

UNIVERSIDAD NACIONAL  
DE ASUNCIÓN  
FACULTAD DE  
INGENIERÍA



## PLAN DE TESIS

*Aprovechamiento de Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución en Modelación Hidrológica/Hidrodinámica de Gran Escala.*

*Caso de Estudio: Cuenca del Río Itajaí (Estado de Santa Catarina – Brasil)*

Alumno: BENITO PEREIRA

Orientador: WALTER COLLISCHONN



Porto Alegre, Diciembre de 2017



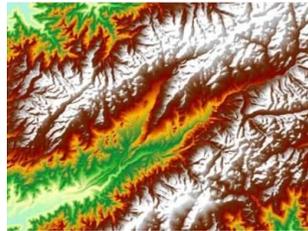
# INTRODUCCIÓN

# INTRODUCCIÓN

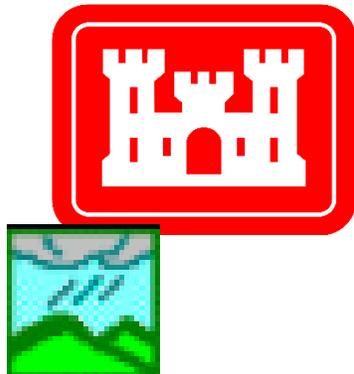
---

*Progresivo avance de los Sistemas de Información Geográfica en las últimas décadas...*

## MDE

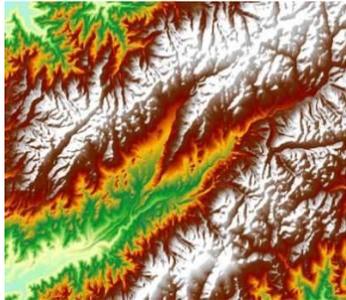


- ✓ Permitted the development of new methodologies and ***modelos para simular el comportamiento hidrológico*** e hidráulico de una cuenca.

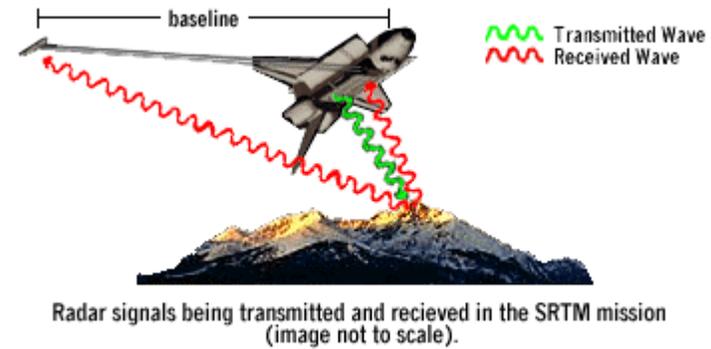


# INTRODUCCIÓN

**MDE**

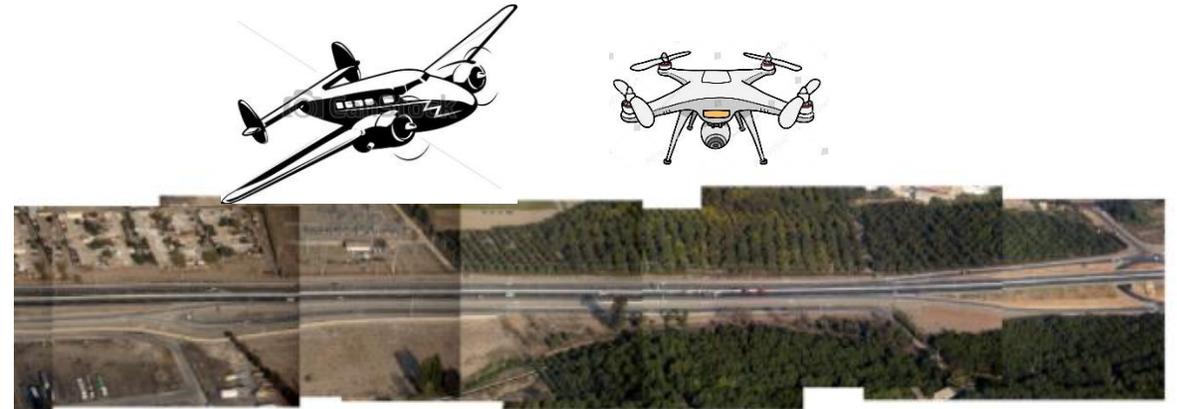


## 1. INTERFEROMETRÍA

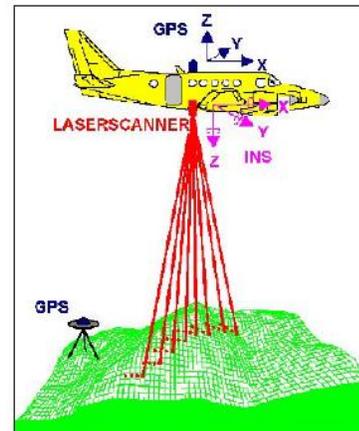


SRTM  
ASTER  
TanDEM-X

## 2. AEROFOTOGRAMETRÍA

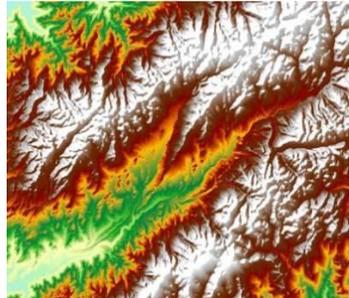


## 3. LiDAR



# INTRODUCCIÓN

**MDE**



1. INTERFEROMETRÍA

- SRTM (90 m o 30 m)
- ASTER (30 m)
- TanDEM-X (12 m)

