

**ENCUENTRO NACIONAL DE REDES DE INVESTIGACIÓN EN
REMEDIACIÓN AMBIENTAL Y RECURSOS HÍDRICOS
31 de Mayo – 01 de Junio de 2012
La Paz, Bolivia**

**EXPERIENCIAS EN MODELACIÓN Y ESTUDIOS DE
CURSOS NATURALES EN BOLIVIA**

Autor: Mauricio Romero Mérida

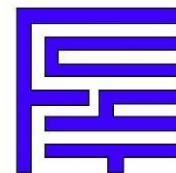
Laboratorio de Hidráulica de La UMSS LHUMSS

Av. Petrolera Km. 4.2, Cochabamba, Bolivia

Tel: +591-4-421 7370

Mail: maromero@abirh.org

Mayo de 2012

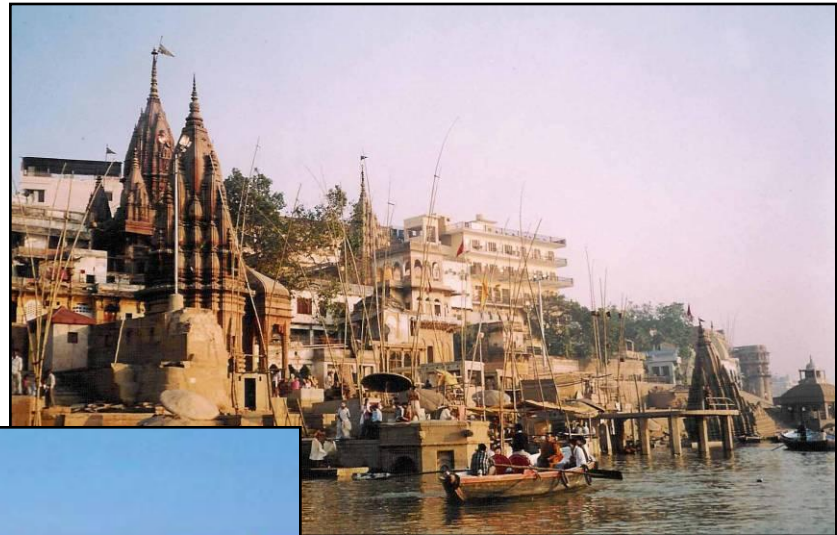
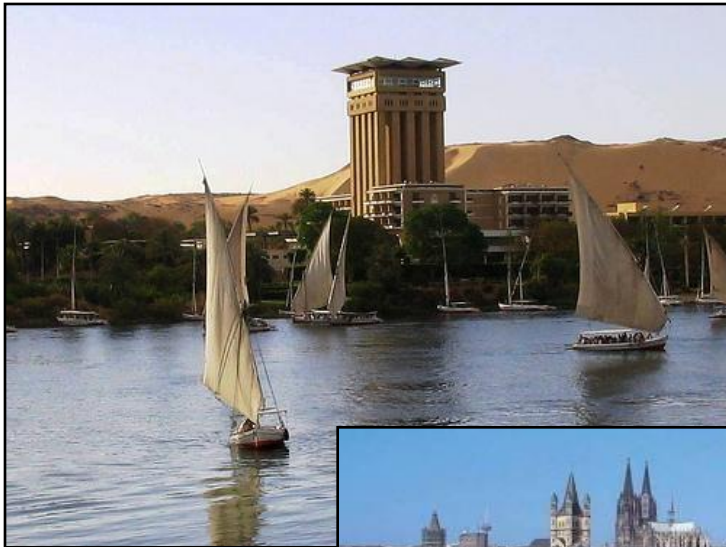


Contenido de la Exposición

- ❖ Introducción
- ❖ Objetivos
- ❖ Implementación de modelos
- ❖ Conclusiones

Introducción

Los ríos son un don de la naturaleza, y han sido y son un factor clave en el desarrollo de la humanidad, como así lo demuestran civilizaciones como ser Egipto, Mesopotamia, India, y actualmente hoy en día (Romero, 2004).



Introducción

Para aprovecharlos, el hombre ha tenido que construir obras hidráulicas como ser presas, obras de encauzamiento y control, y para cruzarlos, ha tenido que erigir puentes de todos los tamaños (Martín-Vide, 2003).

Sin embargo, el éxito de las mismas depende del “respeto” que les tengamos, y del conocimiento que se tenga acerca de su comportamiento, características y su “personalidad propia” (Martín-Vide, 2003)



Introducción

Los ríos producen grandes daños cuando:

- ❖ No se respetan sus llanuras de inundación, entonces, al desbordarse, irrumpen en ciudades, caminos, vías férreas, industrias, etc.
- ❖ Se implementan estructuras que no permiten su libre discurrir, afectando su capacidad de transporte de caudales sólidos y líquidos



Introducción

El manejo de la respuesta de un río ante cambios naturales y originados por el hombre debe ser flexible y adaptable a objetivos cambiantes, criterios imprecisos y restricciones (Bruk, 2003).

Un río es, de acuerdo a Bruk (2003), un sistema **mecánico, ecológico y tecnológico** que transporta agua y material sólido y que interactúa con bordes fijos o móviles, donde los ingresos hidrológicos estocásticos y la turbulencia hacen de este sistema dependiente del tiempo y el lecho del río, móvil



Objetivos

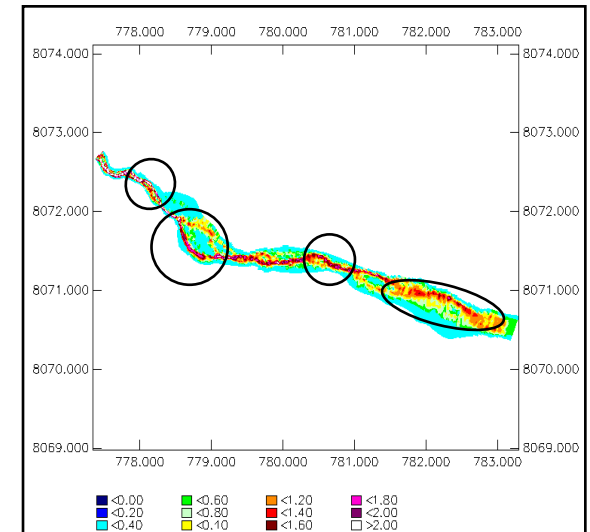
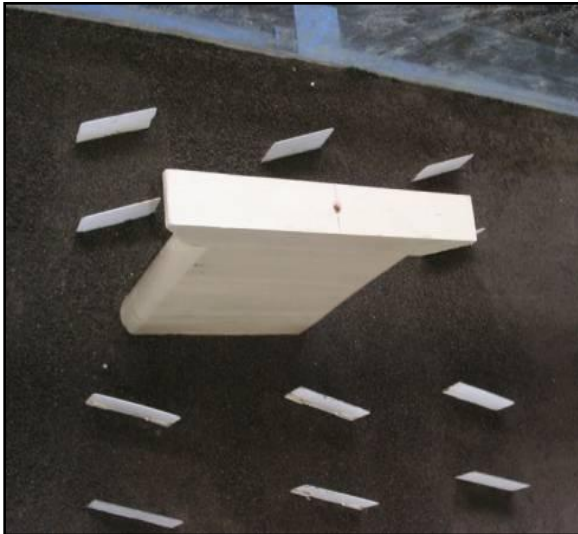
Los objetivos de esta presentación son:

