de cuantificación.

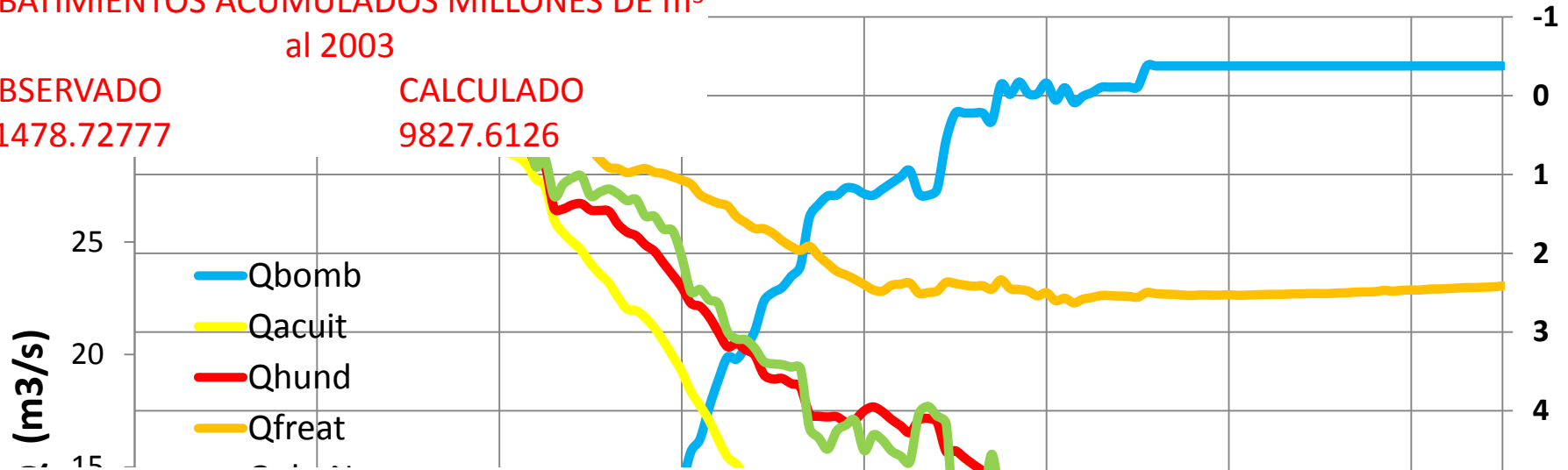


Evolución de volúmenes 1900 - 2050

**ABATIMIENTOS ACUMULADOS MILLONES DE m³
al 2003**

**OBSERVADO
11478.72777**

**CALCULADO
9827.6126**



HUNDIMIENTOS

**VALORES OBSERVADOS AL
2005**

**VALORES CALCULADOS AL
2005**

3913.34

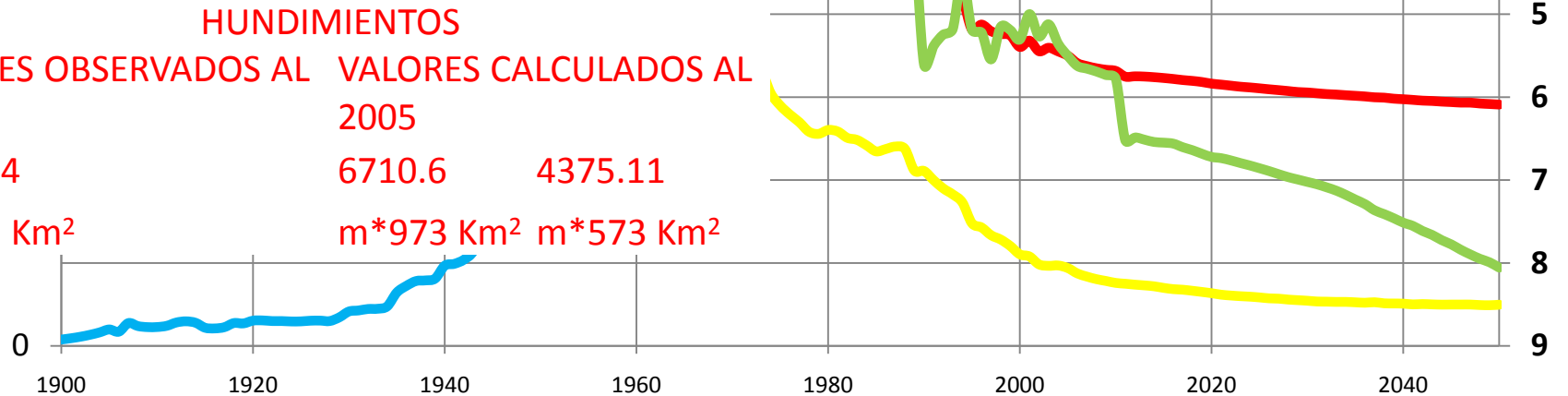
6710.6

4375.11

m*573 Km²

m*973 Km²

m*573 Km²



Año



- El agua que ha sido extraída del subsuelo hasta 2010 es de 16 mil millones de metros cúbicos
- Suspendiendo el bombeo totalmente, con su recarga natural le tomaría al acuífero 32 años para recuperarse , con un costo de **\$16,000 millones de dólares**
- Sumando daños a infraestructura y construcciones, alrededor de \$20,000 millones de dólares, más el costo del drenaje y las inundaciones en el área metropolitana y el de importación de agua de otras cuencas, serían un total aproximadamente de \$100,000 millones de dólares por el abastecimiento de agua potable a la gran urbe durante 110 años, por ahí de **\$100 millones/año**

Abatimientos promedio de 60 m

Deterioro de la calidad de agua

• Reponer pozos por otros más profundos

• Contaminación

• Deterioro de pozos que con los hundimientos se ven deformado

• Agua fósil

y es necesaria la reposición en promedio cada 10 años)

• Más costos de energía de bombeo

• Ineficiencia de bombas



AQUÍ NO ACABA LA HISTORIA, LA SITUACIÓN NO TIENE VISOS DE CAMBIAR

- En los próximos 40 años se extraerán aproximadamente la misma cantidad que en los 110 años anteriores, los niveles piezométricos descenderán otros 40 metros y los hundimientos promedio crecerán otros 6 metros, todo con sus problemas inherentes.
- Estos ya se notan por ejemplo en las inundaciones anuales en Chalco y Ecatepec y que tendrán solución sólo cuando se termine el emisor poniente en algunos años (2014).
- **Vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento actual de la ciudad**

COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Para que se haga una gestión rigurosa, hay que primero conocer el recurso y saber lo mejor posible la reacción del acuífero (relacionada con superficial) a las acciones y presiones que sobre él actúan. Esto se hace:

- Haciendo estudios lo más completos posible del sistema acuífero, incluyendo, siempre que sea posible, modelación
- Conociendo la hidroquímica natural del acuífero
