



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



## Jornadas Internacionales de SSD en la Planificación y Gestión de Recursos Hídricos

### "Modelación integral de la gestión del sistema Zacapu y Pastor Ortiz en la Cuenca del Río Angulo (México)"

Mario A. Hernández Hdez.  
Sonia T. Sánchez Quispe

Junio 2013. Valencia, España

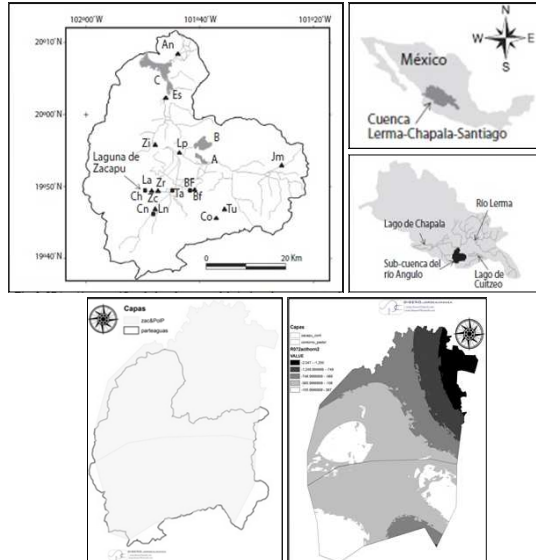
## Contenido

- **Introducción**
  - Zona de estudio
  - Problemática
  - La gestión actual
- **Objetivos**
- **Metodología**
  - Integración de modelos para la gestión
- **Caso de estudio**
  - Análisis de consistencia de datos
  - Balance de recursos de forma distribuida en SIG
  - Aspectos hidrológicos de la cuenca
  - Modelación conjunta de MAS
- **Resultados**
  - Modelación subterránea
  - Gestión histórica y futura
- **Conclusiones**

## Zona de estudio

### Características principales:

- Sistema Lerma-Chapala, cuenca del Río Angulo (2,080km<sup>2</sup>)
- Ubicación: Centro-Occidente de México. Meseta purépecha, zona lacustre de los estados de Michoacán y Guanajuato, en el Municipio de Zacapu (Michoacán)
- Clima templado sub-húmedo (14-18°C) con lluvias en verano y precipitación anual 600-1000 mm
- Principales poblados: Zacapu, Chupicuaro, Purépero, Panindicuaro, etc. (97mil hab. aprox., 2010)
- Actividad económica principal: minería (depósito lacustre de diatomita), agricultura de riego y de temporal, ganadería, industria química, textil y comercio
- Embalses de regulación (2) y de riego y generación eléctrica (1)
- No existen datos de calidad del agua



## Problemática

- Actualmente el lago de Zacapu es un reducto de una antigua ciénega de gran extensión, drenada para el establecimiento de agricultura.
- El cuerpo de agua ha quedado embebido en la mancha urbana de Zacapu y se encuentra en proceso de desecación para construcción de vivienda.
- La Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) ha destacado la necesidad de reforestar y restaurar cuencas de tipo lacustre como la de Zacapu (México), que ha sido impactada por el establecimiento de drenes agropecuarios que han reducido el lago a un remanente, junto con una intensa deforestación de la cuenca, azolvamiento deliberado del lago y el encapsulamiento del mismo.
- Además de una modificación del entorno por deforestación, sobreexplotación de acuíferos para drenes agropecuarios y alta densidad poblacional circundante, han provocado que el lago se encuentre con un importante grado de degradación y contaminación.



## Contexto de gestión actual

- **Aspectos económicos:** hay actividad comercial, agropecuaria e industrial (químicos industriales). Pesquerías de trucha, carpa, lobina y del crustáceos.
- **Problemática:**
  - Modificación del entorno: por deforestación, cambio de régimen natural de escorrentía, sobreexplotación de acuíferos para drenes agropecuarios y alta densidad poblacional circundante.
  - Contaminación: por aguas residuales de Zacapu, fertilizantes de zonas agrícolas y desechos industriales. Alto contenido de materia orgánica e hidrocarburos en el Río Angulo por descargas municipales e industria química. Graves problemas de eutrofización en masas de agua superficial.
  - Uso de recursos: Uso de suelo para asentamientos humanos y agropecuario. Uso del agua para abastecer distritos de riego, poblaciones urbanas, industria y para la generación de energía eléctrica.

### •Mitigación de impactos y conservación:

- Necesidad de reforestar y restaurar la cuenca lacustre (Lago de Zacapu)
- Necesidad de conocer la disponibilidad de recursos hídricos y su uso
- Necesidad de conocer el impacto ambiental sobre los recursos hídricos en cuanto a la cantidad y calidad
- Necesidad de conocer el impacto económico de emprender distintas alternativas de gestión de los recursos

Existen algunos estudios de la UMSNH, el IPN y el Centro Regional de Investigación Pesquera de Pátzcuaro, sin embargo no está plenamente identificado el impacto ambiental sobre el río Angulo.