- ❖ Mostrar a la comunidad científica reunida en el seminario algunas de las investigaciones en modelación física y numérica llevada a cabo por el LHUMSS en cauces naturales en la solución de problemas específicos.
- ❖ Identificar las necesidades futuras de estudios similares a efectuarse en el país y posibles acciones

Implementación de modelos

El LHUMSS cuenta con una línea de Morfología de Ríos desde 1999 en el marco del Programa IUC (Cooperación de Universidades Flamencas de Bélgica), cuyos objetivos son:

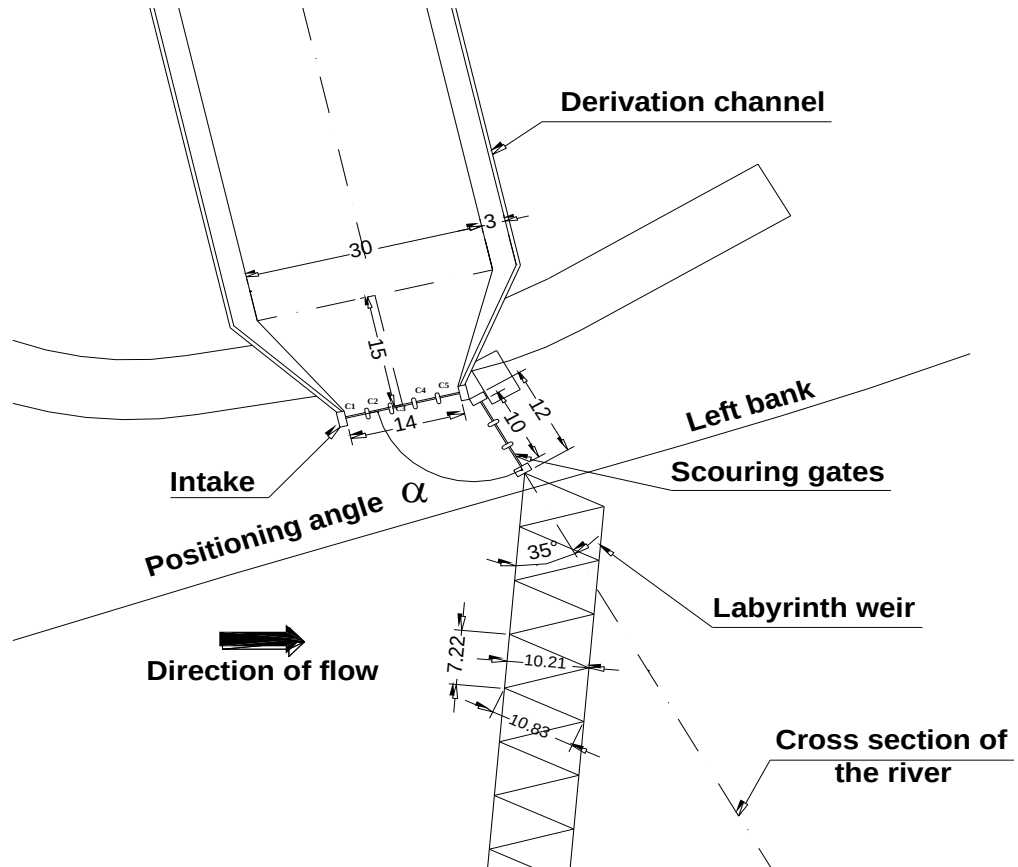
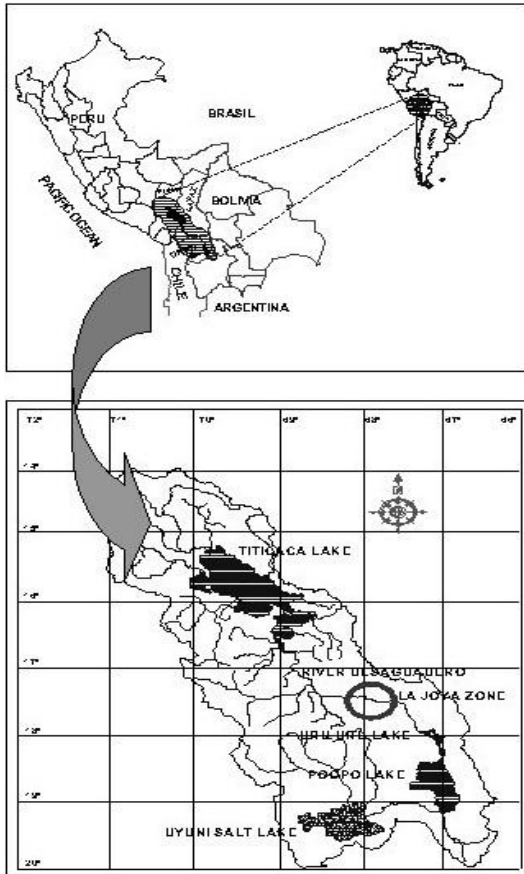
- ❖ Contribuir a la explotación sostenible de Rec. Hídricos en el contexto de morfología de ríos
- ❖ Difundir los resultados y experiencia adquirida



Implementación de modelos

Modelo Físico La Joya (ALT):

Objetivo: Encontrar el mejor ángulo entre la obra de toma y el vertedor laberinto proyectado



Implementación de modelos

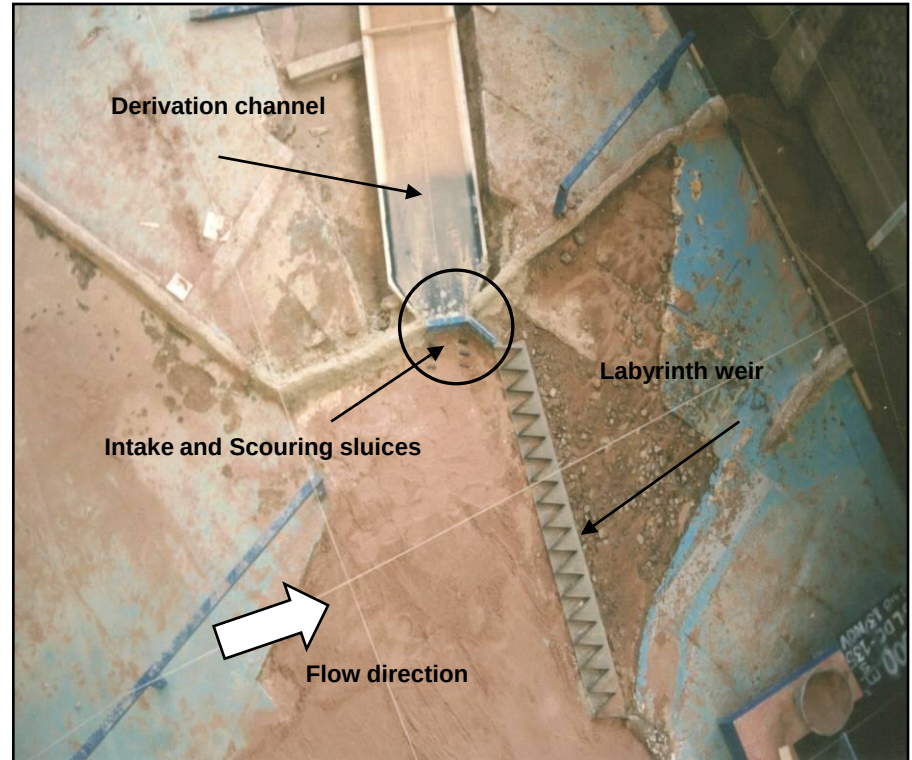


Se construyó un modelo físico de 400 m^2 y se lo calibró para un caudal de $600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$