2. AEROFOTOGRAMETRÍA

**Altas Resoluciones  
5 m, 2 m, 1m**

3. LiDAR



*Modelación Hidrológica*



*Modelación Hidráulica (Modelos Hidrodinámicos)*



# JUSTIFICACIÓN

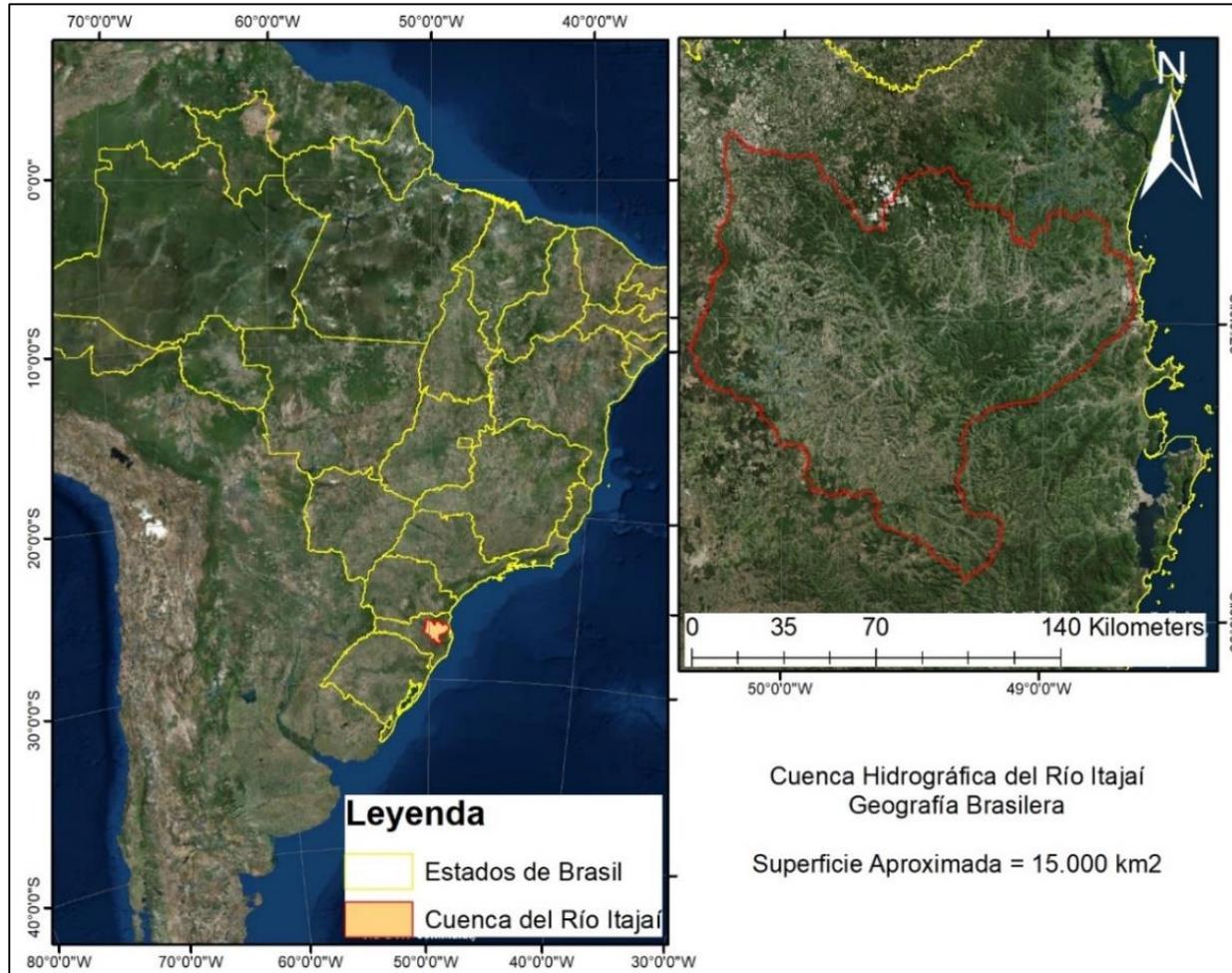
# JUSTIFICACIÓN

---

- Avances en la adquisición de datos de alta resolución deben ir acompañados de importantes avances en el análisis y procesamiento de esta información. ***Formas de almacenar y manipular información que ocupa mucho espacio.***
- ***Es posible llevar a cabo un estudio de caso.*** Existe una cuenca donde es posible la obtención de información de muy alta resolución en la totalidad de su superficie.

# JUSTIFICACIÓN

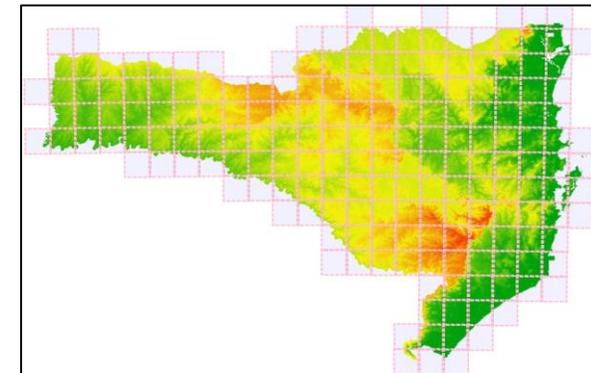
## AREA DE ESTUDIO



1. **Planicies de Inundación** relativamente extensas con desarrollo urbano, las cuales se encuentran constantemente afectadas por inundaciones.

**CANDIDATO PARA APLICACIÓN  
DEL MODELO INERCIAL**

2. **Datos de aerofotogrametría (1 m).**



# OBJETIVOS

# OBJETIVOS

---

## GENERAL

- ✓ *Aprovechar la información de Modelos Digitales de Elevación de Alta Resolución en Modelación Hidrológica/Hidrodinámica de Gran Escala.*

# OBJETIVOS

---

## ESPECÍFICOS

- ✓ Desarrollar un **Modelo Hidrológico/Hidrodinámico** en la Cuenca del Río Itajaí, utilizando el MGB-IPH (Inercial) con información de elevación convencional (**SRTM 90 x 90 m**).
- ✓ **Calibrar** el Modelo Hidrológico/Hidrodinámico MGB-IPH (Inercial) para el periodo con mayor cantidad de datos disponibles.
- ✓ Aprovechar información de **alta resolución** para implementar el **Modelo Hidrológico/ Hidrodinámico** MGB-IPH (Inercial).
- ✓ **Comparar los resultados** obtenidos con información convencional SRTM (90 x 90 m) e información de alta resolución (MDT de 1 x 1 m).