• **Grupos e institutos de trabajo:** Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo; Centro Regional de Investigaciones Pesqueras de Pátzcuaro; Instituto Politécnico Nacional.

## Objetivos del uso de modelos para la gestión

- Elaborar una metodología que permita el estudio de unidades hidrogeológicas de manera integral y permita una explotación sustentable de los recursos hídricos
  - Comprender el funcionamiento de las masas de agua subterránea de la zona de estudio
  - Generar un modelo de funcionamiento hidráulico de las distintas masas de agua subterránea, ligado con la hidrología superficial
- Generar criterios y medidas de explotación sustentable de las masas de agua superficial y subterráneas
  - Evaluar las aptitudes y deficiencias en la gestión actual del agua y proponer una alternativa de gestión para la mejora del sistema de recursos hídricos
  - Proponer soluciones a corto, mediano y largo plazo que garantice la distribución eficiente de los recursos hídricos

### METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE DATOS HIDROLÓGICOS Y LLENADO DE SERIES HISTÓRICAS

VERIFICACIÓN DE CONSISTENCIA DE DATOS Y CORRELACIÓN ESPACIAL ENTRE ESTACIONES

INVERSO DE LA DISTANCIA AL CUADRADO

REGRESIÓN LINEAL

MEDIA Y/O TENDENCIA DE MEJOR AJUSTE

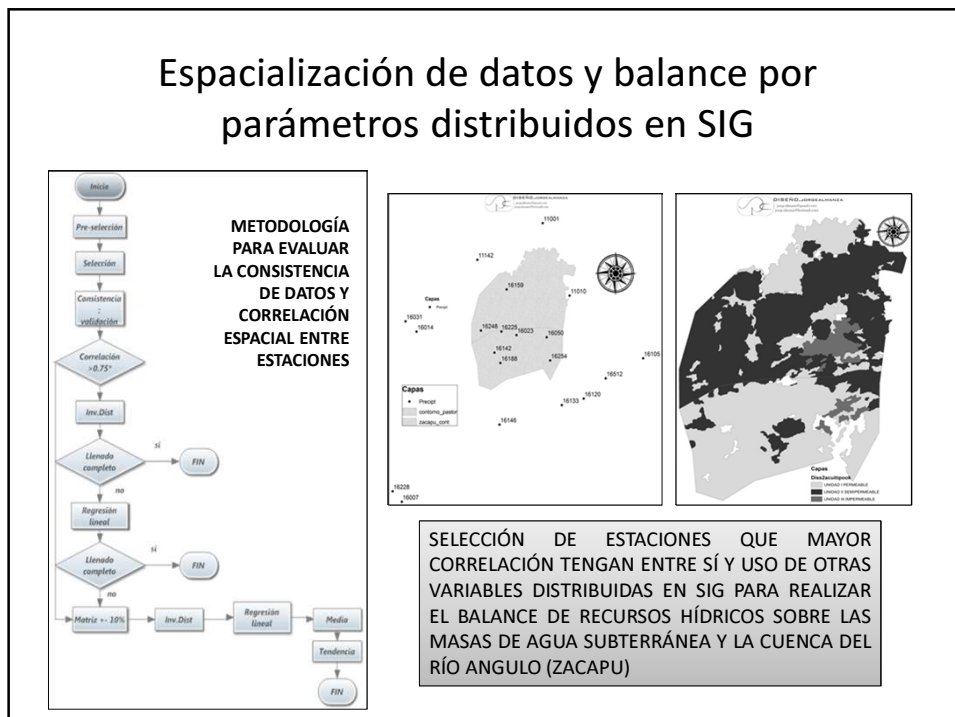
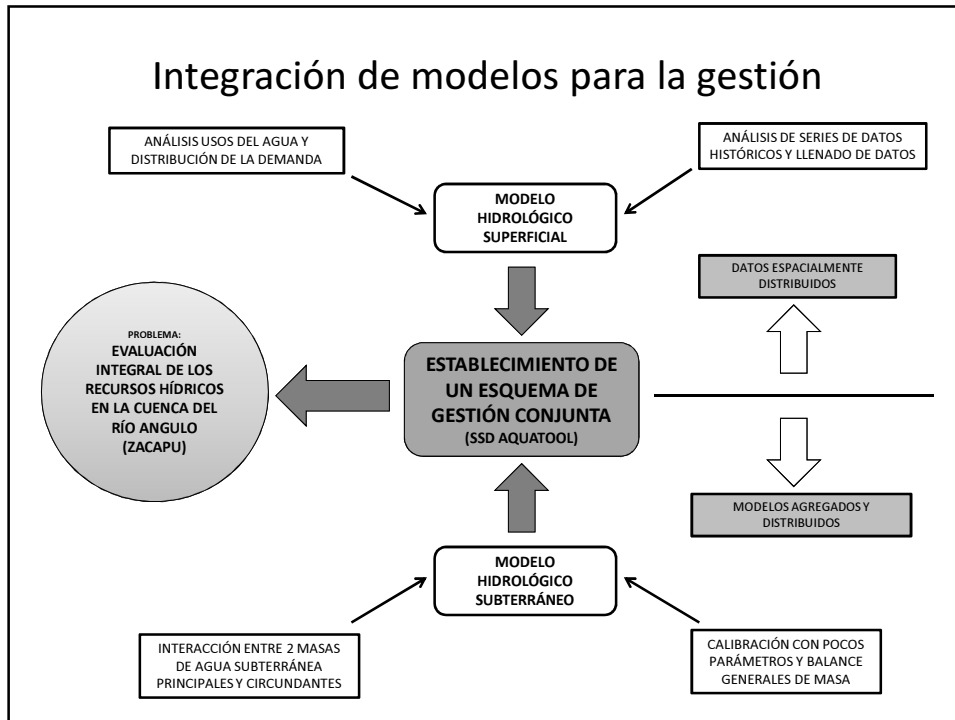
### EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE GESTIÓN