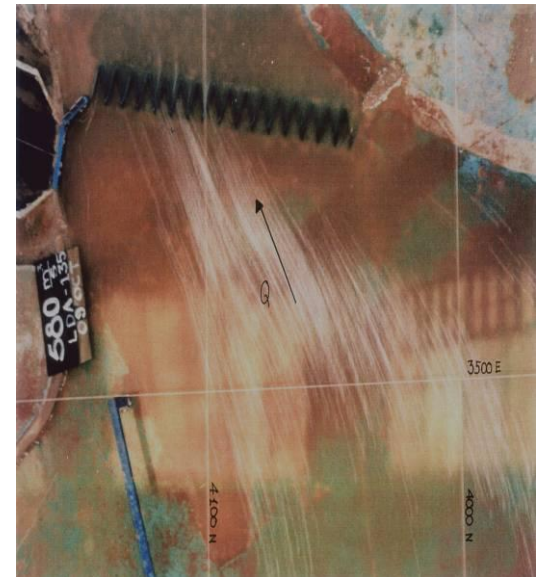
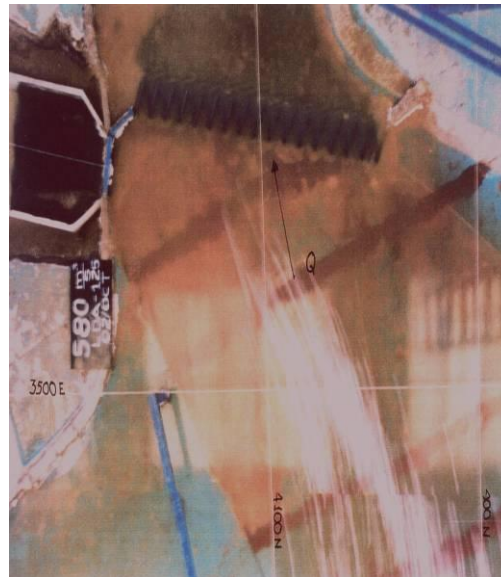
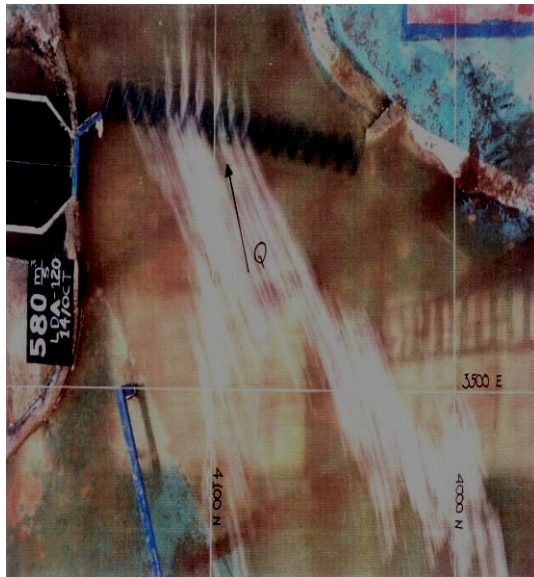
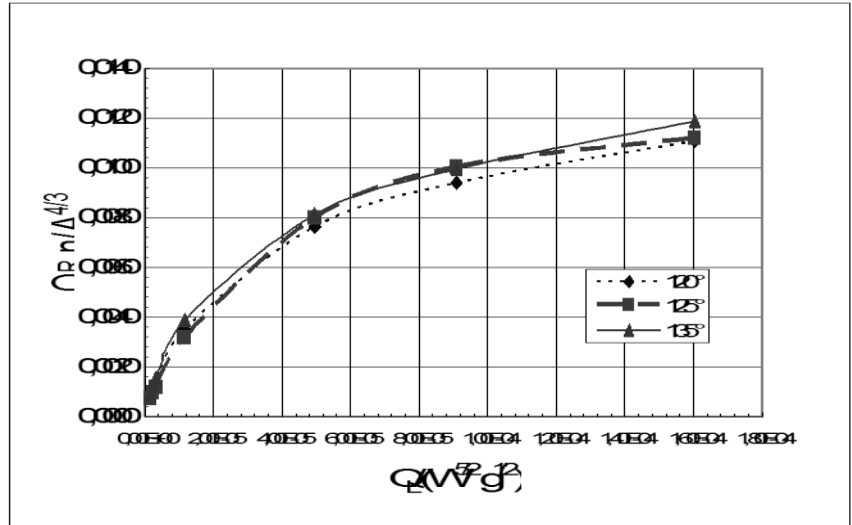
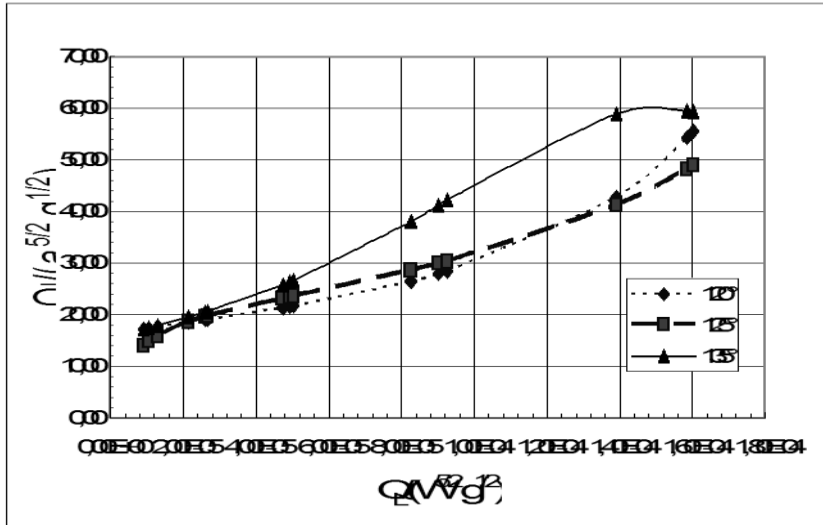
Se llevaron a cabo 21 pruebas ($20\text{-}1000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$)

Ángulos evaluados: 120° , 125° y 135°

Resultados: 135° ; mayor evacuación de sedimentos, menos area transversal de inundación, Mayores, velocidades erosivas y distribución de líneas de corriente más óptimas