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

---

## MANIPULACIÓN DE GRAN VOLUMEN DE ARCHIVOS RASTER

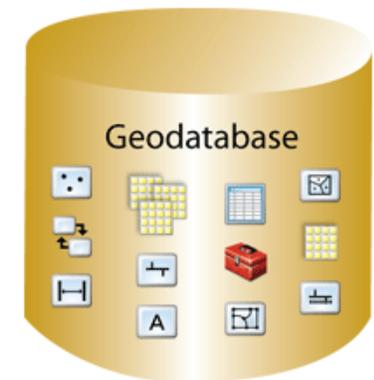
### □ DATASET MOSAICO

*Modelo de datos dentro de la geodatabase que se utiliza para administrar una colección de datasets ráster (imágenes) que se almacena como un catálogo y que se ve como una imagen en mosaico<sup>1</sup>.*

GEODATABASE  
????



Colección de Datos  
Geográficos de varios  
tipos

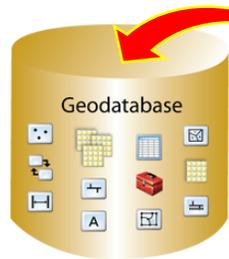


<sup>1</sup> Definición del Instituto Nacional de Estadística y Geografía de México

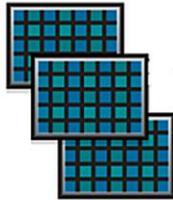
# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## ❑ CREACIÓN DE DATASET MOSAICO

### 1. Crear Geodatabase



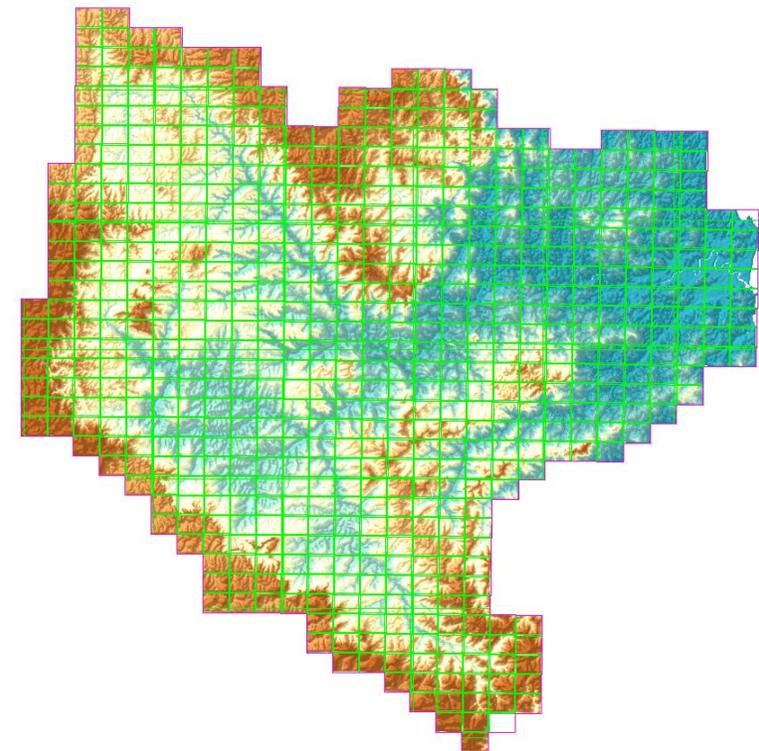
### 2. Crear el Dataset Mosaico



### 3. Adicionar Raster



### 4. Dataset Mosaico



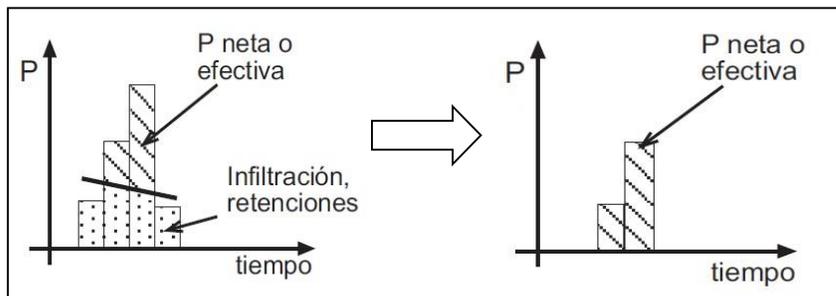
Operador Mosaico

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

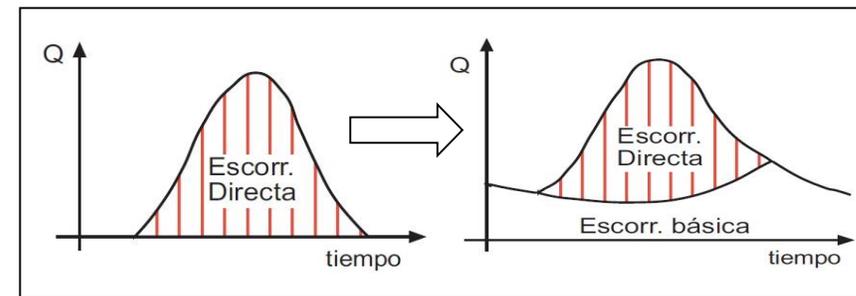
## MODELOS HIDROLÓGICOS

*Se define como la descripción matemática de la respuesta de una cuenca ante la ocurrencia de una serie de eventos de precipitación (Viessman, Lewis, & Knapp, 1989).*

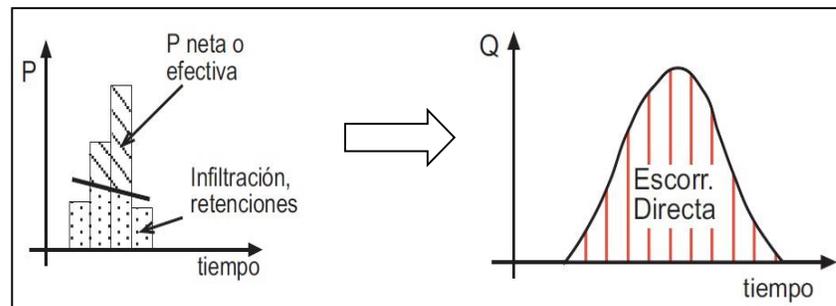
### 1. PÉRDIDAS.