RESPUESTA DEL MODELO DE GESTIÓN ANTE

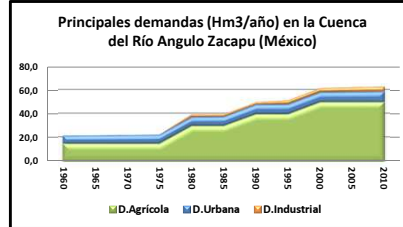
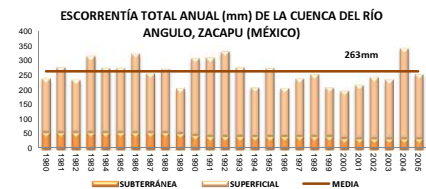
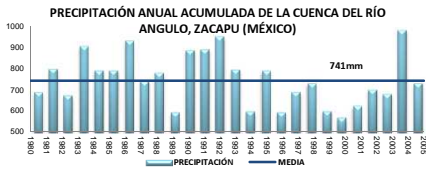
VARIACIÓN EN APORTACIONES Y DEMANDAS

VARIACIÓN EN LA HIDROLOGÍA

VARIACIÓN EN LA GESTIÓN

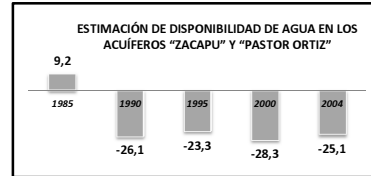


## Aspectos hidrológicos de la cuenca



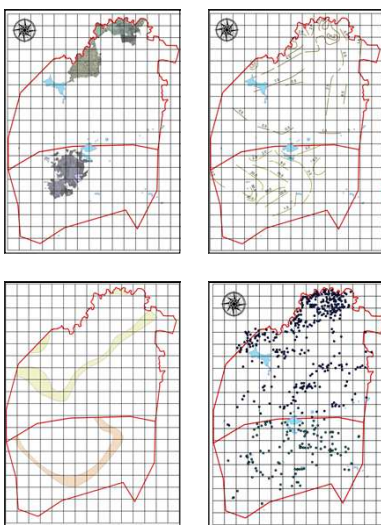
**RECARGA MEDIA: 54Hm<sup>3</sup>/año**  
(70% recarga natural – 30% retornos de riego)

**EXTRACCIONES: 64Hm<sup>3</sup>/año**  
(Derivaciones y bombeos)

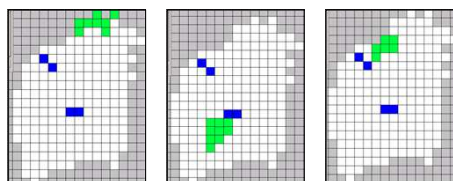


**SISTEMA SUBTERRÁNEO CON PROBLEMAS DE SOBRE-EXPLORACIÓN DESDE 1990**

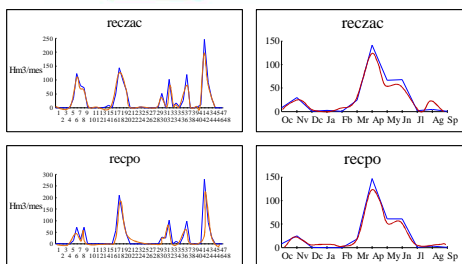
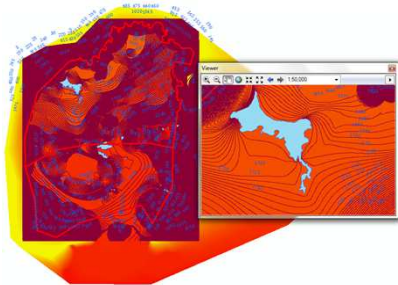
## Modelación conjunta de masas de agua subterránea en la cuenca de estudio



