



# IX SEMINARIO

La sostenibilidad un punto de encuentro

**DIFERENTES ENFOQUES DE LA GESTIÓN DEL RIESGO**

ISSN: 2323-90096 (En línea)



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
COLEGIO MAYOR  
DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE  
ARQUITECTURA  
E INGENIERÍA



Alcaldía de Medellín  
**Cuenta con vos**



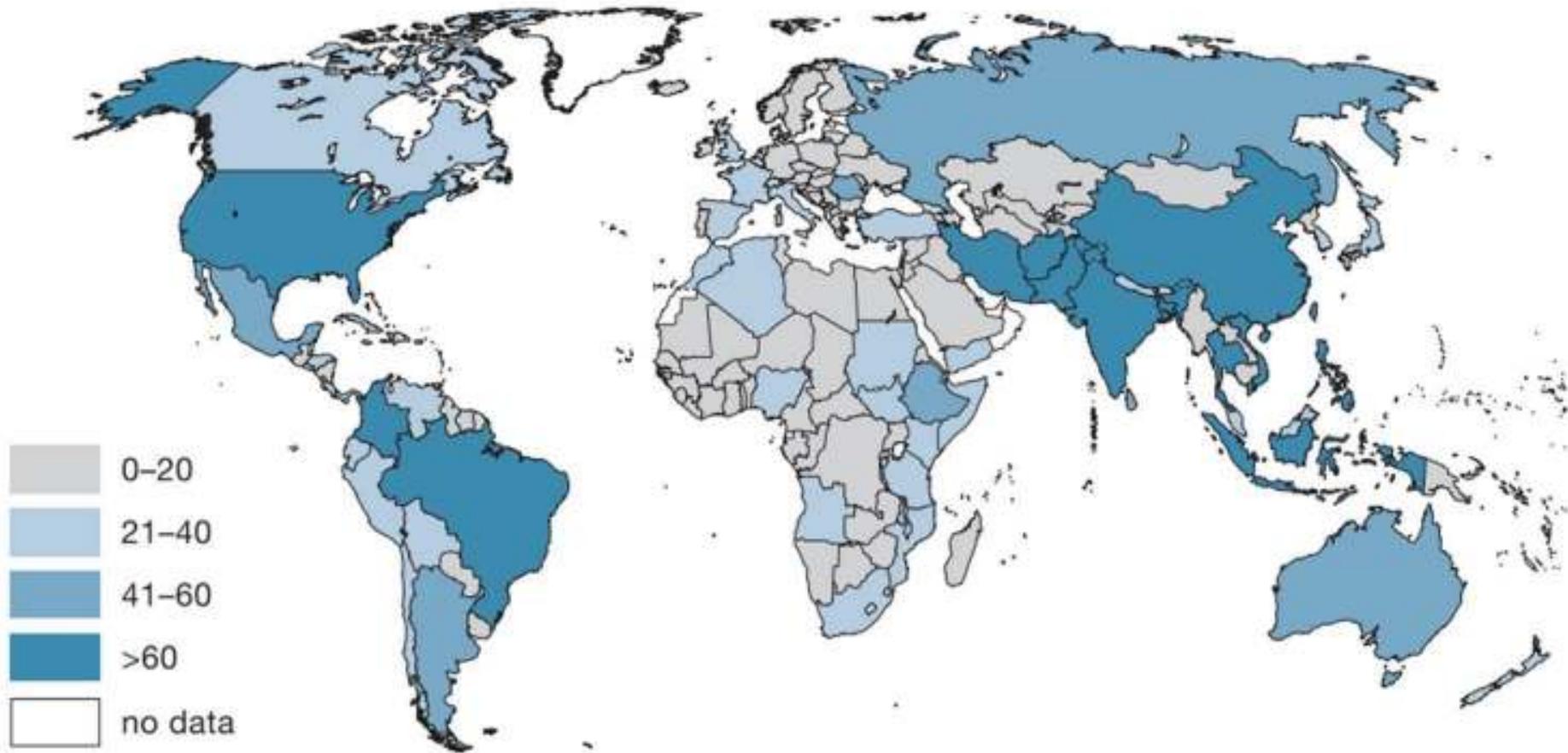
# **Análisis de la incertidumbre en la estimación de las zonas inundables con descriptores geomorfométricos derivados de MDE y modelos hidrodinámicos**

Juan David Parra Jiménez, Jaime Ignacio Vélez Upegui

Universidad Nacional de Colombia  
Facultad de Minas  
Departamento de Geociencias y Medio Ambiente  
Medellín, Colombia  
2017



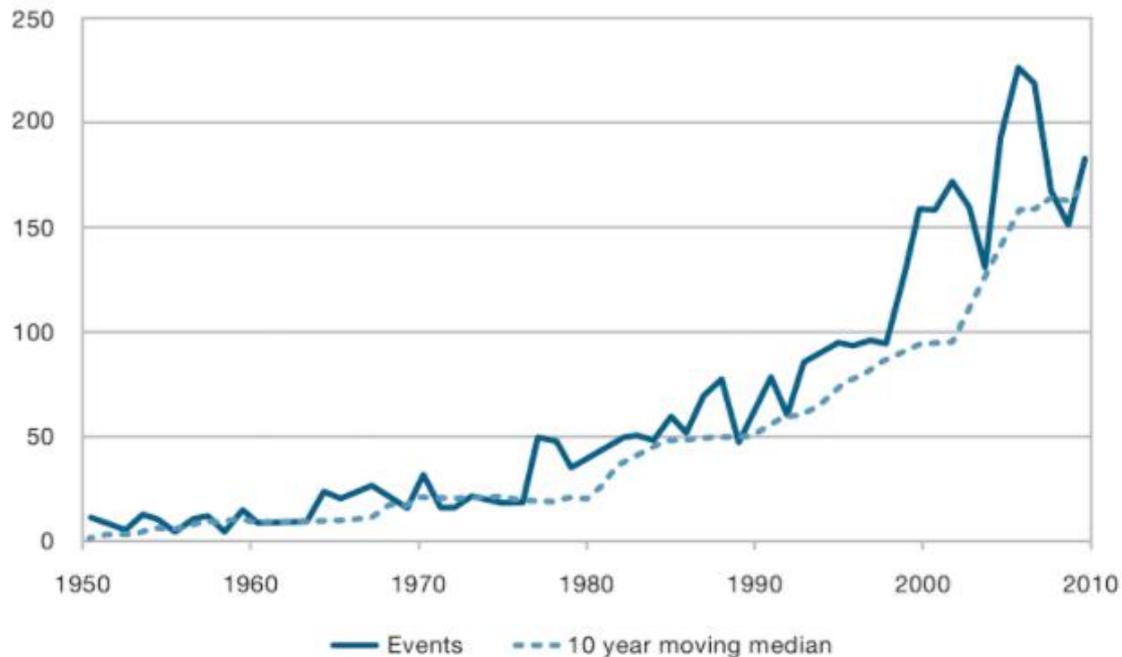
# 1. Antecedentes



Inundaciones en el período 1970-2011 (Jha et al., 2012)