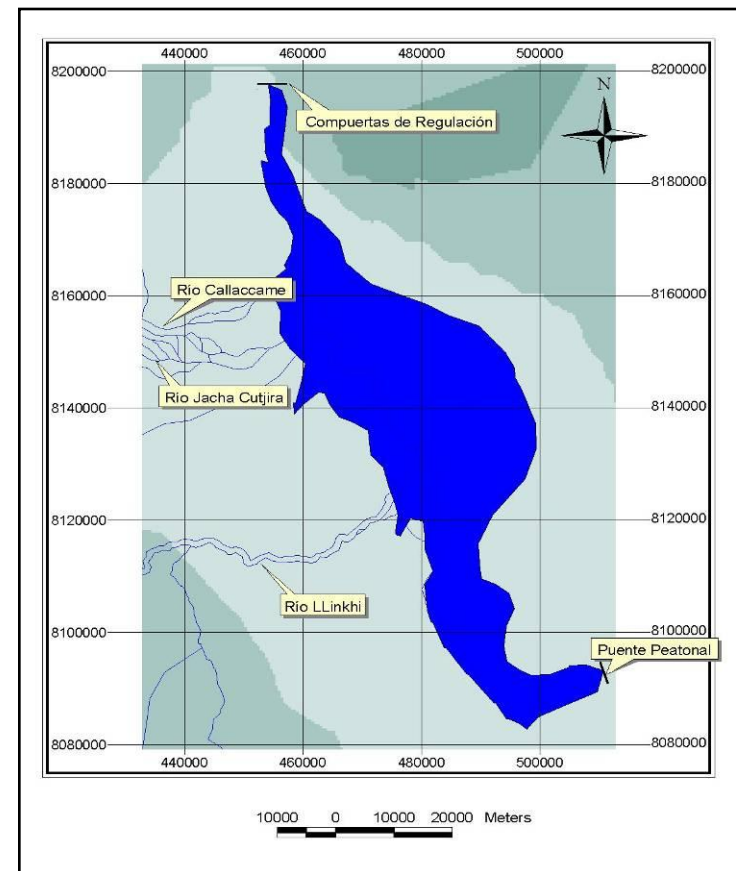
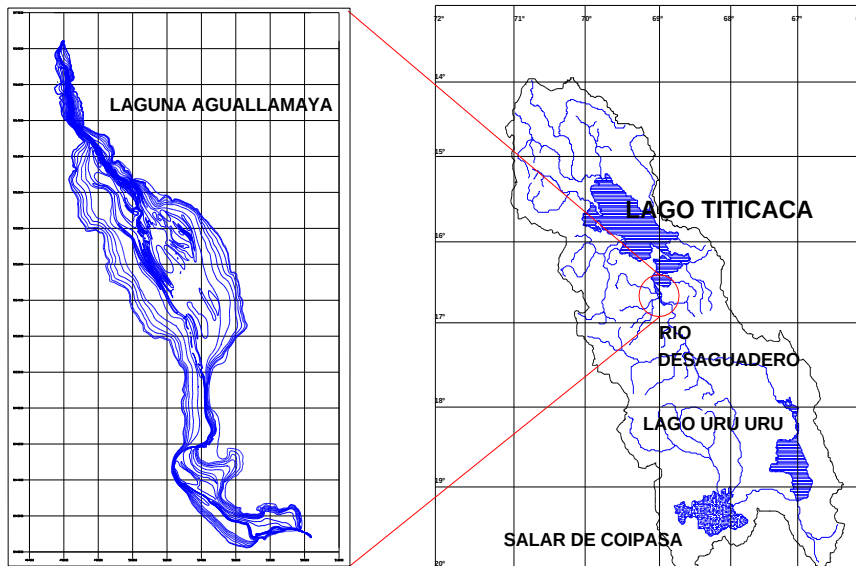
Implementación de modelos



Implementación de modelos

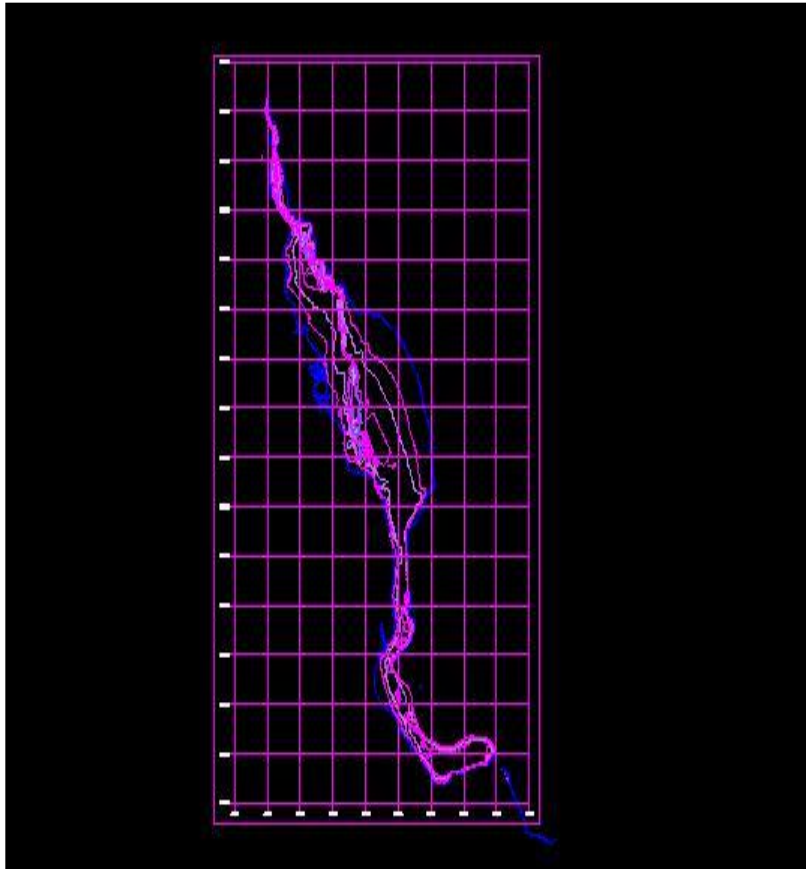
Modelo Numérico de la Laguna Aguallamaya para su Dragado (ALT)

Objetivo: Estudiar procesos de acumulación de sedimentos en el embalse natural de Aguallamaya por aporte de cuencas y determinar ruta de dragado más óptima