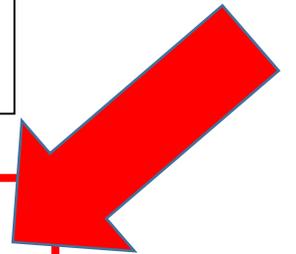
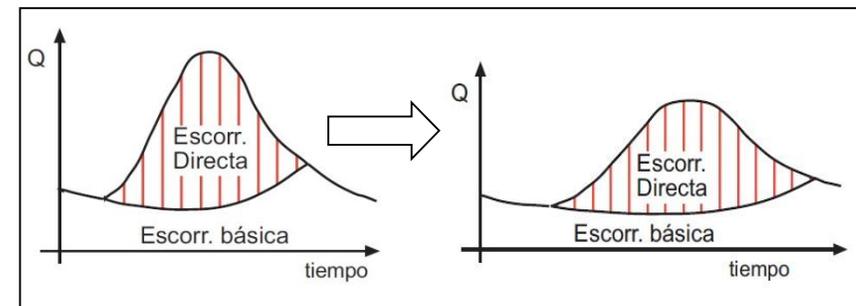
### 3. CAUDAL BASE.



### 2. TRANSFORMACIÓN.

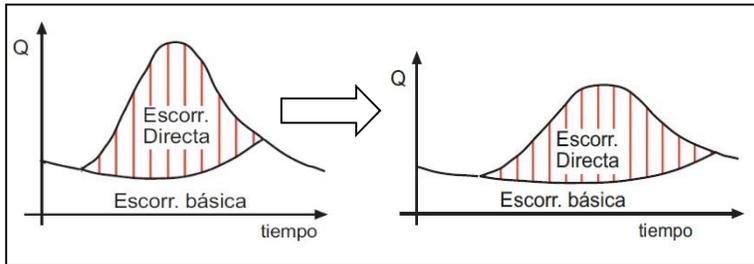


### 4. PROPAGACIÓN DE CAUDAL



# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## ❑ PROPAGACIÓN DE CAUDAL



**INICIALMENTE**



**MODELO MUSKINGUM  
CUNGE**

**ACTUALMENTE**



**MODELO INERCIAL**

## ECUACIONES DE SAINT VENANT

Ecuación de Continuidad

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

Ecuación de Cantidad de Movimiento o Ecuación Dinámica

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gAS_0 - gAS_f$$

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## □ APROXIMACIONES NUMÉRICAS A LAS ECUACIONES DE SAINT VENANT

✓ CONTINUIDAD:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad \longrightarrow \quad \frac{\partial V}{\partial x} = \sum Q_{in} - \sum Q_{out} \quad \longrightarrow \quad \frac{V_i^{t+\Delta t} - V_i^t}{\Delta t} = \sum Q_{in}^{t+\Delta t} - \sum Q_{out}^{t+\Delta t}$$

✓ CANTIDAD DE MOVIMIENTO:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \cancel{\frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A}\right)}{\partial x}} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = gAS_0 - gAS_f$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gBh \frac{\partial y}{\partial x} + g \frac{|Q| \cdot Q \cdot n^2}{h^{\frac{7}{3}}} = 0$$

Reordenando y escribiendo el caudal para el final del intervalo de tiempo en forma EXPLÍCITA...

$$Q_i^{t+\Delta t} = \left( \frac{(Q_i^t) - g \cdot B \cdot \Delta t \cdot (hflow_i \cdot Sflow_i)}{\left( 1 + \frac{g \cdot \Delta t \cdot hflow_i \cdot (|Q_i^t|) \cdot n^2}{B \cdot (hflow_i)^{\frac{10}{3}}} \right)} \right)$$

# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

---

- **Geomorfología del Cauce**

Se considera que las *secciones transversales son rectangulares*, y que la longitud y la profundidad pueden ser estimadas por curvas empíricas que relacionan estas variables con el área de drenaje (Mejia, Reed, 2011; Paiva, Collischonn, Tucci, 2011a).

$$H_{rio_i} = a \cdot A_i^b$$

$$W_{rio_i} = c \cdot A_i^d$$

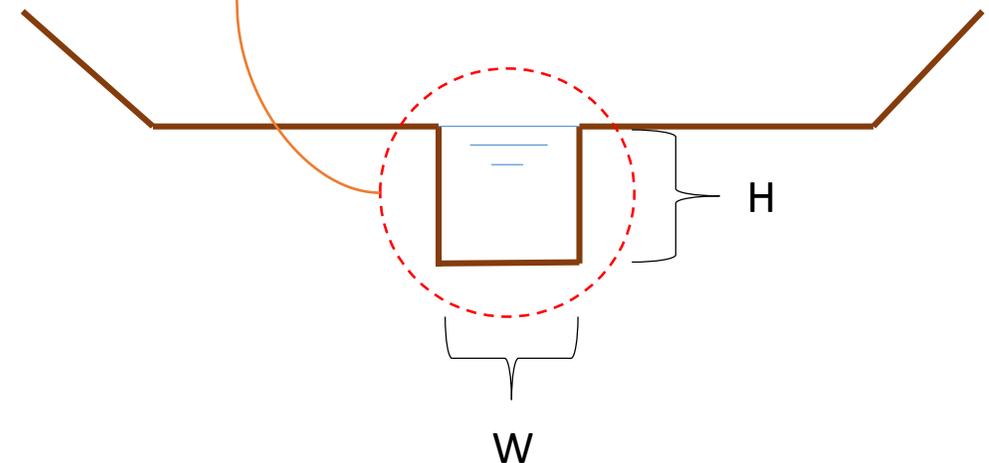
Donde:

$H_{rio_i}$  = Profundidad del cauce en la minicuenca  $i$  [m]

$W_{rio_i}$  = Ancho del cauce en la minicuenca  $i$  [m]

$A_i$  = Área de drenaje [ $m^2$ ]