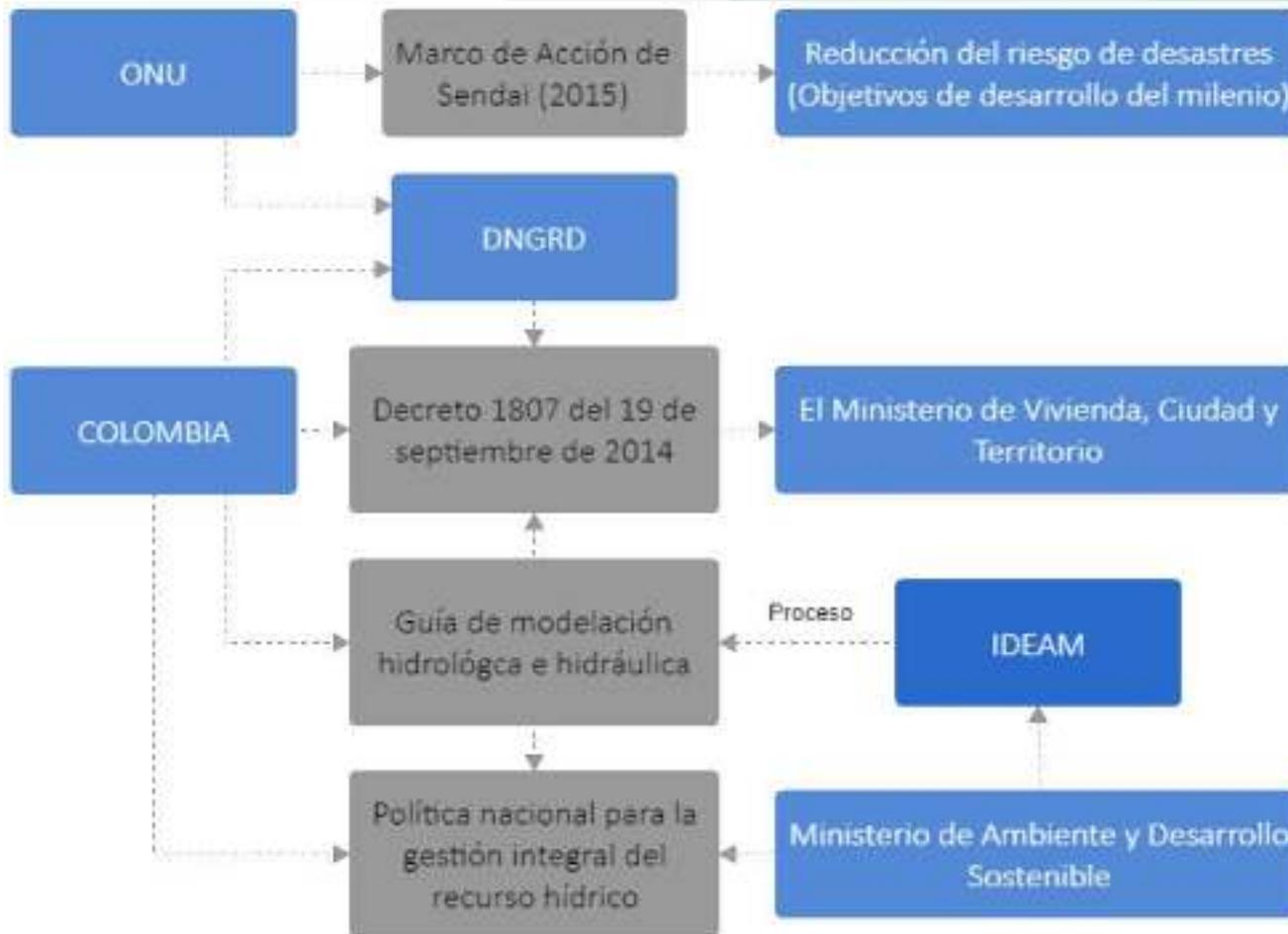
# 1. Antecedentes



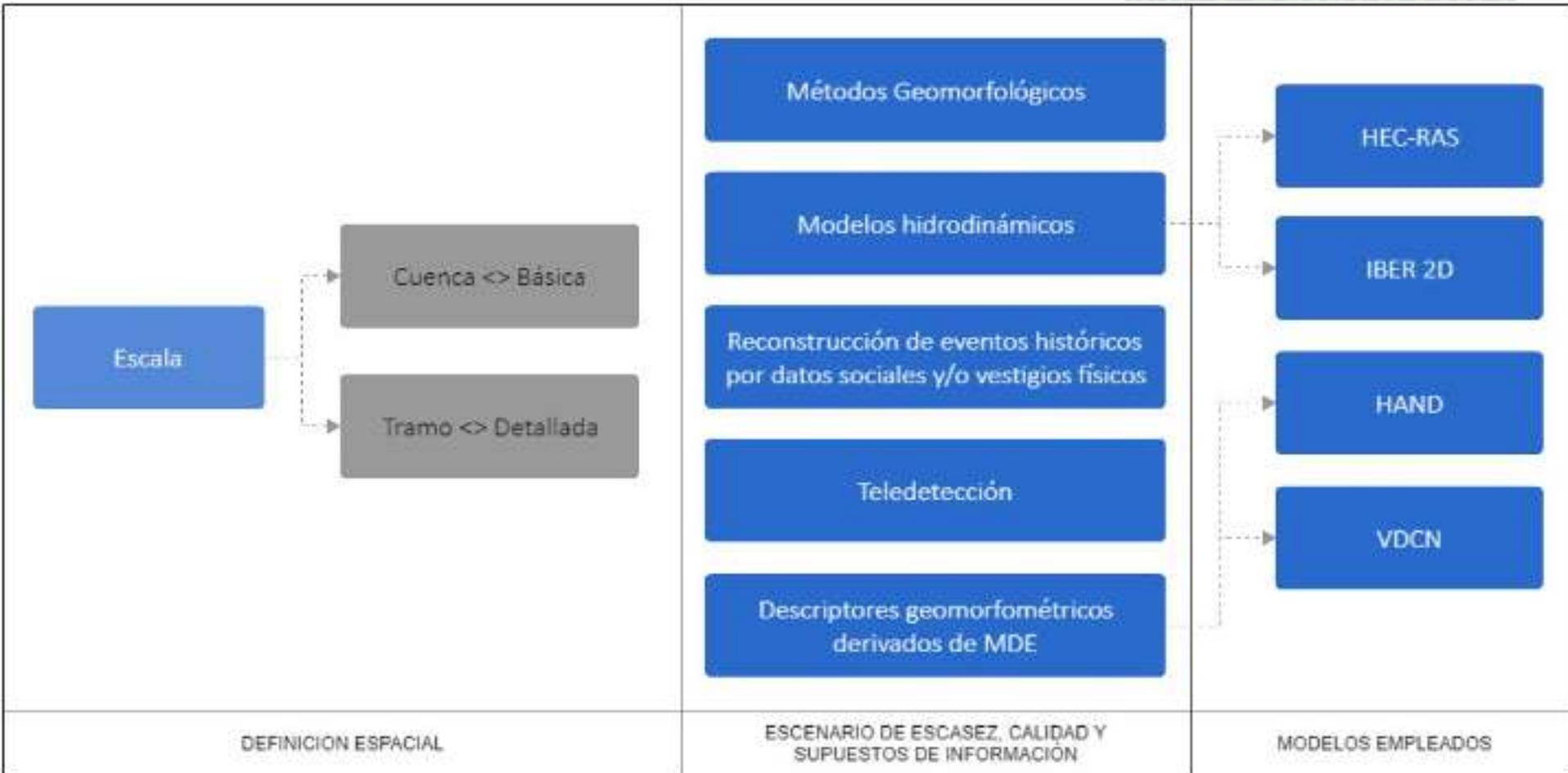
Registro único de damnificados por la emergencia invernal 2010-2011 (DANE, 2011)

Total 998 Municipios	Hogares
Número de hogares con pérdidas agropecuarias	603.895
Número de hogares con pérdidas de cultivos	483.929
Número de hogares con pérdida de ganado	242.137
Número de hogares con pérdida de aves de corral	263.726
Número de hogares con pérdida de otras especies menores	46.461
Número de hogares con pérdida de cultivo de peces	12.715
Número de hogares con afectación de vivienda	557.377
Número de hogares con afectación en finca o parcela	300.618