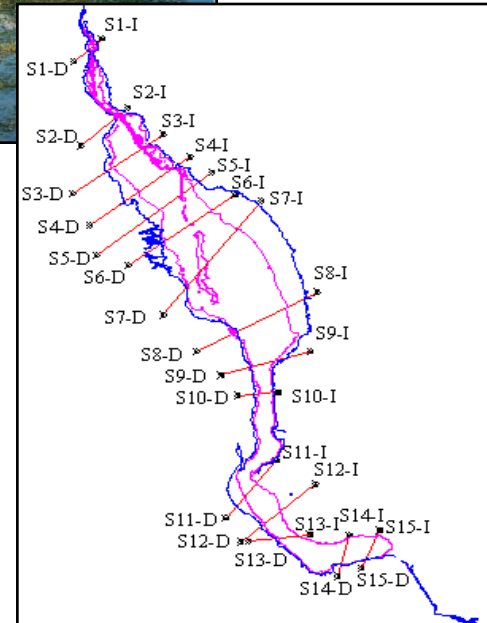


Implementación de modelos

Levantamiento batimétrico completo de la laguna

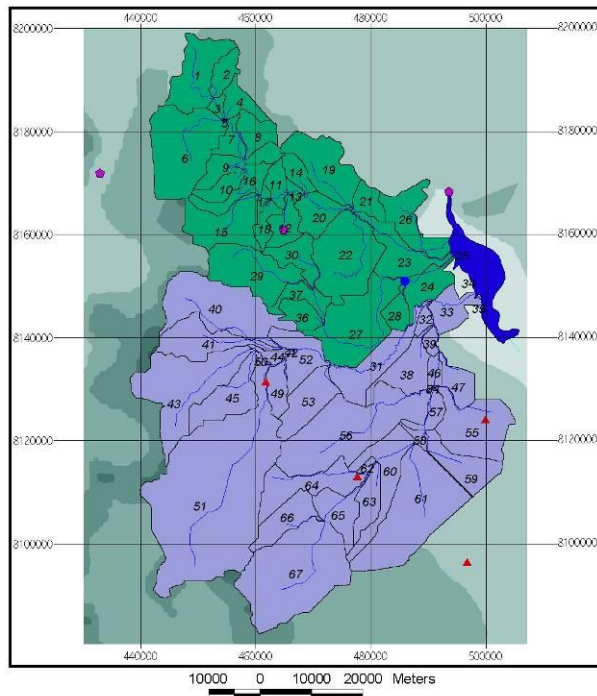


Secciones de control para el modelo numérico

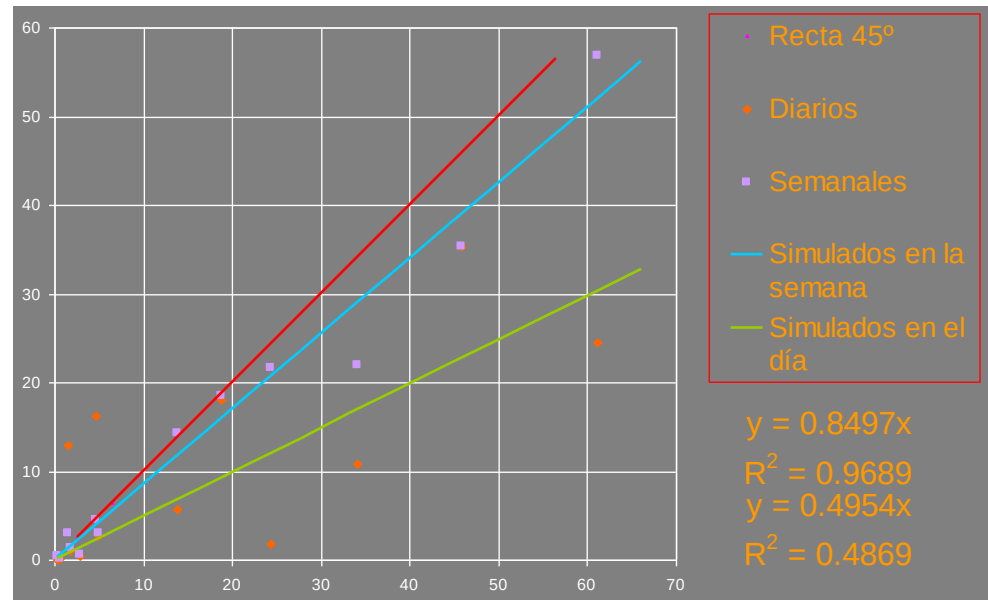


Implementación de modelos

- ❖ Estimación de tasas de transporte de sedimentos en ríos Callacame y Llinki:
 - Caudal de fondo.
 - Caudal en suspensión.
 - Caudal sólido total.
- ❖ Modelación Hidrológica con SWAT

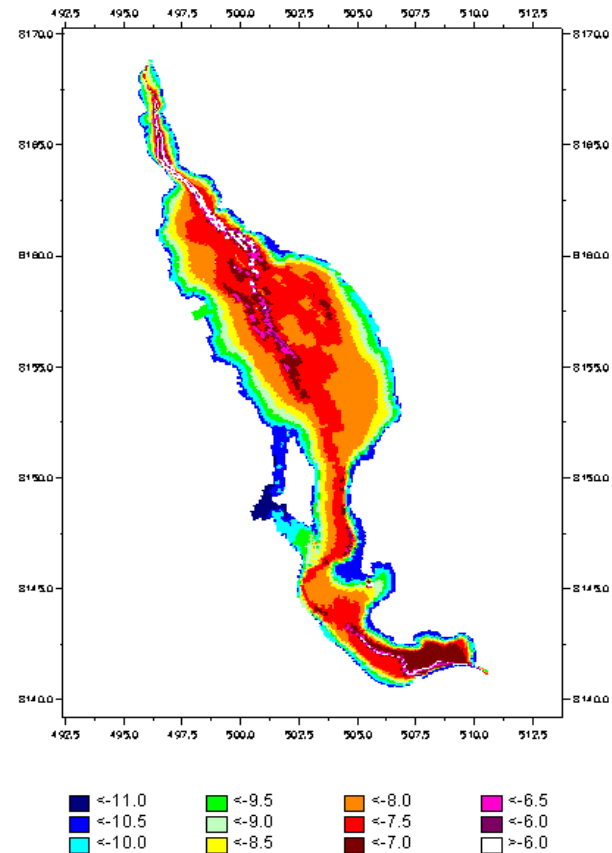
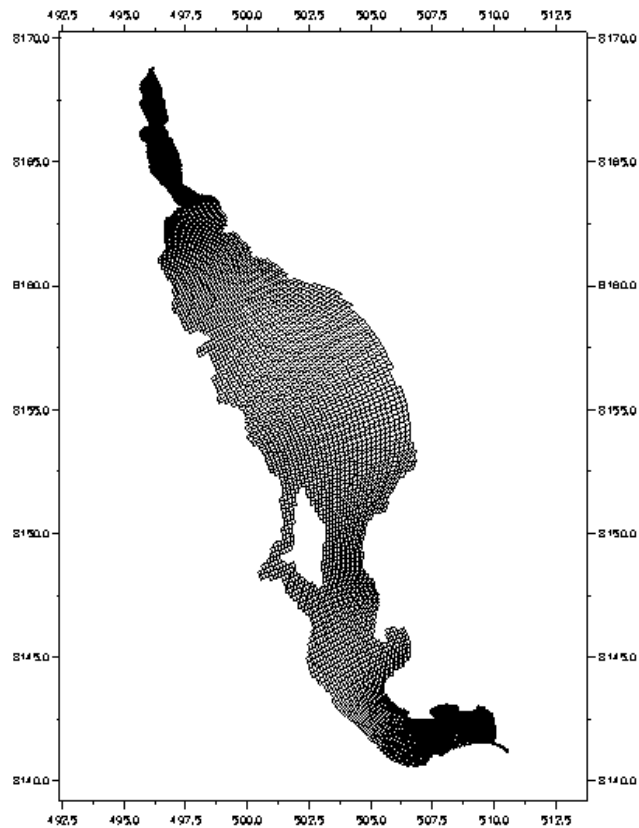