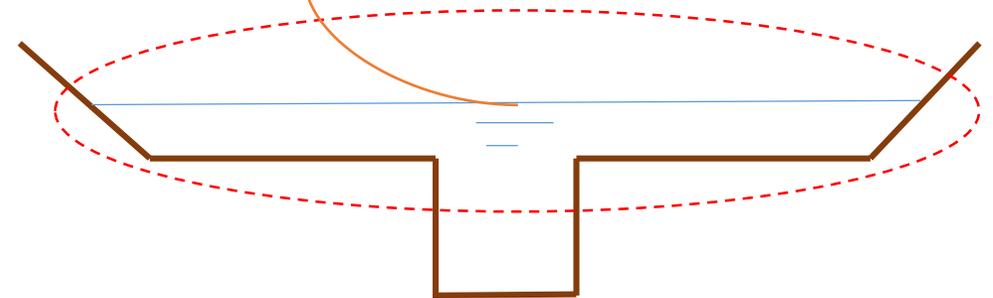
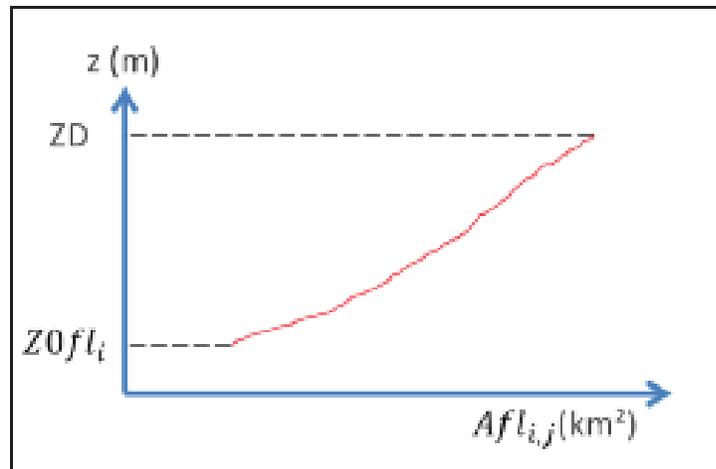
$a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  son los parámetros de ajuste de las ecuaciones del tipo potencial que relacionan la profundidad y el ancho del cauce con el área de drenaje.



# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

- **Geomorfología de la Planicie de Inundación**

La topo-batimetría de la planicie de inundación es obtenida a partir de una curva hipsométrica. Esta curva es utilizada posteriormente para estimar el área inundada en cada minicuenca para diferentes valores del nivel de agua.



# REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

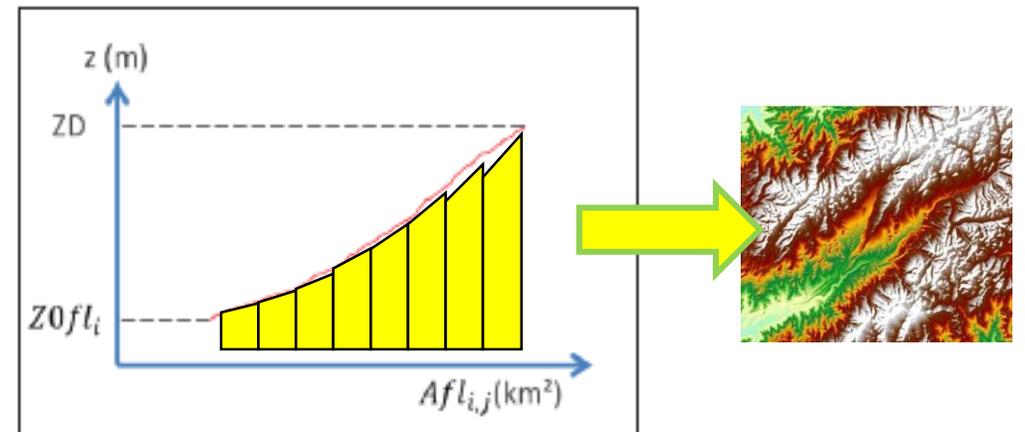
## □ PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO EN EL MGB - IPH

- Condición Inicial:** se asume una condición inicial de profundidad para todas la minicuenas.
- Cálculo de caudal y cota:** Se utiliza las siguientes ecuaciones para determinar el valor de caudal y cota para el final del intervalo de tiempo.
- Actualización de valores de cota:** luego del cálculo anterior, se tiene el valor de  $V_{t+\Delta t}$  para todas las minicuenas. Con este valor se obtiene el nivel de agua interpolando la tabla **COTA/VOLUMEN** de cada minicuenca  $y_{t+\Delta t}$
- Actualización de valores de profundidad:**

$$h_i^{t+1} = y_i^{t+1} - Z_{tab_{i,1}}$$

Cota de Nivel de Agua      Cota de Fondo

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{V_i^{t+\Delta t} - V_i^t}{\Delta t} &= \sum Q_{in}^{t+\Delta t} - \sum Q_{out}^{t+\Delta t} \\ Q_i^{t+\Delta t} &= \left( \frac{(Q_i^t) - g \cdot B \cdot \Delta t \cdot (hflow_i \cdot Sflow_i)}{\left( 1 + \frac{g \cdot \Delta t \cdot hflow_i \cdot (|Q_i^t|) \cdot n^2}{B \cdot (hflow_i)^{\frac{10}{3}}} \right)} \right) \end{aligned} \right.$$

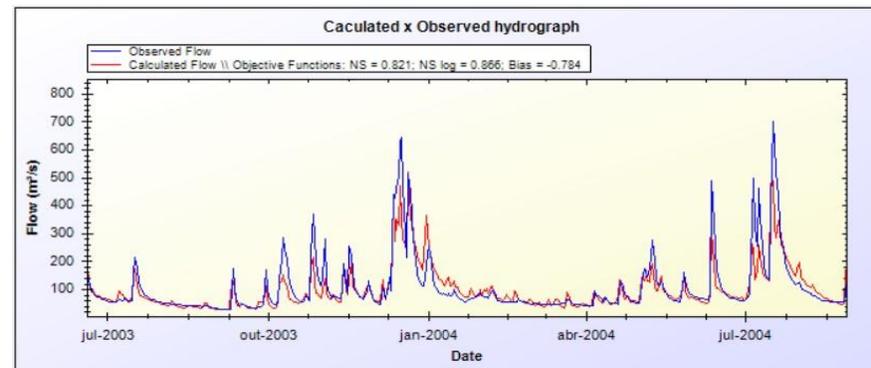
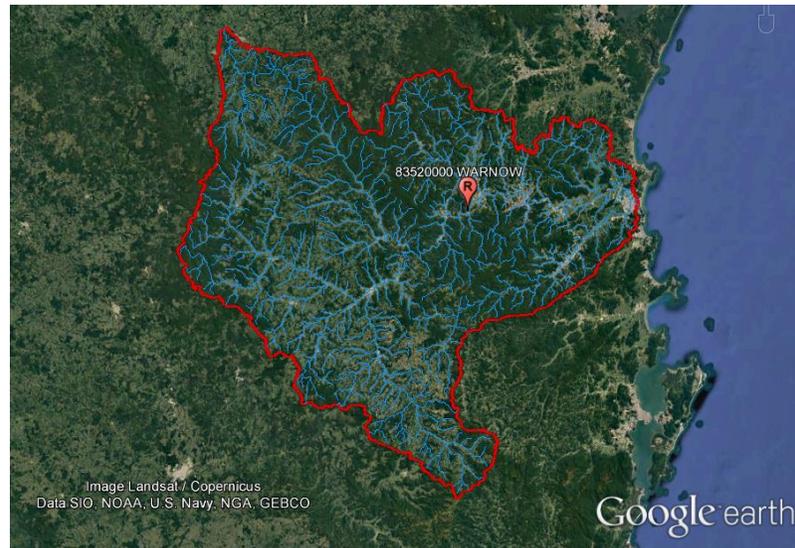