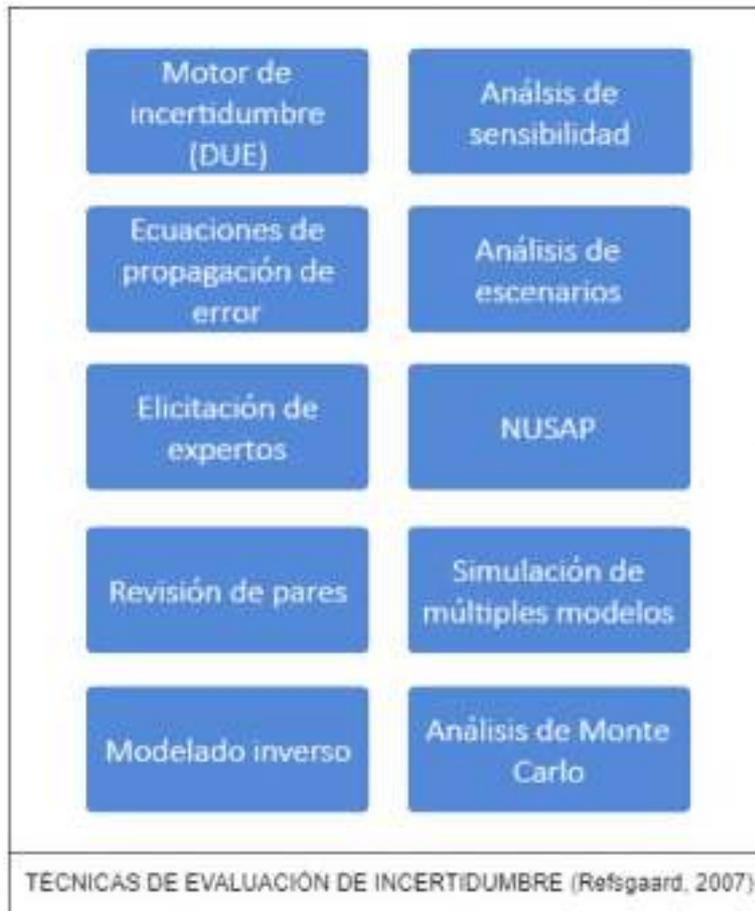
# 1. Antecedentes



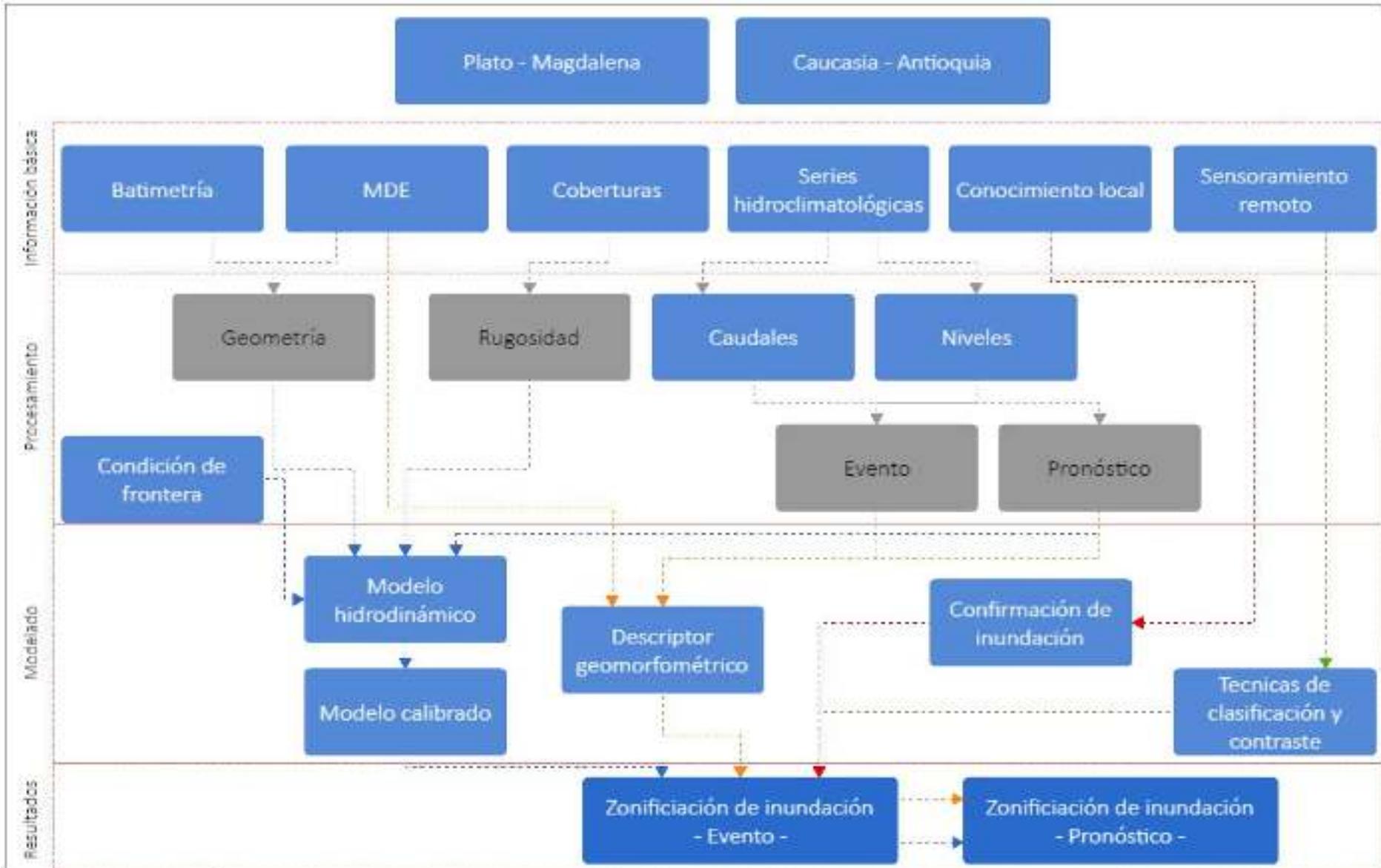
# 1. Antecedentes



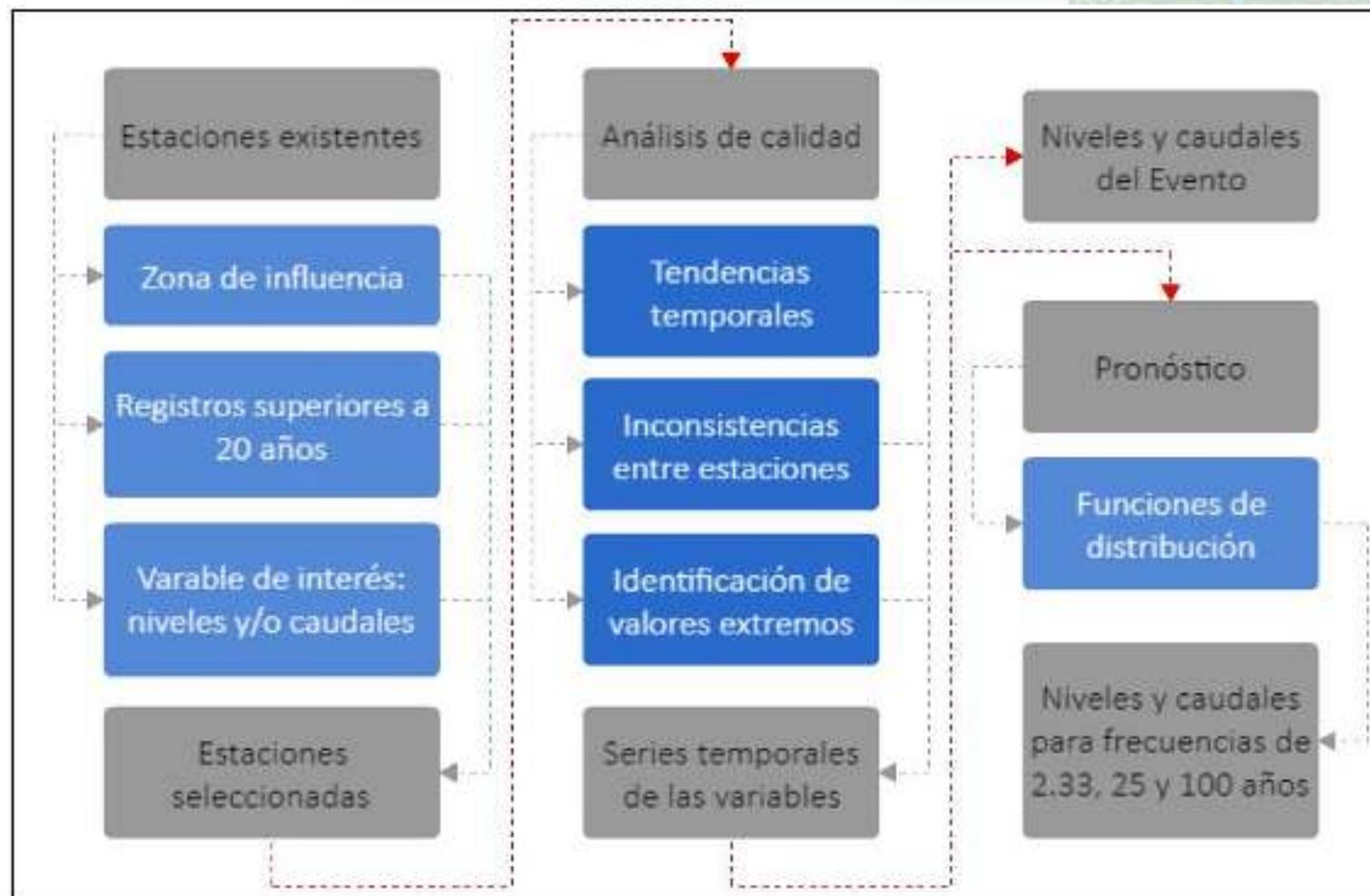
# 1. Antecedentes



## 2. Metodología



## 2.1 Información base – Series hidrológicas



## 2.1. Información base – Batimetría

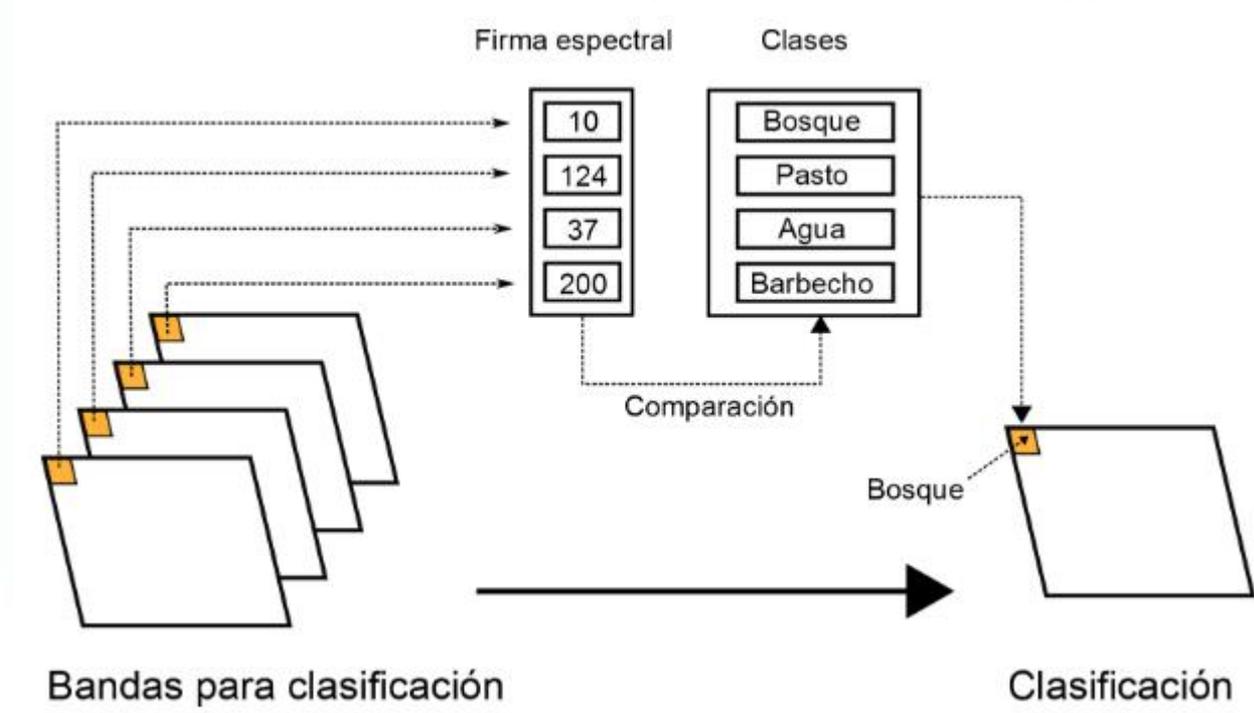


## 2.1. Información base - Coberturas



Clasificación supervisada sobre productos LandSat 8 OLI ETM+.

(Swain P and Davis S (1978), *Remote Sensing: The Quantitative Approach* , pp. 396. Mc Graw-Hill)



## 2.1. Información base – Teledetección



En Colombia el IGAC y el IDEAM emplearon con éxito los productos de sensores ópticos y SAR (UK DMC, FAC ADS 80, FAC RadarSAT 2, SPOT 5 DMC, CONAE Cosmos - SkyMed) para la zonificación de inundación con escala 1:100.000 para la emergencia invernal 2010-2011.



## 2.2. Modelos hidrodinámicos



### Modelo Hidrodinámico HEC-RAS (1D):

En régimen permanente las ecuaciones de energía resuelven el problema y las ecuaciones de momentum resuelven los cambios rápidos de régimen.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L\bar{S}_f + c \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

$$Q = KS_f^{\frac{1}{2}} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{\frac{2}{3}}$$

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$

$$\frac{Q_2^2 B_2}{gA_2} + A_2 \bar{Y}_2 + \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) LS_0 - \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) L\bar{S}_f = \frac{Q_1^2 B_1}{gA_1} + A_1 \bar{Y}_1$$



## 2.2. Modelos hidrodinámicos



### Modelo Hidrodinámico HEC-RAS (1D):

Datos del modelo:

- Condiciones de frontera: régimen de flujo, caudal y/o nivel.
- Definición de condiciones internas: zonas de flujos muertos, estructuras, coeficientes de contracción.
- Geometría definida por secciones: Batimetría del cauce y topografía de las bancas con toda la zona inundable.
- Rugosidades en la sección.



## 2.2. Modelos hidrodinámicos



### Modelo Hidrodinámico IBER 2D:

Resuelve las ecuaciones de aguas someras promediadas en profundidad, también conocidas como 2D Shallow Water Equations (2D-SWE) o ecuaciones de St. Venant bidimensionales. Asume que la distribución de presión hidrostática y distribución de la velocidad son relativamente uniforme en la profundidad.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU_x}{\partial x} + \frac{\partial hU_y}{\partial y} = M_s$$

$$\frac{\partial hU_x}{\partial t} + \frac{\partial hU_x^2}{\partial x} + \frac{\partial hU_x U_y}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial \rho}{\partial x} + 2 \Omega \sin \lambda U_y + \frac{\partial h\tau_{xx}^e}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{xy}^e}{\partial y} + M_x$$

$$\frac{\partial hU_y}{\partial t} + \frac{\partial hU_x U_y}{\partial x} + \frac{\partial hU_y^2}{\partial y} = -gh \frac{\partial Z_s}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} - \frac{g}{\rho} \frac{h^2}{2} \frac{\partial \rho}{\partial y} - 2 \Omega \sin \lambda U_x + \frac{\partial h\tau_{xy}^e}{\partial x} + \frac{\partial h\tau_{yy}^e}{\partial y} + M_y$$



## 2.2. Modelos hidrodinámicos



### Modelo Hidrodinámico IBER 2D:

Fricción de fondo está definida por el coeficiente de rugosidad de Manning:

$$\tau_b = \rho u_f^2 = \rho C_f |U|^2$$

$$R_h = \frac{A}{P_m} = \frac{h \Delta x}{\Delta x} = h$$

Las velocidades turbulentas son estimadas  
mediante la ecuación de Boussinesq

$$C_f = g \frac{n^2}{h^{1/3}}$$



## 2.2. Modelos hidrodinámicos



### Modelo Hidrodinámico IBER 2D:

Datos del modelo:

- Condiciones de frontera: régimen de flujo, caudal y nivel.
- Definición de condiciones internas: estructuras.
- Geometría continua de todo el dominio de estudio: Batimetría del cauce y topografía.
- Rugosidades de cada área.