- **Acciones elementales:**
  - Recarga uniforme (una por cada MAS)
  - 3 zonas de extracción (Distritos de riego)
  - 2 zonas de manantial (nivel cte.)
  - 4 zonas de flujo horizontal preferente
  - Distribución variable de las zonas de bombeo en los acuíferos
- **Parámetros de control:**
  - Altura piezométrica en: (1) zonas cercanas a distritos de riego y (2) zona de Zacapu
  - Volumen de descarga por manantiales
  - Volumen total almacenado en el conjunto de acuíferos

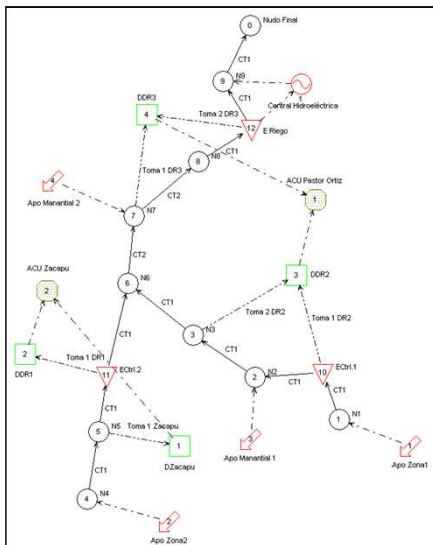


### Resultados de la modelación conjunta de masas de agua subterránea en la cuenca del Río Angulo, Zacapu (México)



- **VARIACIÓN DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN ZONAS DE INTERÉS EN LOS ACUÍFEROS**
  - Zona de distritos de riego
  - Zona de humedal
  - Zona de manantiales
  - Zona urbana de Zacapu
- **VARIACIÓN EN LAS APORTACIONES HACIA EL RÍO ANGULO (ZACAPU, MÉXICO)**
  - Punto de entrada al humedal (cuenca media)
  - Punto de descarga de manantiales (cuenca media)
  - Cola del embalse "Melchor Ocampo" (cuenca baja)
  - Caudal de entrada y salida en tramos de distrito de riego (cuenca baja)

### Gestión histórica y futura



- **Reconstrucción histórica:**
  - Demandas (análisis de datos)
  - Aportaciones (modelos hidrológicos)
- **Estimación futura:**
  - Demandas (modelos conservadores)
  - Aportaciones (reproducción de series históricas)
- **Revisión de casos concretos de gestión de recursos:**
  - Incremento de descarga de caudal hacia la zona de humedal
  - Reducción de demanda (extracciones) por tecnificación de riego
  - Uso de MAS como embalses subterráneos para captar mayores aportaciones. Construcción de pequeños embalses de filtración
- **Inclusión de modelos de calidad del agua y transporte de contaminantes (tramos de río, cuerpos de agua superficiales y subterráneos)**

## Conclusiones

- La metodología de llenado de datos de series históricas de precipitación son un paso importante para el establecimiento del principal dato de entrada al sistema de recursos estudiado.
- El modelo de flujo establecido para el estudio de los acuíferos del sistema permite evaluar de forma distribuida las acciones antrópicas sobre dicho sistema.
- El acoplamiento del modelo subterráneo de Autovalores a un modelo de gestión, permitirá evaluar de manera integral las interacciones agua superficial - agua subterránea en el sistema.
- Teniendo como base el modelo de flujo subterráneo, será posible estimar la afección de la calidad del agua en el sistema de recursos, en específico para determinados puntos de interés (manantiales, humedales, distritos de riego).
- Modelar la cantidad y la calidad de los recursos hídricos disponibles en la cuenca del Río Angulo, con el objetivo de contribuir a la mejora de la gestión local y las condiciones ambientales del sistema, permitirá establecer distintos escenarios de gestión para presentarse ante actores locales (usuarios) y tomadores de decisiones del uso y distribución de los recursos hídricos.



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



Jornadas Internacionales de SSD en la  
Planificación y Gestión de Recursos Hídricos

# GRACIAS!

MC. Mario A. Hernández H.  
malbher@upv.es