**Pontes et al. (2015)**

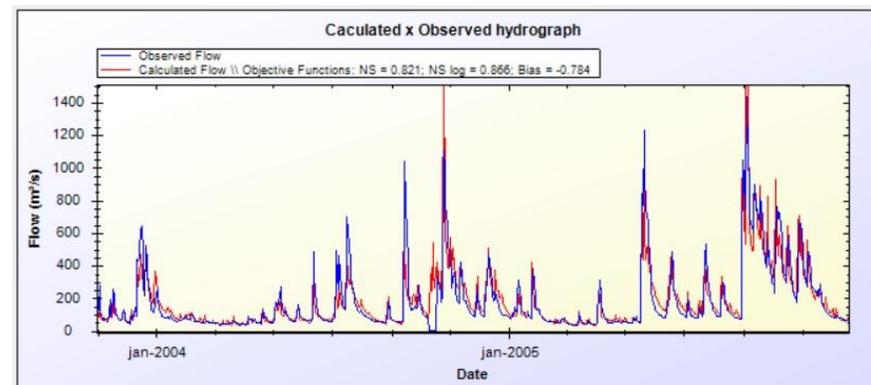
# METODOLOGÍA

# METODOLOGÍA

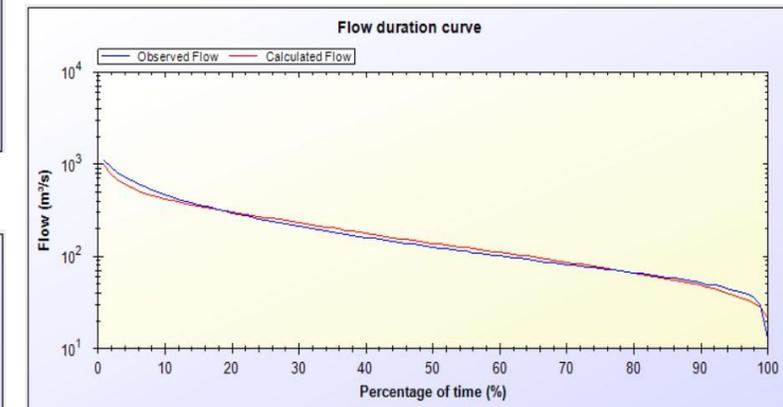
## 1. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO/HIDRODINÁMICO MGB-IPH (INERCIAL) CON INFORMACIÓN DE ELEVACIÓN CONVENCIONAL (SRTM 90 x 90 m).



Hidrograma Simulado y Observado (Periodo 2003 – 2004)