## 2.3. Descriptores morfométricos derivados de MDE



### **HAND:**

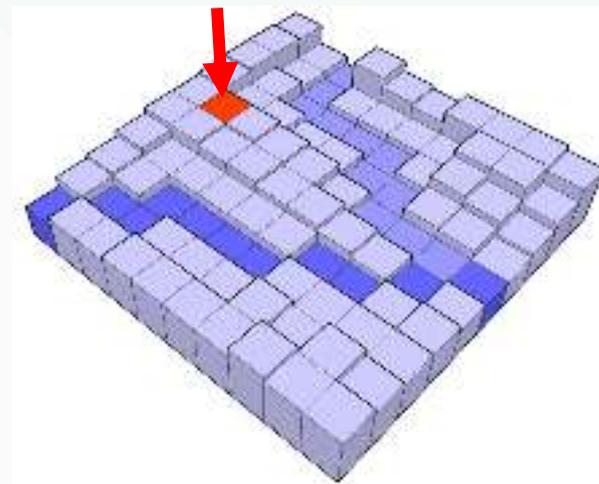
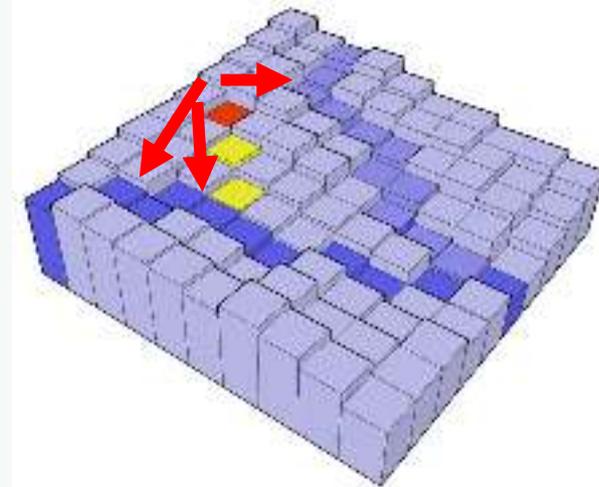
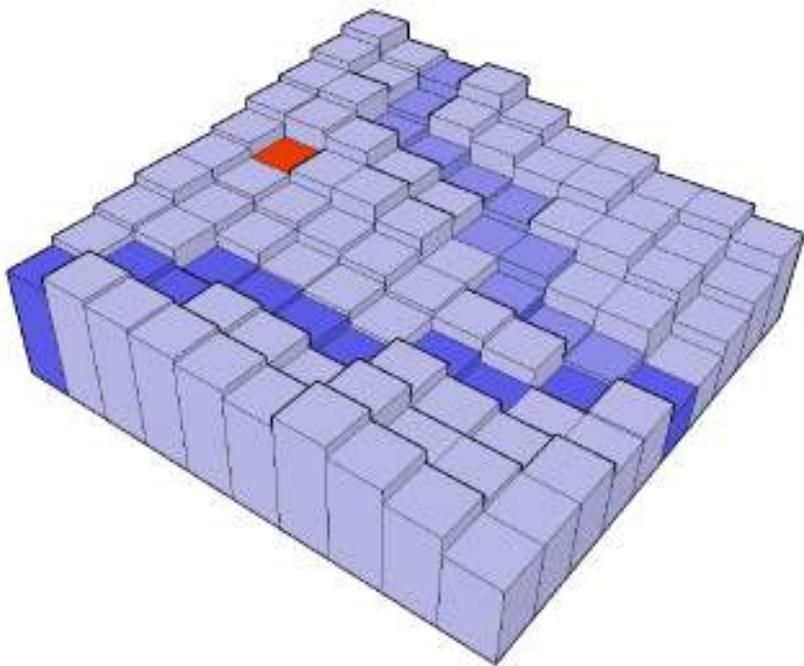
Es un descriptor del terreno que normaliza las elevaciones en función de la red de drenaje y el mapa de direcciones (Pérez, 2014), (Rennó et al., 2008).

### **VDCN:**

Igualmente normaliza las elevaciones en función de la red de drenaje pero no tiene en cuenta el mapa de direcciones (Olaya & Conrad, 2009).

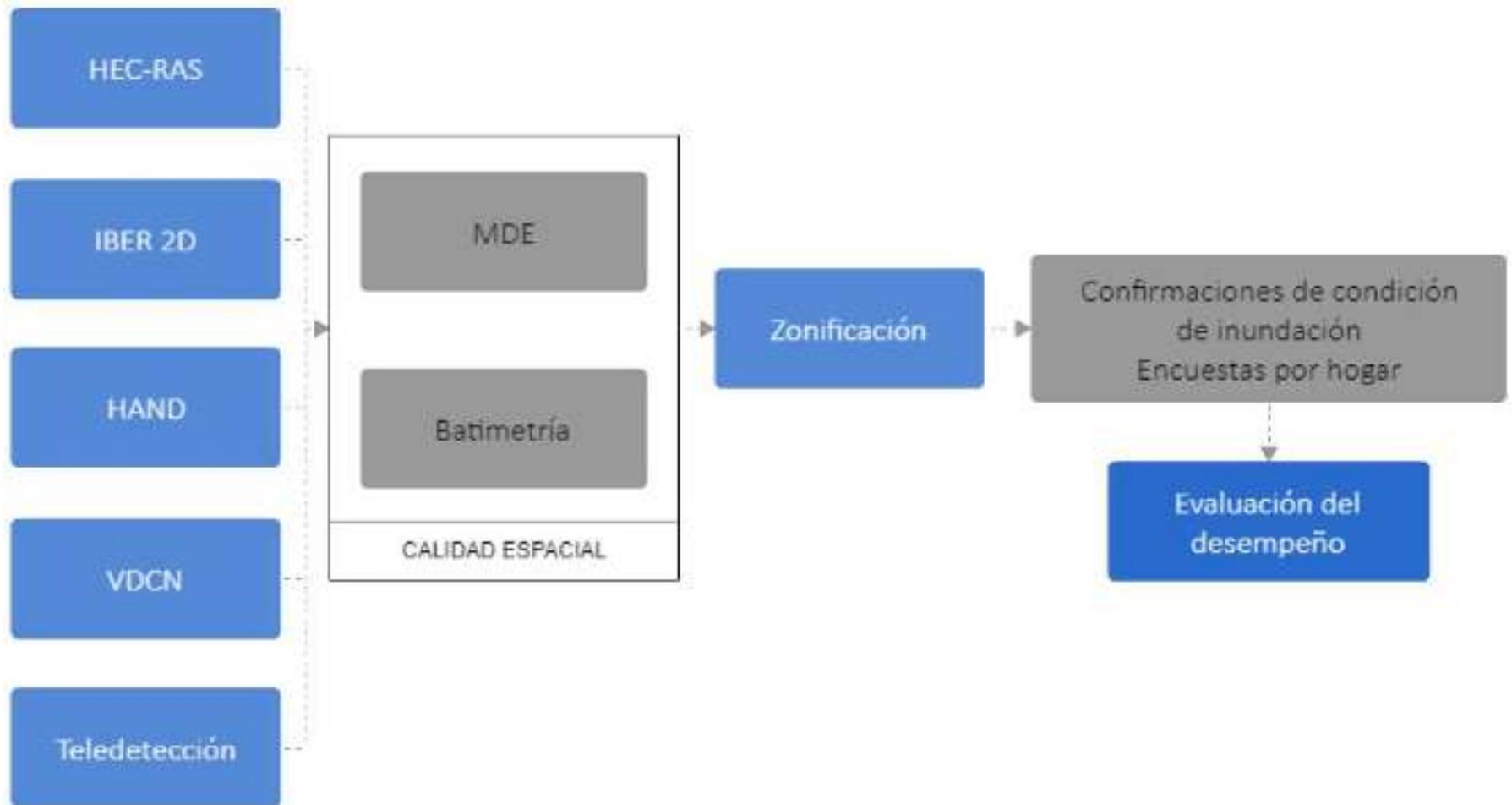


## 2.3. Descriptores morfométricos derivados de MDE

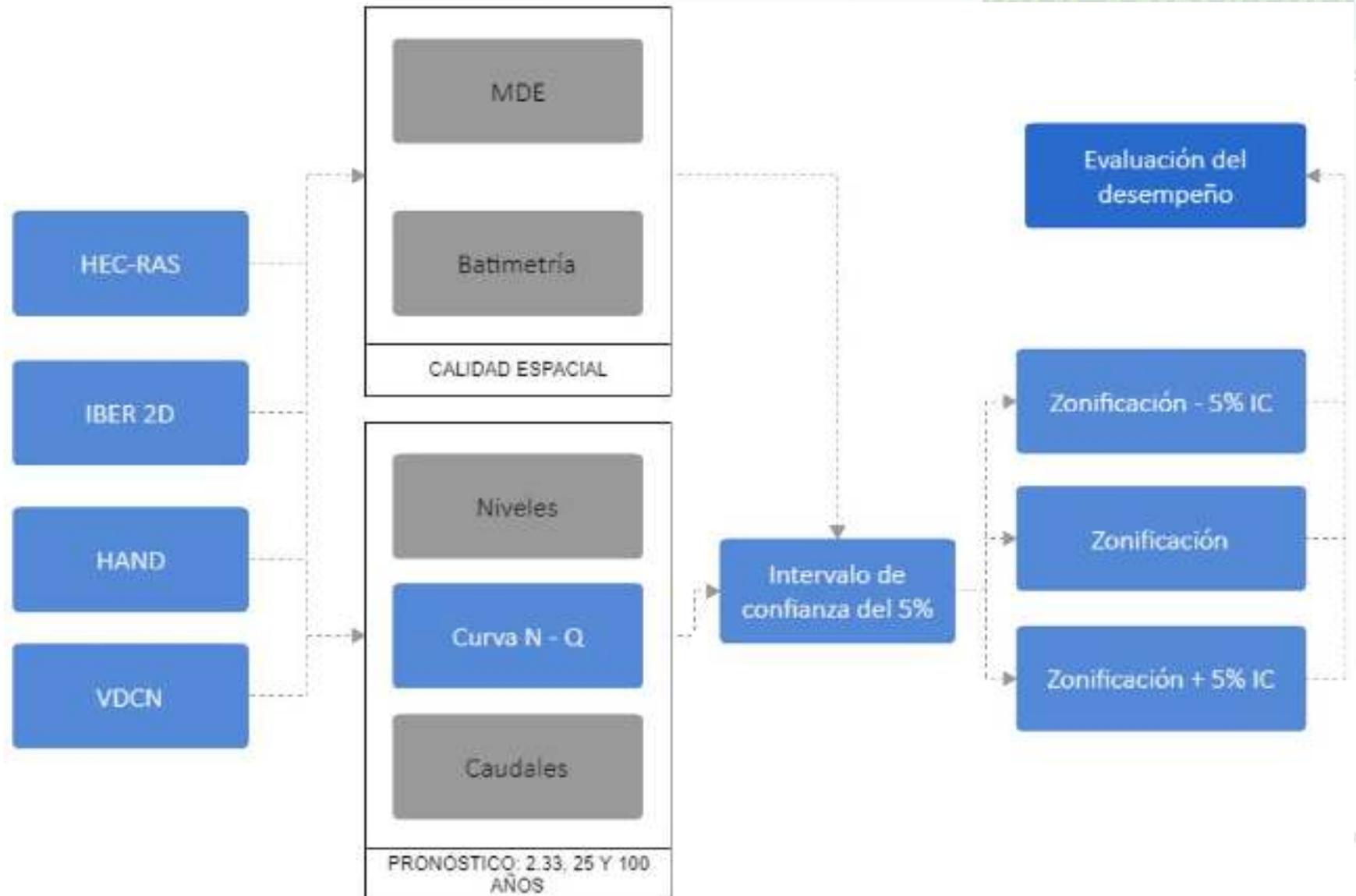


Derivar una red de drenaje de un MDE todavía es tema de investigación.

## 2.4. Incertidumbre – Evento



## 2.4. Incertidumbre – Pronóstico



### 3. Casos de estudio



“Diseño Metodológico para la Evaluación del Riesgo por Inundación a Nivel Local con Información Escasa”, financiada por el Fondo Nacional de Financiamiento para la Ciencia, la Tecnología y la Innovación Francisco José de Caldas de Colciencias, ejecutada por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, y la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. Los casos seleccionados coinciden en que están localizados en áreas propensas a inundaciones fluviales lentas, con registros del evento 2010-2011 y presentan información escasa y/o de baja calidad (Rodríguez-Gaviria, 2016).