Calibración para el río Callacame



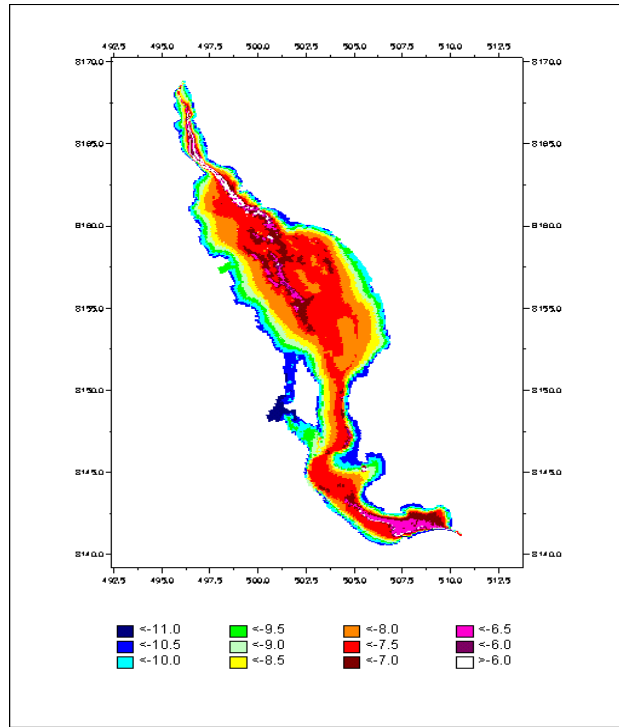
Implementación de modelos

- ❖ Implementación de modelo DELFT3D para la laguna Aguallamaya
- ❖ 3 escenarios de calibración y 1 de validación en sección Puente Aguallamaya

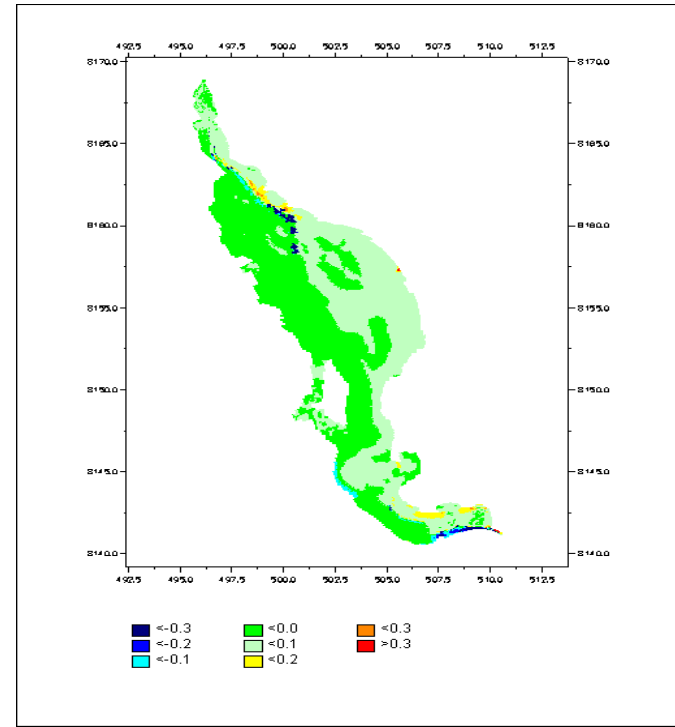


Implementación de modelos

- ❖ Modelación de 3 escenarios de dragado para un período de 20 años (caudal medio anual en la laguna).



Batimetría Año 20



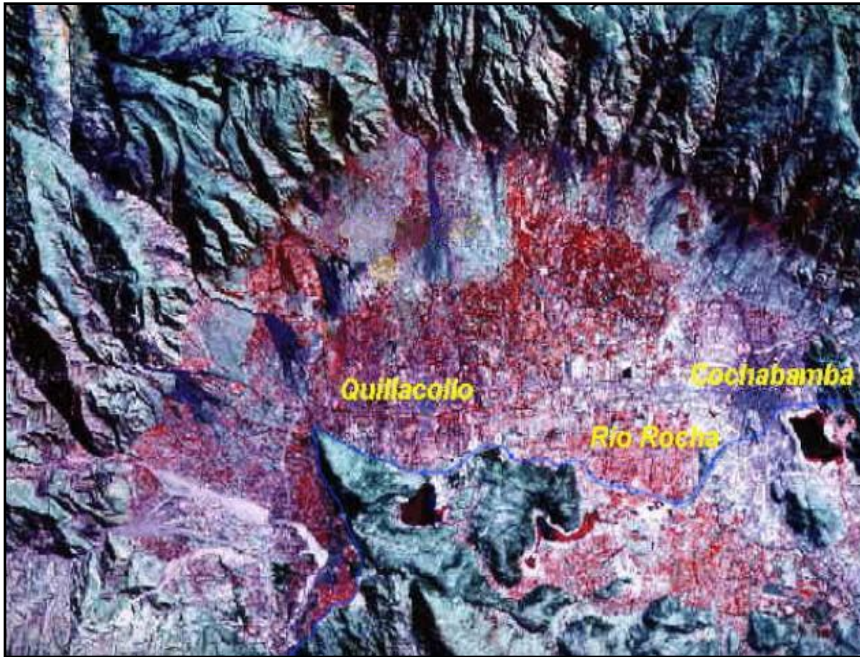
Distribución de velocidades

Resultados: modelos SWAT y DELFT 3D implementados; alternativa de dragado óptima identificada; obras de retención de sedimentos diseñadas

Implementación de modelos

Modelación numérica del río Rocha para mitigación de inundaciones

Objetivo: Implementación de los modelos HEC-RAS y BRI-STARS para la evaluación hidrodinámica y morfodinámica del comportamiento del río Rocha con y sin medidas de mitigación contra inundaciones