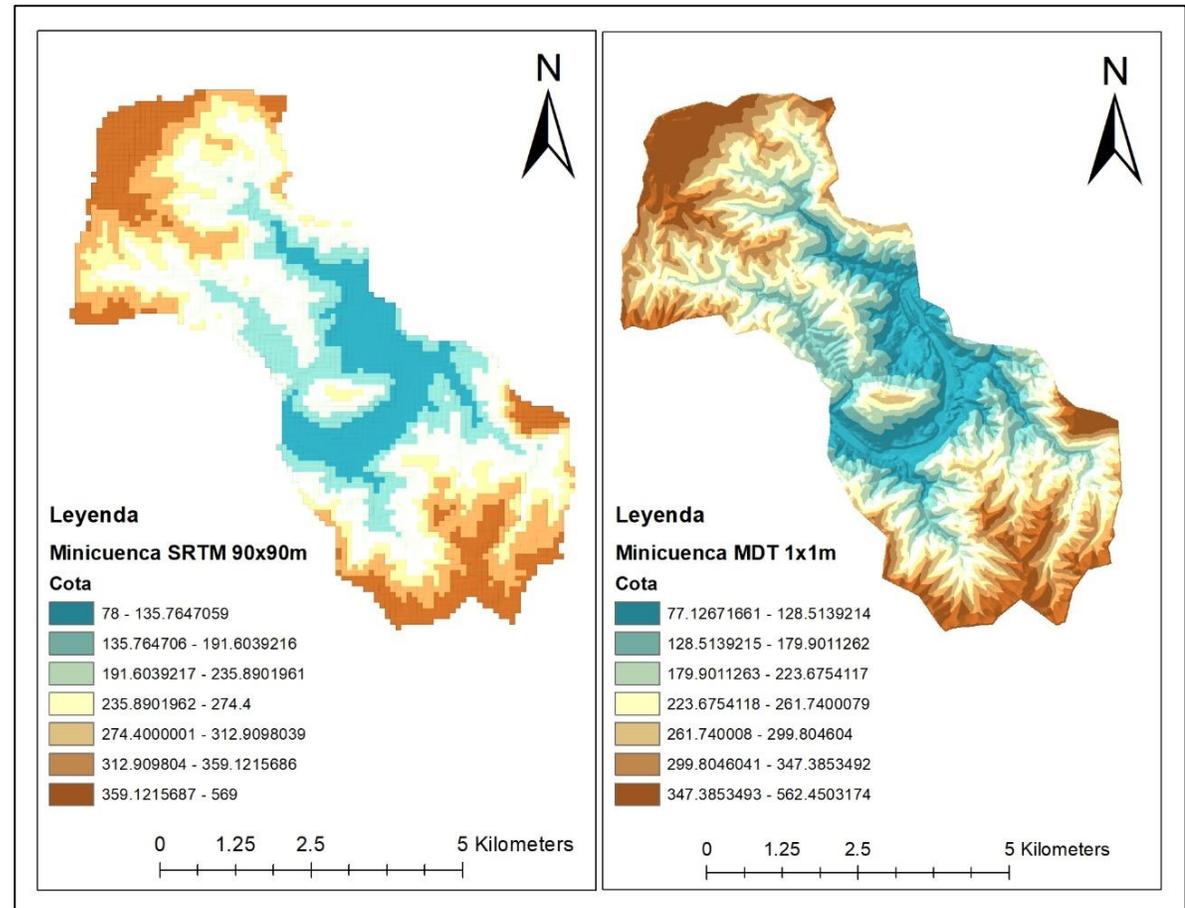
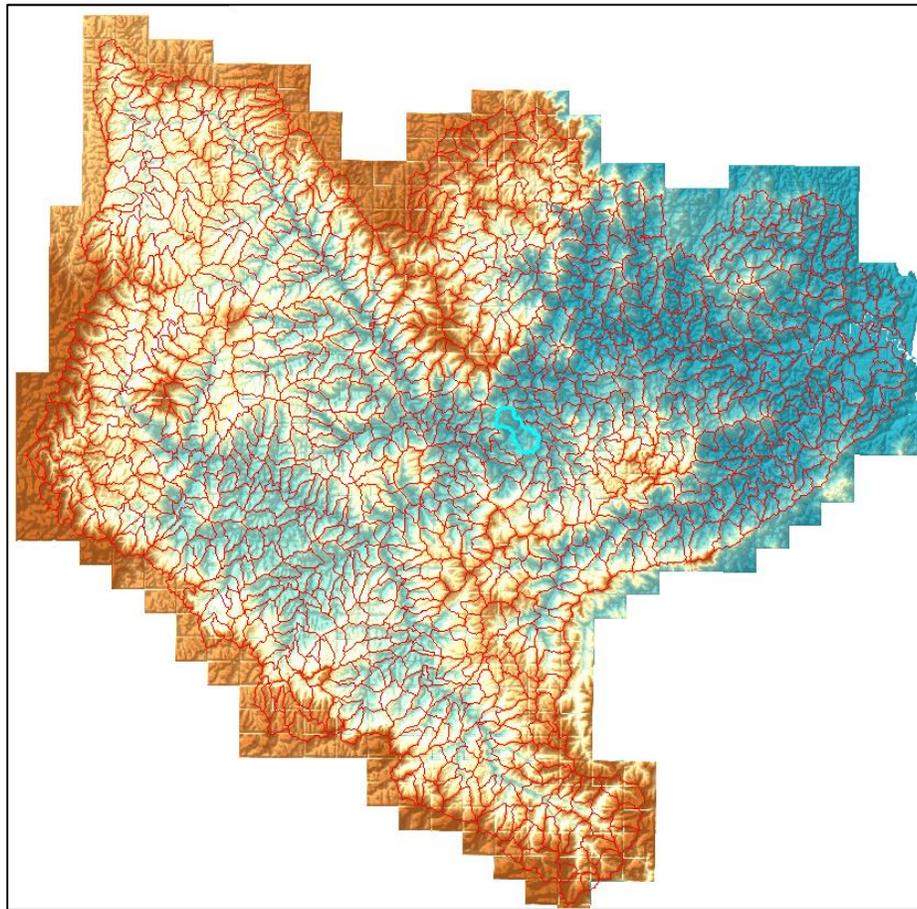
Hidrograma Simulado y Observado (Periodo 2004 – 2005)



Curva de Permanencia (Periodo 1986 – 2006)

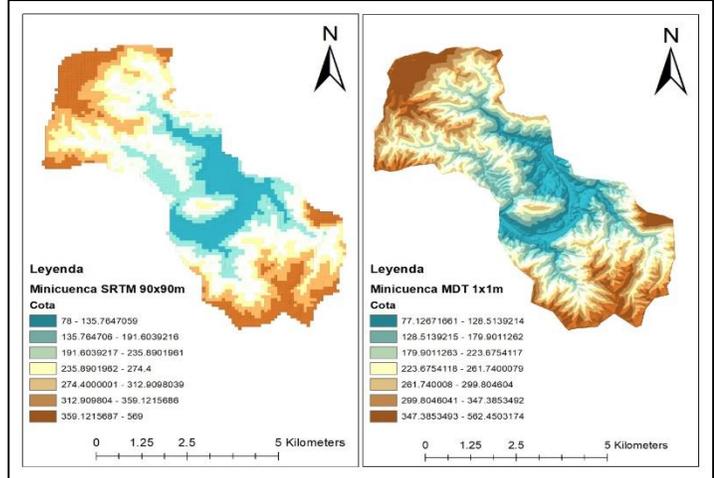
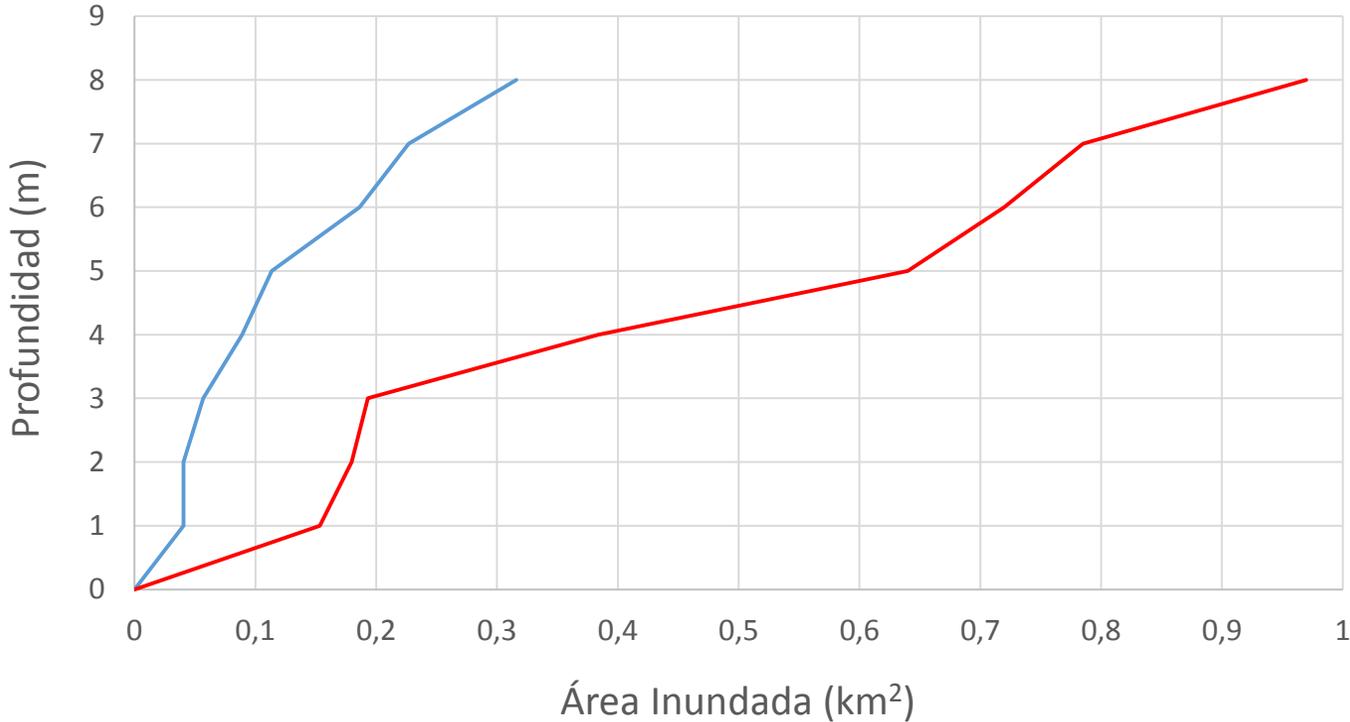
# METODOLOGÍA