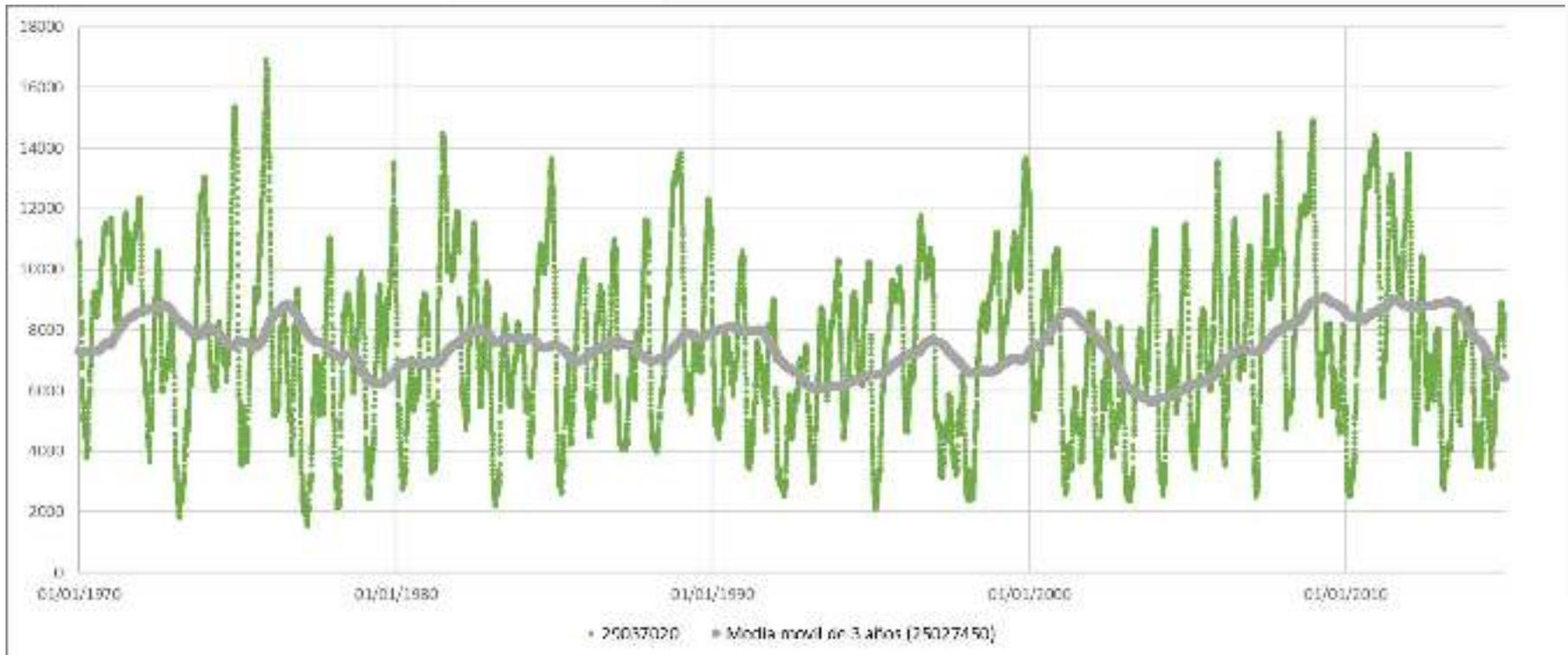


### 3.1. Plato - Magdalena (Río Magdalena)



# 3.1. Plato - Magdalena (Río Magdalena)

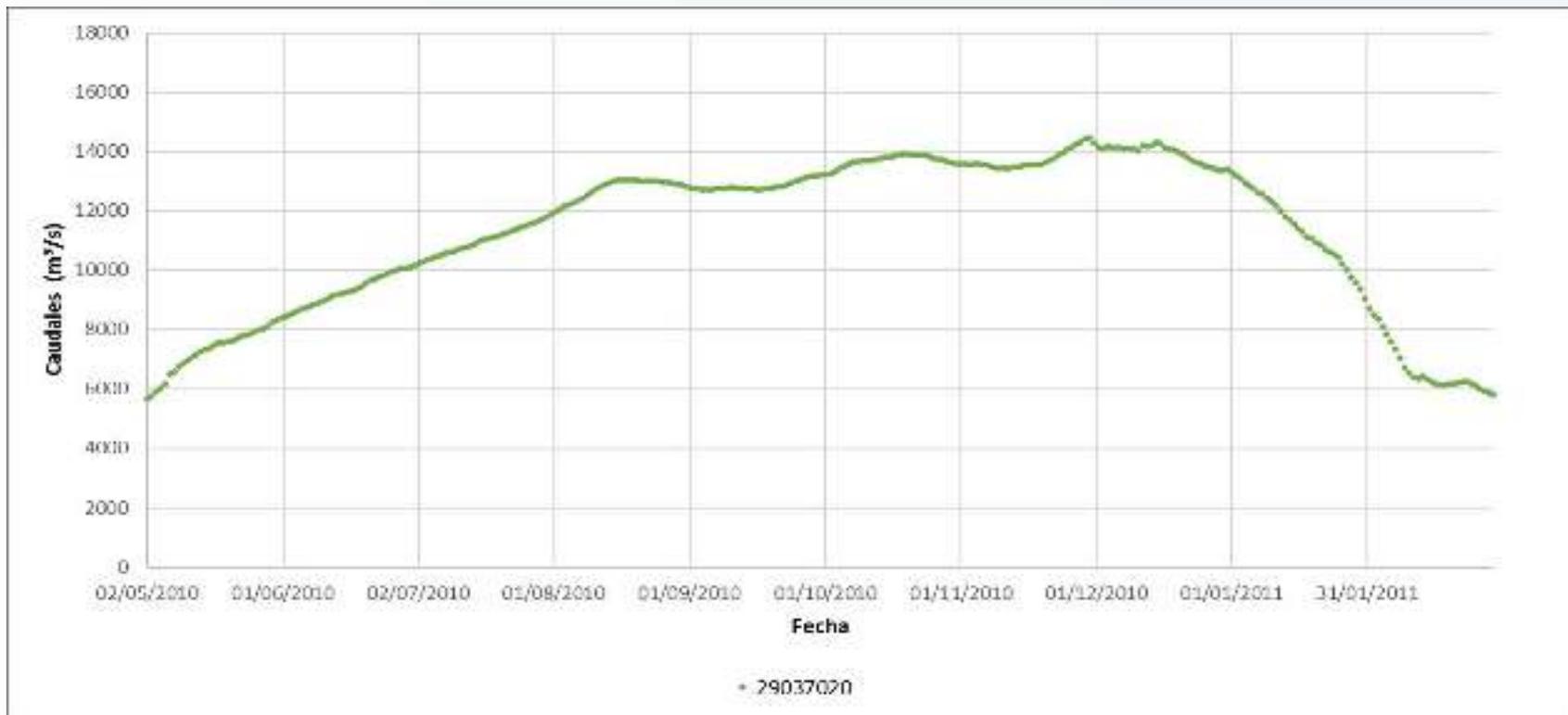
## Niveles y caudales:



# 3.1. Plato - Magdalena (Río Magdalena)



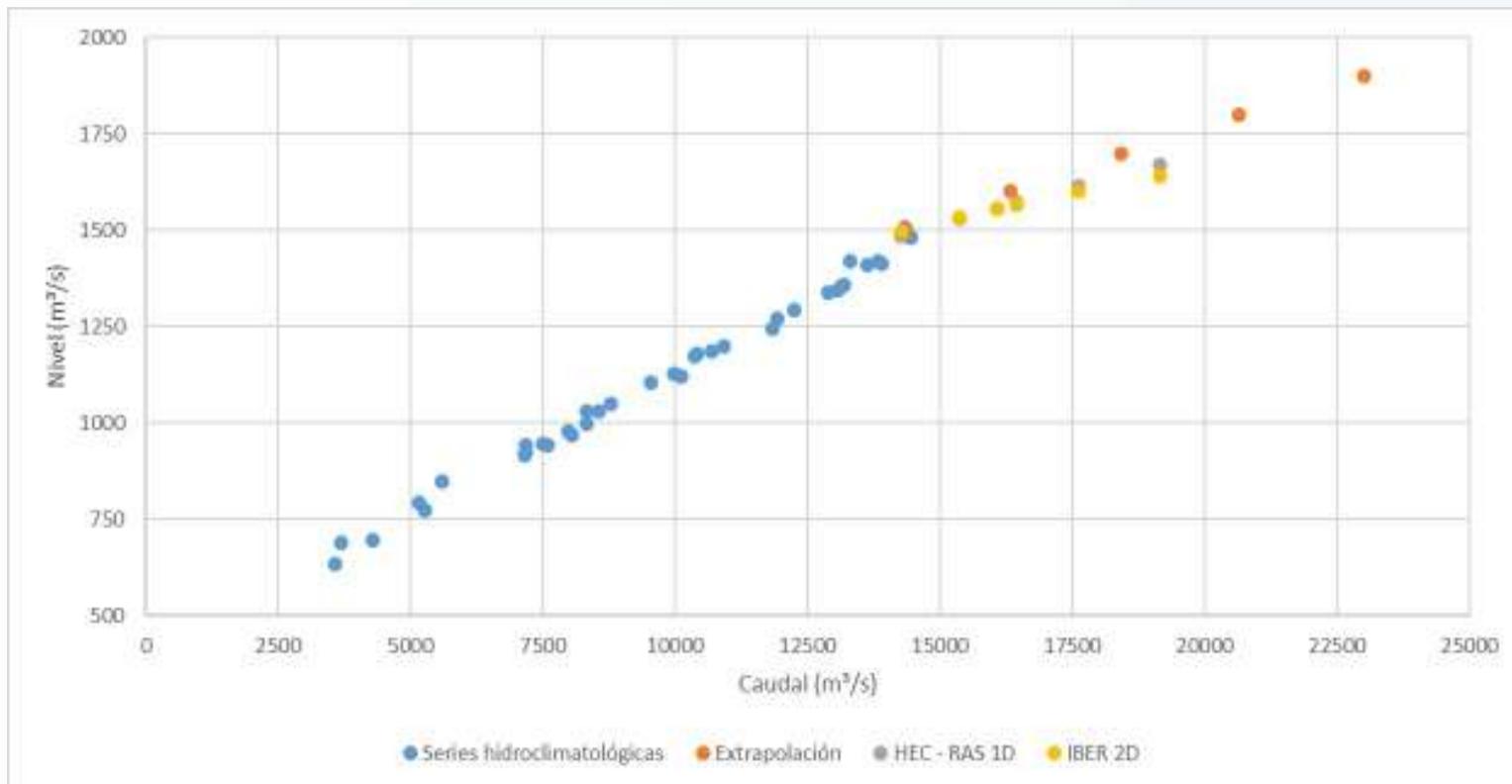
## Evento 2010-2011:



# 3.1. Plato - Magdalena (Río Magdalena)



## Curva N - Q extrapolada:



## 3.1. Plato - Magdalena (Río Magdalena)



**Pronóstico:**

PERIODO DE RETORNO (años)	FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN GUMBEL	
	CAUDAL (m <sup>3</sup> /s)	INTERVALO C. +- (m <sup>3</sup> /s)
2.33	11131	391
5	12618	527
10	13829	815
25	15359	1099
50	16494	1315
100	17621	1532

PERIODO DE RETORNO (años)	NIVEL	INTERVALO CONFIANZA
	(cms)	+ - (cms)
2.33	1212	31
5	1332	42
10	1428	62
25	1539	73
50	1610	77
100	1670	77