- Manteniendo un sistema de monitoreo permanente (químico y cuantitativo)
- Conociendo las presiones permanentes que actúan, a cada momento, en el acuífero (agricultura, zonas urbanas, industriales, etc.)
- Conociendo los riegos súbitos a que se sujeta el acuífero (derrame aguas crudas, derrame de una PTAR, inundaciones, etc.)
- Conociendo el balance hídrico global en el acuífero (precipitación, infiltración, extracción, salidas naturales, etc.)
- Conociendo los usos y los gastos de agua subterránea en ese acuífero
- Protegiendo las captaciones
- Protegiendo los acuíferos y las zonas de infiltración potencial



Gracias por su atención

fgv@pumas.iingen.unam.mx
apalman@iingen.unam.mx

Management Model Components

Decision Variables:

- Flows at sets of cells during specified stress periods (q_j)
- Binary indicator variables

Objective Function:

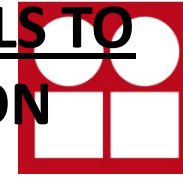
- Function to be minimized or maximized.
- Typically has economic interpretation
- Function of the decision and state variables:
$$-F(q_1, q_2, \dots, q_n, h_1, h_2, \dots, h_l)$$

Constraints:

- Limits on the values of decision or state variables.

Optimization algorithm selects decision variable values that optimize the objective function while satisfying constraints.

RELATION OF WATERSHED MANAGEMENT GOALS TO SUSTAINABILITY/CONJUNCTIVE USE/ADAPTATION



INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

Encuentro
Universitario del
Aqua

- One Water → **Single resource** (Precipitation, surface water and groundwater)
- Competition for Water → Demand for water resources People, Agriculture Environment (Entire Watershed)
- Sustainable development → Complex system requires integrated water-management approach → **Linked models used to support this analysis**
- Availability/Sustainability → Changes in streamflow, groundwater storage, regions suitable for agriculture, and dynamics between natural and societal water-supply demands
- Groundwater Effects → Significant changes in Flows, Storage, & Secondary effects on multiple time scales (**Flow-centric & Storage-centric Indicators?**)
- Climate Variability/Change Analysis → Management provided with observationally informed modeling and resource analyses
- Climate Change → **Important influences on management strategies for conjunctive/sustainable use on periods of 100 years or more (ENSO, NAMS/Pineapple Exp, PDO, AMO, + Change)**