## 2. INCORPORACIÓN DE DATOS DE ELEVACIÓN DE ALTA RESOLUCIÓN AL MODELO HIDROLÓGICO/HIDRODINÁMICO.



# METODOLOGÍA

## CURVAS HIPSOMÉTRICAS CON DISTINTAS FUENTES DE INFORMACIÓN



— SRTM 90 x 90 m  
— MDT 1 x 1 m

**CAMBIAR TABLA COTA/ÁREA OBTENIDA CON SRTM POR OTRA OBTENIDA CON MDT 1x1 m**

**RESULTADOS ESPERADOS**

# RESULTADOS ESPERADOS

---

- ***Se espera que el modelo inercial trabaje con una mejor precisión respecto al área inundada, y, por ende, represente de mejor manera los hidrogramas simulados.***
- ***La comparación entre los resultados generados con distintas fuentes de información, permitirá definir si es factible el aprovechamiento de Modelos Digitales de Elevación de alta resolución en Modelación Hidrológica/Hidrodinámica de Gran Escala con el Modelo MGB – IPH.***

# **CRONOGRAMA**

# CRONOGRAMA

---

Actividades	Dic	Ene	Feb	Mar
Finalización de la defensa del Plan de Tesis	■			
Revisión Bibliográfica acerca de Base de Datos Mosaico, Modelación con MDT de Alta Resolución	■			
Pruebas de aprovechamiento de datos de elevación de alta resolución en la Cuenca del Río Itajaí		■		
Comparación de resultados obtenidos con MDS SRTM (90 x 90 m) y MDT Santa Catarina (1 x 1 m)			■	
Establecimiento de un procedimiento sencillo para el aprovechamiento de información de elevación de alta resolución en Modelación Hidrológica / Hidrodinámica con el MGB - IPH			■	■

# REFERENCIAS

---

- ✓ Bremicker, M. (1998). *Aufbau eines Wasserhaushaltsmodells für das Weser und das Ostsee Einzugsgebiet als Baustein eines Atmosphären-Hydrologie-Modells*. Freiburg, Germany: Dissertation Doktorgrad. Geowissenschaftlicher Fakultät der Albert- Ludwigs-Universita't.
- ✓ Cárdenas Quiroga, E. A., Morales Martín, L. Y., & Ussa Caycedo, A. (2015). La estereoscopia, métodos y aplicaciones en diferentes áreas del conocimiento. *Revista Científica General José María Córdova*, 201-219.
- ✓ Chow, V. T. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Inc.
- ✓ Collischonn, W. (2001). Simulação Hidrológica de Grandes Bacias. Tese de doutorado. *Tese de Doutorado*.
- ✓ Collischonn, W., Allasia, D., Silva, B. C., & Tucci, C. E. (2007). The MGB-IPH model for large scale rainfall-runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, 878-895.
- ✓ EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária). (2006). *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasilia, DF.
- ✓ Fan, F. M., & Collischonn, W. (2014). Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 243-254.
- ✓ Fan, F., Pontes, P., Paiva, R., & Collischonn, W. (2014). Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 137-147.
- ✓ FAO. (2006). *Evapotranspiración de Cultivo*. Roma.
- ✓ Farr, T., Rosen, P., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., . . . Alsdorf, D. (2007). The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.*
- ✓ Fatorelli, S., & Fernández, P. (2011). *Diseño Hidrológico* (2ª ed.). Edición Digital.
- ✓ Geografia, I. N. (s.f.). Obtenido de <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>
- ✓ Liu, X., & Zhang, Z. (2008). LiDAR Data Reduction For Efficient and High Quality DEM Generation. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inform. Sci.*, P1.
- ✓ Mejia, A., & Reed, S. (2011). Evaluating the effects of simplified routing and parameterized cross section shapes with a coupled distributed hydrologic and hydraulic model. *Journal of Hydrology*, 409.
- ✓ METI & NASA. (2009). *ASTER global DEM validation summary report*.
- ✓ Moussa, R., & Bocquillon, C. (1996). Criteria for the choice of flood-routing methods in natural channels. *Journal of Hidrology*, 1-30.
- ✓ National Ocean Service. (s.f.). *National Oceanic and Atmospheric Administration U.S. Department of Commerce*. Obtenido de <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lidar.html>
- ✓ Paiva, R. (2009). *Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de grandes bacias. Estudo de Caso: bacia do rio Solimões*. Porto Alegre: UFRGS.
- ✓ Pontes, P. R., Collischonn, W., Fan, F. M., Paiva, R. C., & Buarque, D. C. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 888-904.
- ✓ Tucci, C. (1998). *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: ABRH.
- ✓ Viessman, W., Lewis, G., & Knapp, J. (1989). *Introduction to Hydrology*.
- ✓ Walter Collischonn, e. a. (2017). *Manual de Exemplo de Aplicação do Modelo MGB-IPH 2017 Utilizando o IPH-Hydro Tools*. Institucional, Porto Alegre.

**MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN!**