## 3.2. Plato - Magdalena (Río Magdalena)



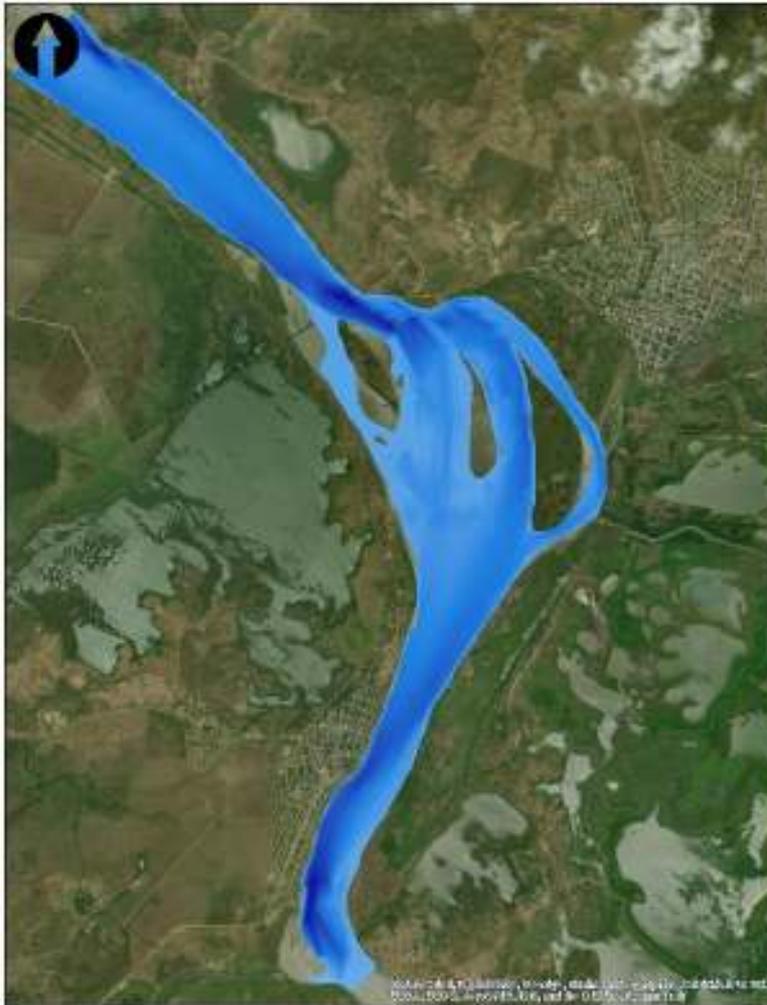
### Modelos digitales de elevación:

- SRTM:
  - Resolución horizontal 30 m
  - Resolución vertical 1 m
  - Precisión vertical absoluta  $< 16$  m – relativa  $< 10$  m
- ALOS PALSAR:
  - Resolución horizontal 12.5 m
  - Resolución vertical 1 m
  - Precisión vertical absoluta  $< 9$  m – relativa  $< 5$  m
- LiDAR:
  - Resolución horizontal 0.5 m
  - Resolución vertical 0.01 m
  - Precisión vertical relativa  $< 0.1$  m



### 3.3. Plato - Magdalena (Río Magdalena)

Geometría



Rugosidad





## 4.1. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011

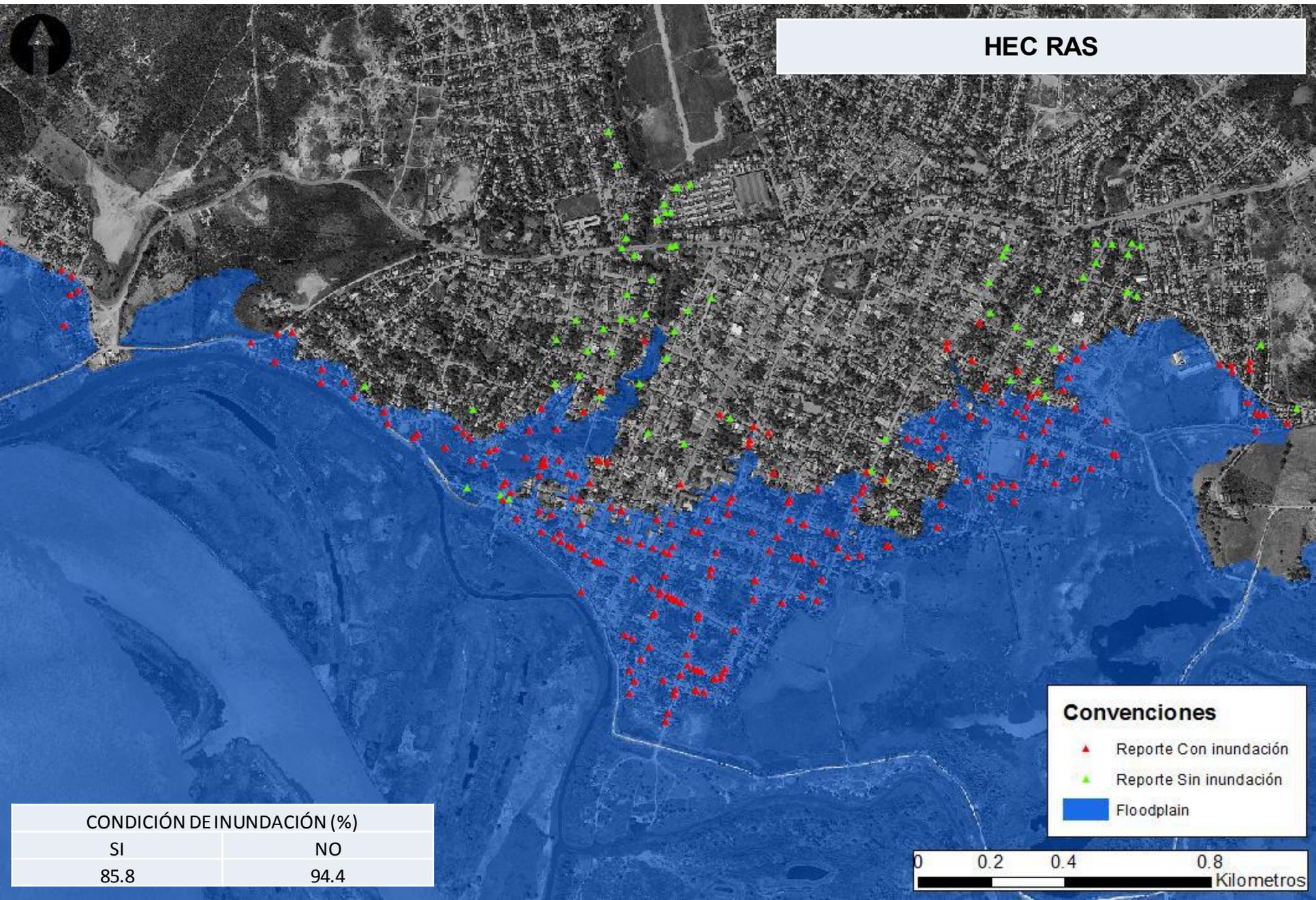


### Zonificaciones:

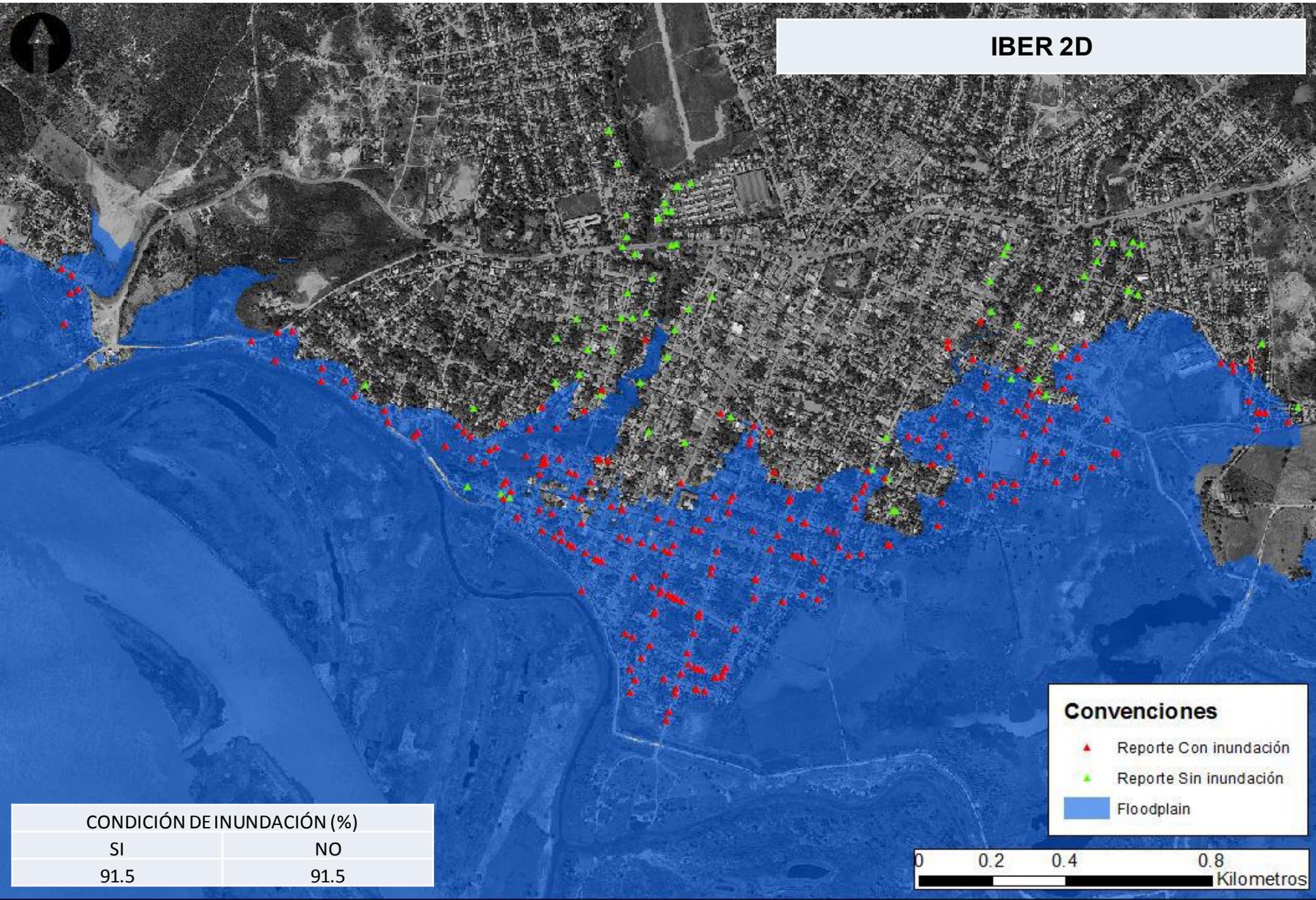
- HEC-RAS:
  - Batimetría + LiDAR
- IBER 2D:
  - Batimetría + LiDAR
- HAND:
  - LiDAR
  - ALOS PALSAR
  - SRTM