Inundación en La Maica



Insuficiente conducción

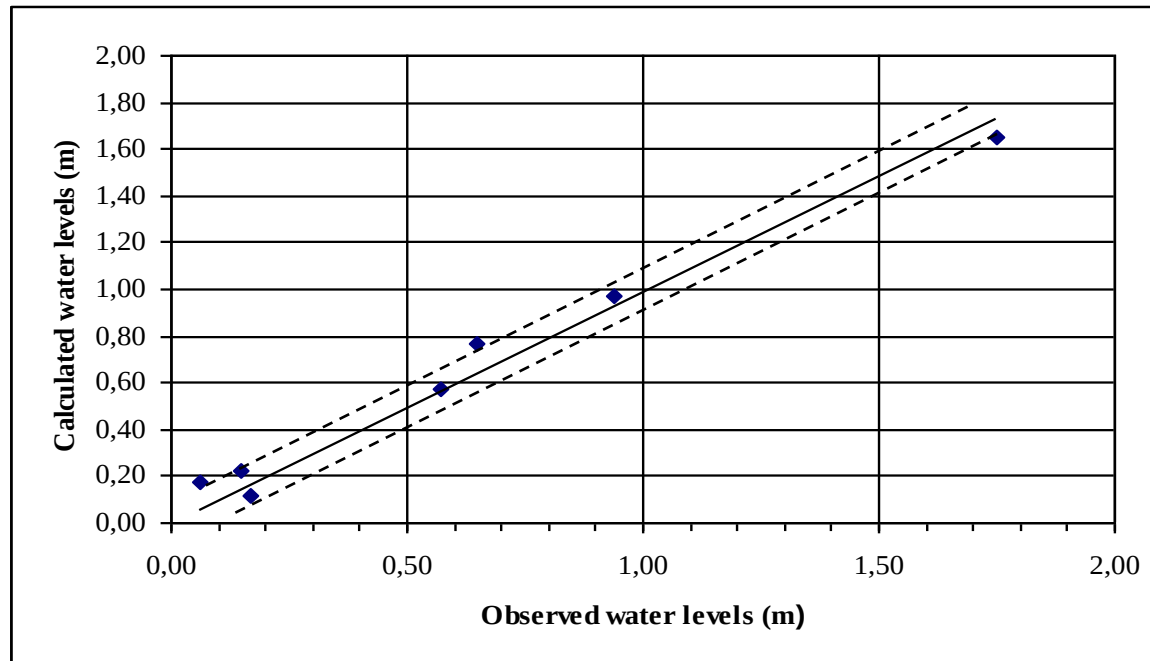
Implementación de modelos

- ❖ Geometría definida por 1.432 secciones
- ❖ Se tomaron en cuenta 15 puentes, 4 azudes y una toma lateral
- ❖ Datos hidrométricos para la calibración: 5 secciones de control desde 1999-2002
- ❖ Transporte de sedimentos en las estaciones Mesadilla y La Cabaña de 1975 a 1976 (37 campañas)



Implementación de modelos

- ❖ Buena calibración del coeficiente de Manning ($R^2 = 0.9854$ entre calados observados y calculados para HEC-RAS)



- ❖ El coeficiente de Manning varió entre 0.032 to 0.055 $\text{m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ dependiendo del tramo

Implementación de modelos

- ❖ El modelo BRI-STARS fue satisfactoriamente calibrado para el transporte de sedimentos para las fórmulas de Molinas & Wu (1996) y Meyer-Peter & Müller (1948).
- ❖ La validación de ambos modelos fue satisfactoria con 7 eventos adicionales

Calibración modelo BRI-STARS; transporte de sedimentos

Station	Determination Coefficient R^2	Medium Error M.E	Absolute Error A.E
Mesadilla	0.9683	0.102 mg l ⁻¹	1.646 mg l ⁻¹
La Cabaña	0.9911	-0.17 mg l ⁻¹	0.886 mg l ⁻¹

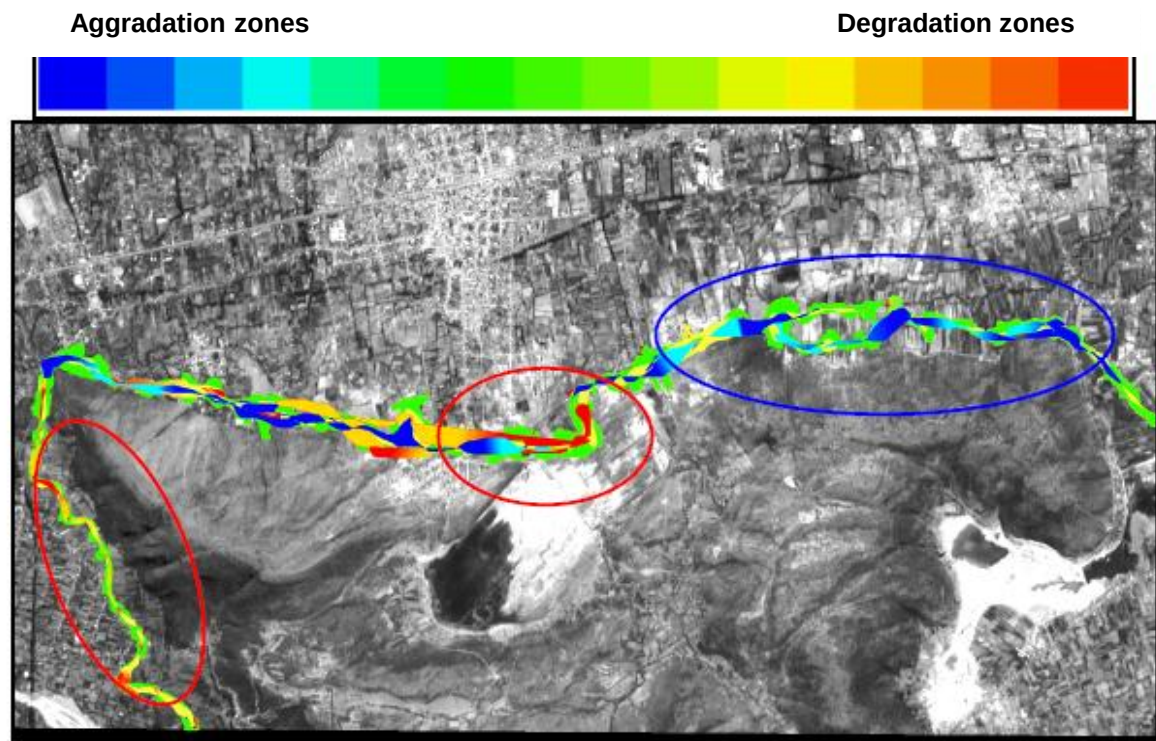
Validación modelo BRI-STARS; transporte de sedimentos

Station	Determination Coefficient R^2	Medium Error M.E	Absolute Error A.E
Mesadilla	0.9730	- 0.066 mg l ⁻¹	1.61 mg l ⁻¹
La Cabaña	0.9960	-0.23 mg l ⁻¹	2.32 mg l ⁻¹