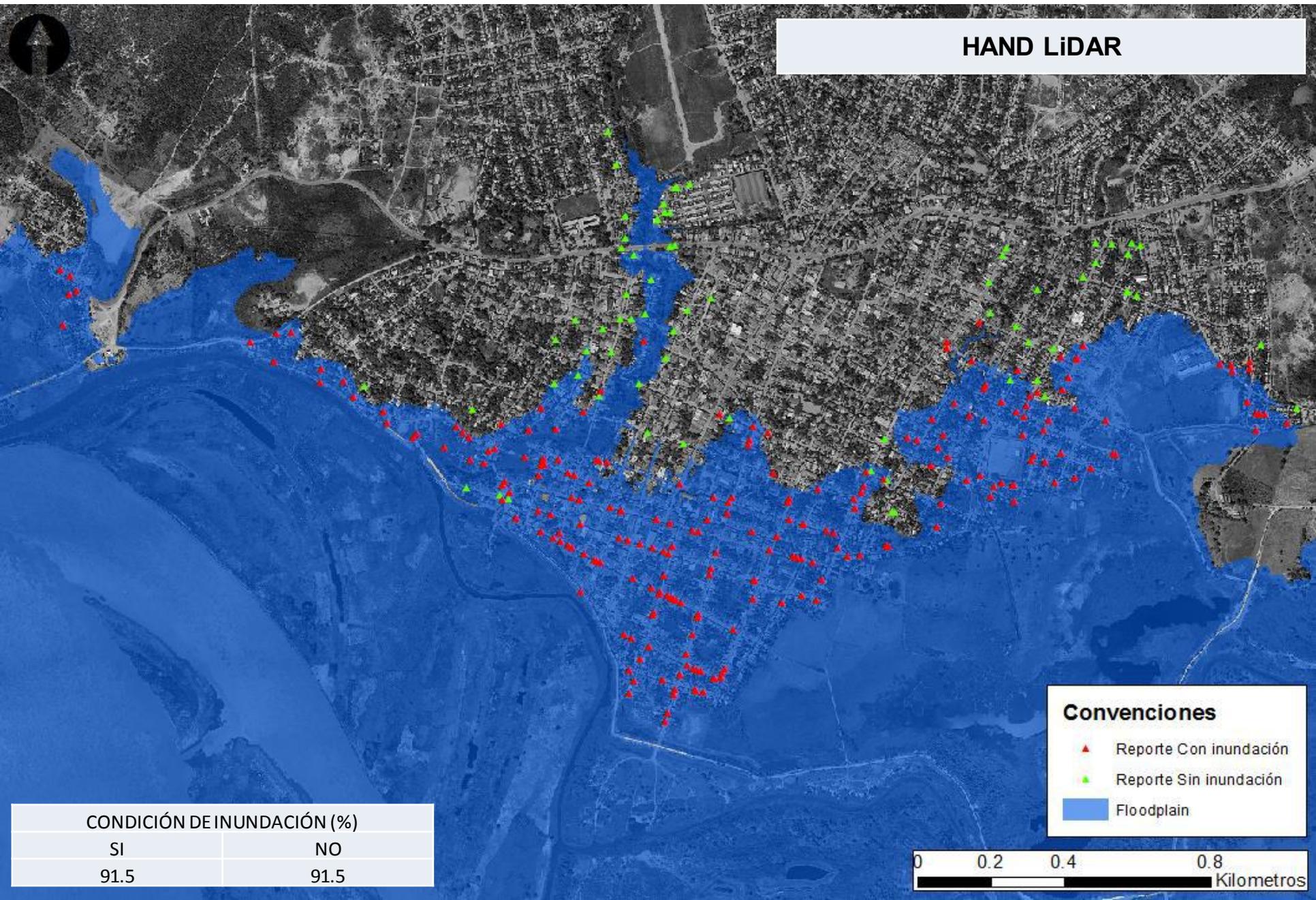
# 4.1. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011



# 4.1. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011

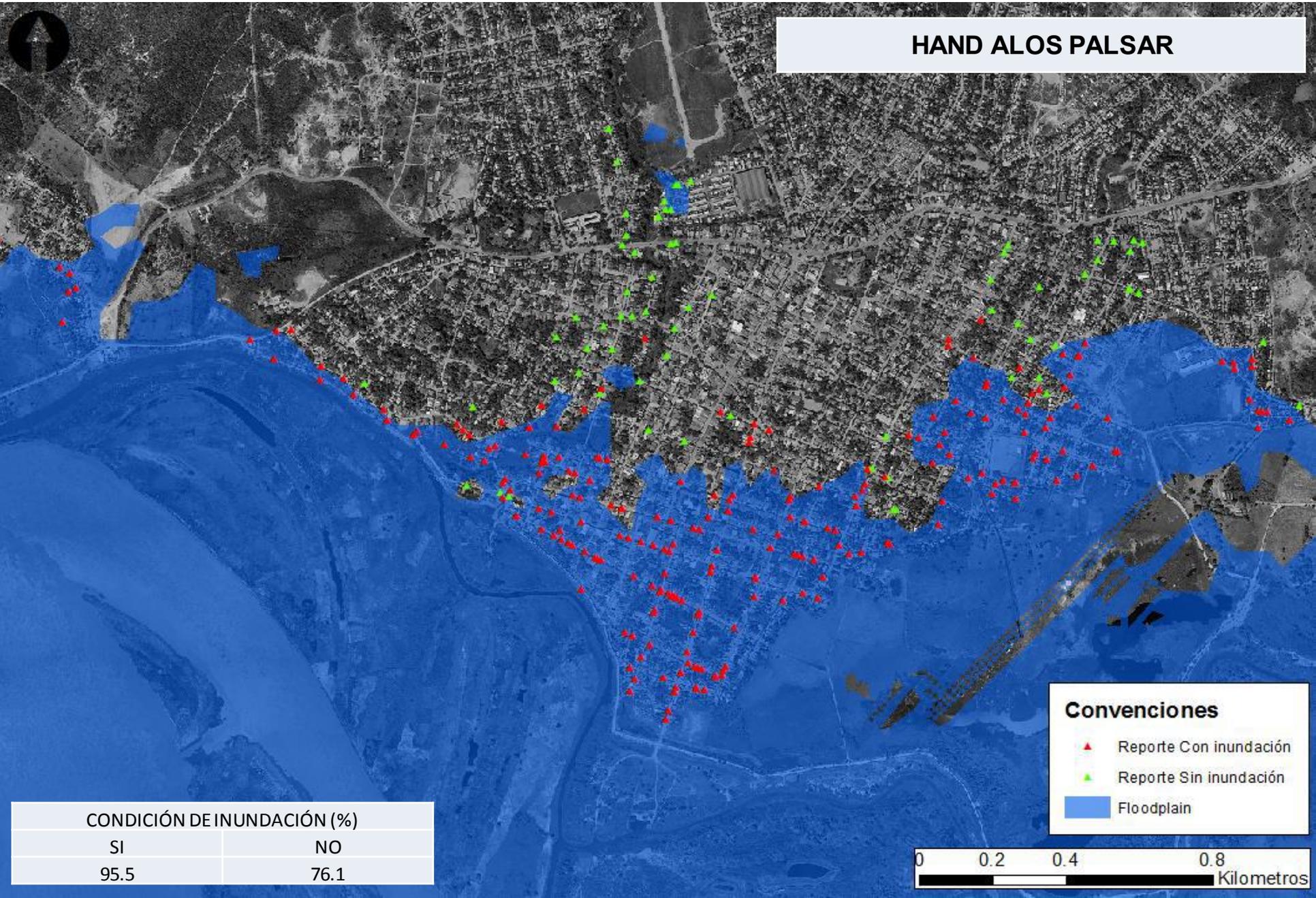


# 4.1. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011



# 4.1. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011

HAND ALOS PALSAR



CONDICIÓN DE INUNDACIÓN (%)