Implementación de modelos

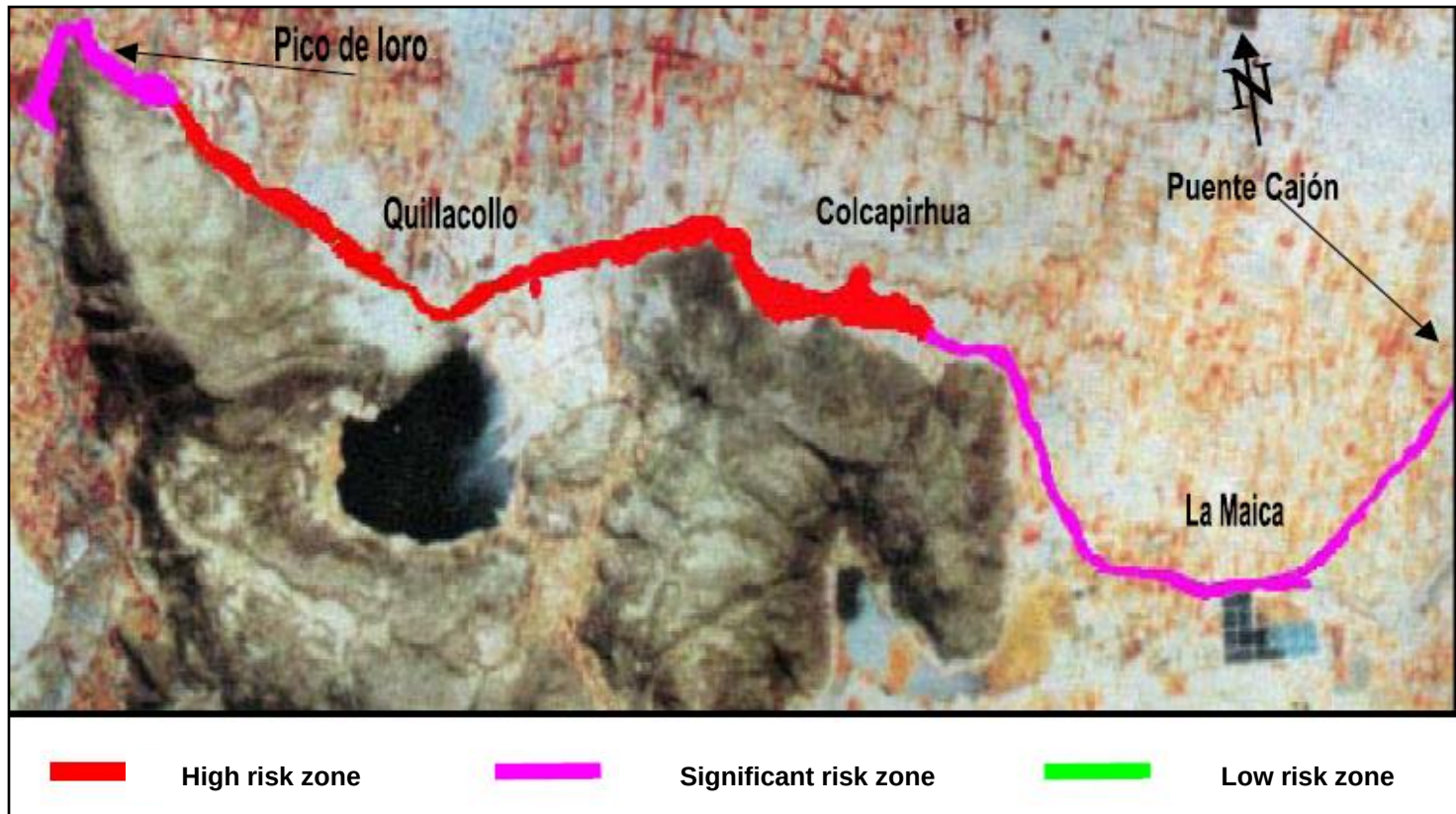
- ❖ Para la modelación de escenarios hipotéticos de mitigación se consideró un caudal $Q = 420 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Sevilla, 1988)
- ❖ Aportes laterales de cuencas
- ❖ Longitud de modelación: 60 Km (Sacaba – Parotani)

Zonas de erosión, deposición
y de desbordes identificadas



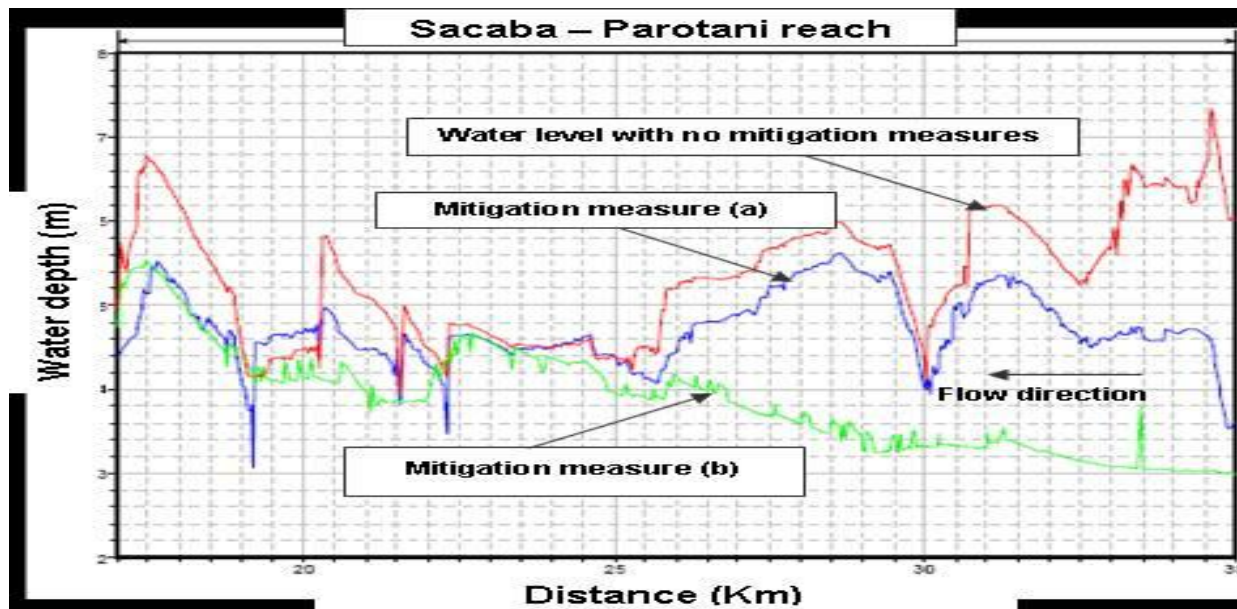
Implementación de modelos

- ❖ Sobre la base de los resultados de HEC-RAS y BRI-STARS se identificaron zonas de riesgo de acuerdo a las Guías Básicas de Planeamiento de España (1995)



Implementación de modelos

- ❖ Se proponen dos medidas de mitigación: a) Modificación de secciones transversales en tramos críticos b) Modificación de secciones transversales + modificación de pendientes (USACE, 1998)



Calados máximos de agua con HEC-RAS para medidas a) con 35 % de reducción y b) con 42 %

Resultados: modelos HEC-RAS y BRI-STARS implementados para los datos obtenidos y generados; medidas de mitigación evaluadas y diseñadas para tramos críticos del río.

Conclusiones

- ❖ La implementación de modelos se ha llevado a cabo exitosamente para tres casos aquí presentados, con grandes implicaciones medioambientales.
- ❖ Un aspecto muy importante de ser remarcado es que la modelación tanto física como numérica es el último paso de la implementación: se requiere de un trabajo de campo extensivo y minucioso, así como una recopilación de información lo más precisa posible.
- ❖ Un modelo físico o numérico debe calibrarse y validarse de la manera concluyente, para así asegurar que la modelación de escenarios hipotéticos de estudio sea lo más realista y que sea una herramienta útil en la toma de decisiones o en el diseño.
- ❖ Si bien es cierto que todos los esfuerzos han sido puestos en la representación de escenarios lo más cercanos a la realidad, la carencia de información y datos hidrométricos y climatológicos obligan a la asunción de casos que pueden no ser representativos de la realidad.
- ❖ Es necesaria la implementación de políticas de estado para la inversión de tiempo y recursos económicos en la puesta en marcha de redes de medición hidrométricas y climatológicas que coadyuven en mejores y más realistas escenarios de modelación allí cuando sea necesario.

Conclusiones

MUCHAS GRACIAS!