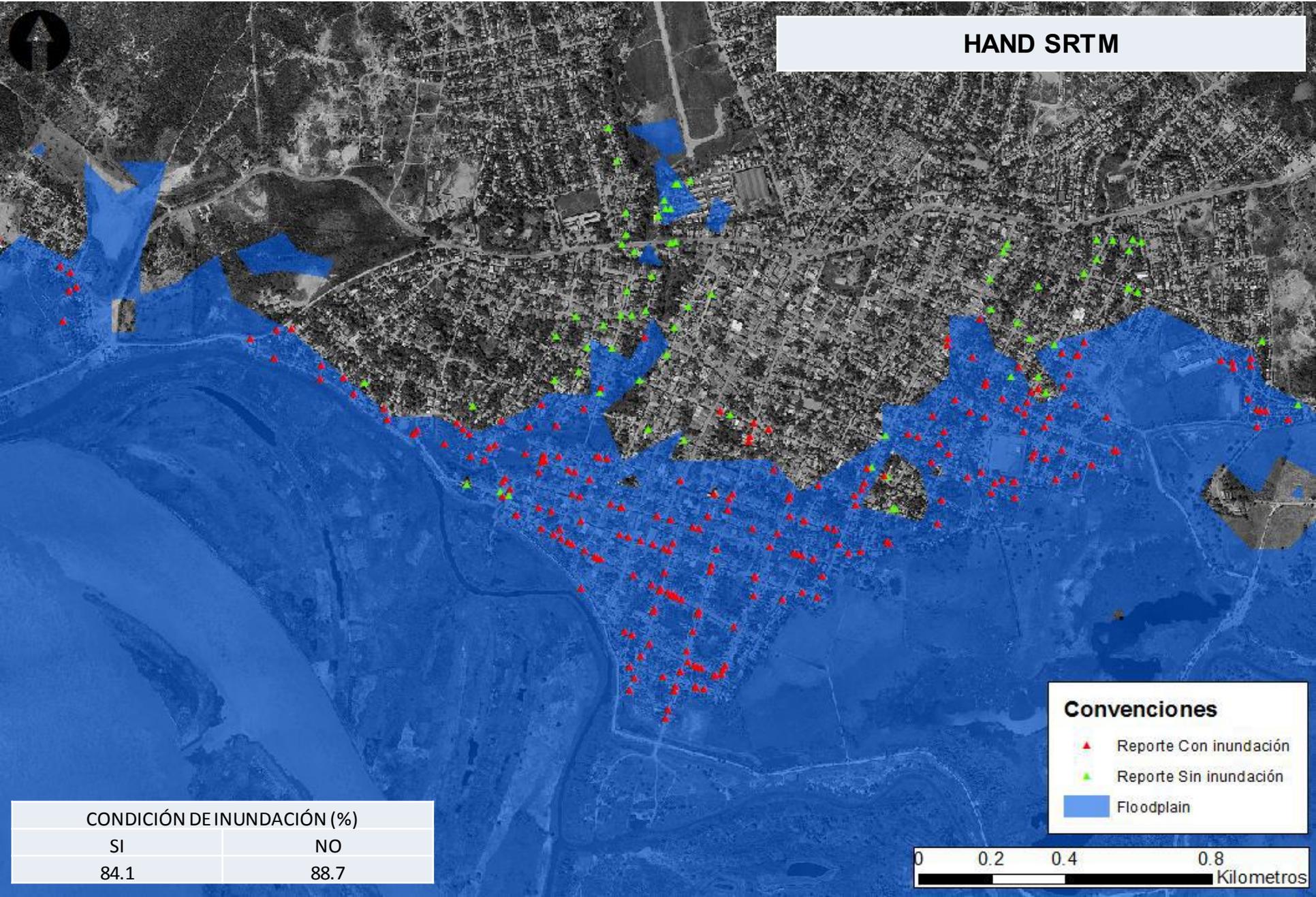
SI	NO
95.5	76.1

**Convenciones**

- ▲ Reporte Con inundación
- ▲ Reporte Sin inundación
- Floodplain

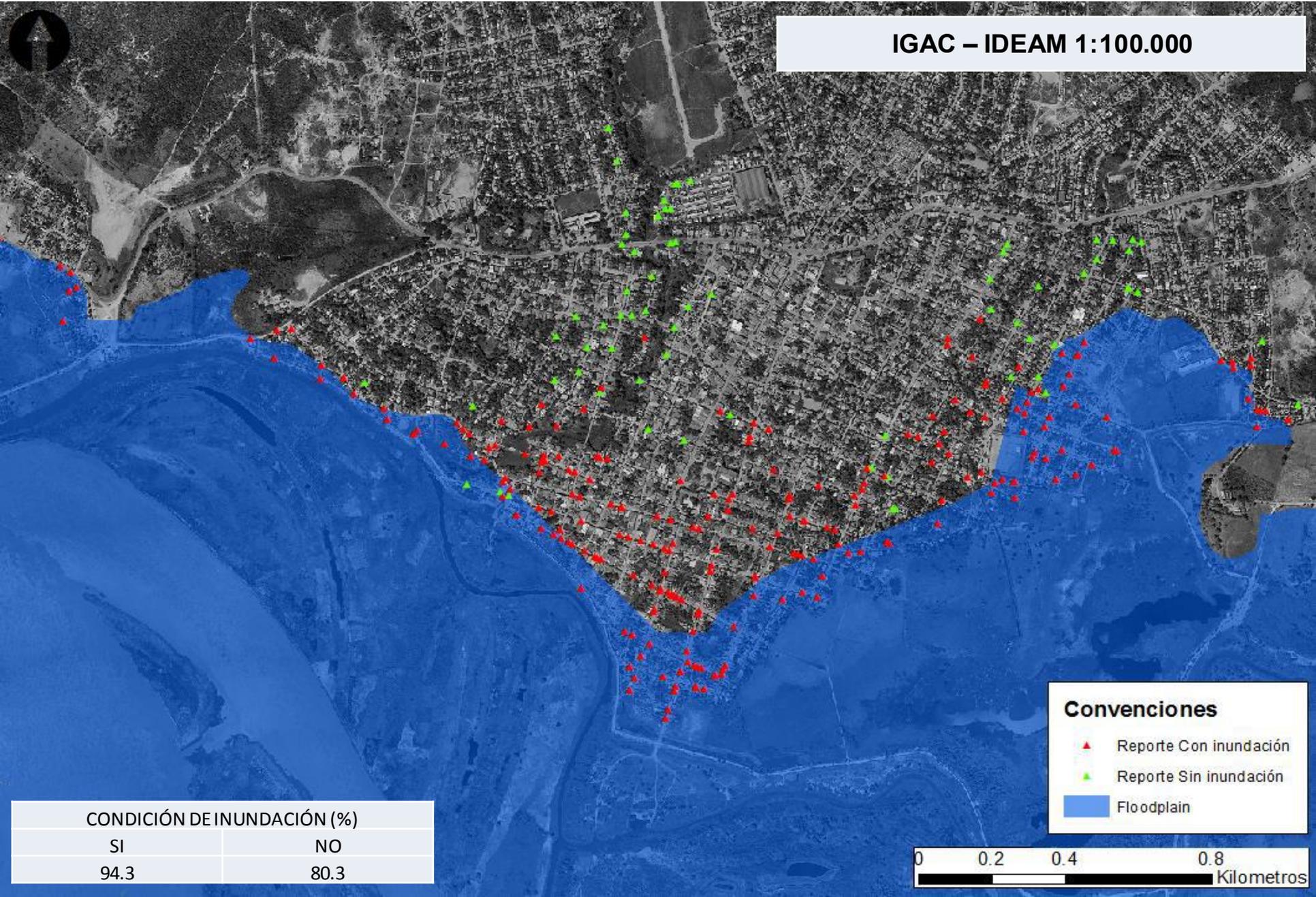
0 0.2 0.4 0.8 Kilometros

# 4.1. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011



# 4.1. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011

IGAC – IDEAM 1:100.000



## Convenciones

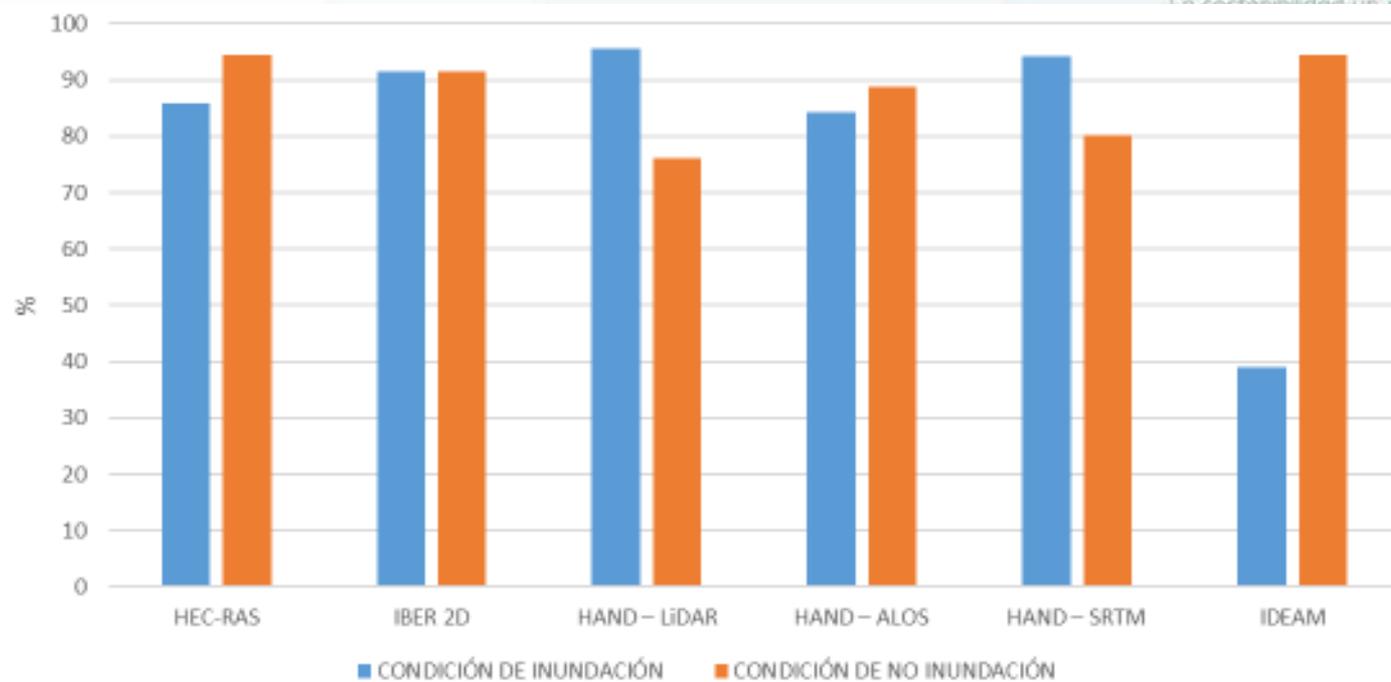
- ▲ Reporte Con inundación
- ▲ Reporte Sin inundación
- Floodplain

## CONDICIÓN DE INUNDACIÓN (%)

SI	NO
94.3	80.3

0 0.2 0.4 0.8 Kilometros

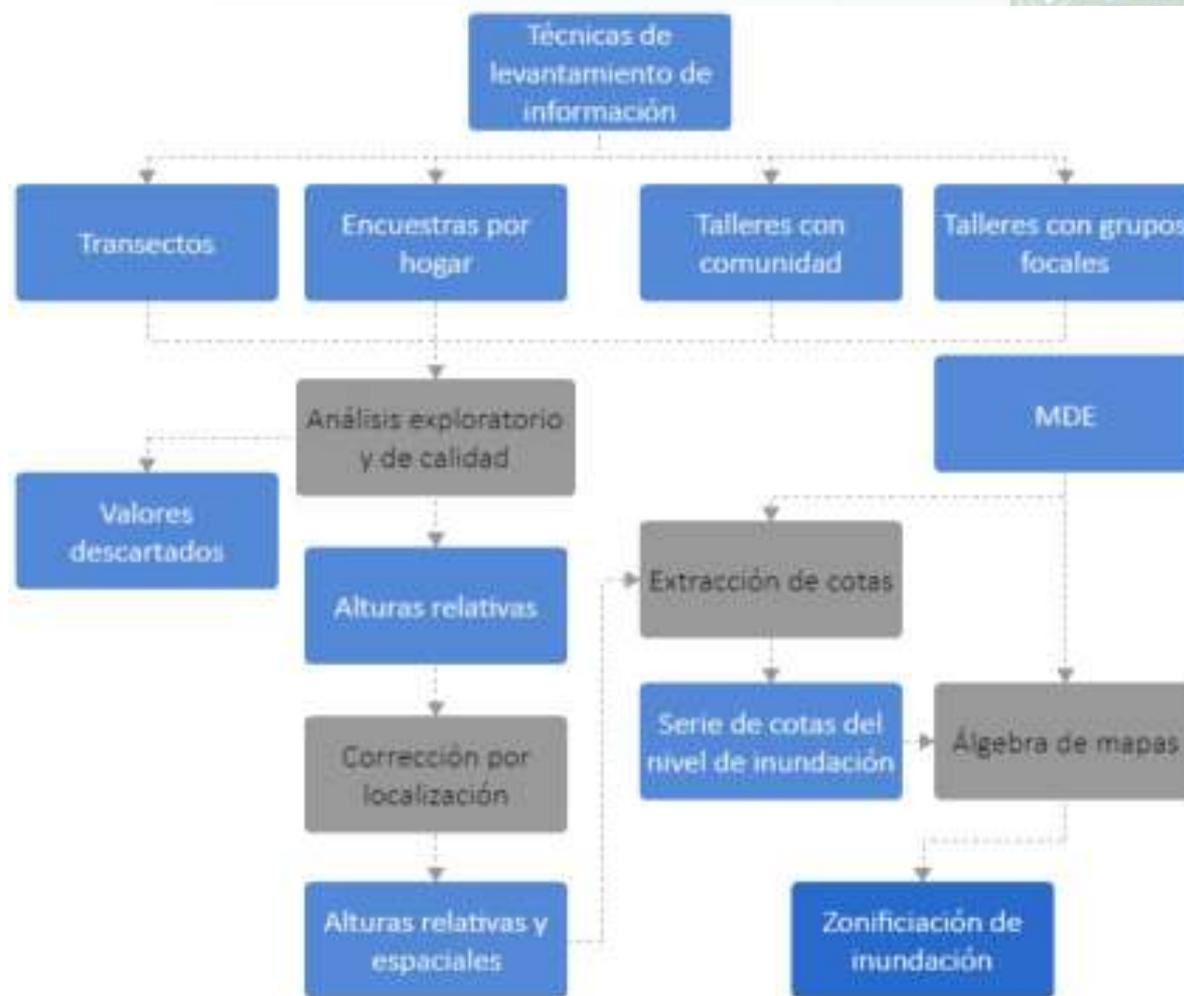
## 4.1. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011



DESEMPEÑO	90.1	91.5	85.8	86.4	87.3	66.7
-----------	------	------	------	------	------	------



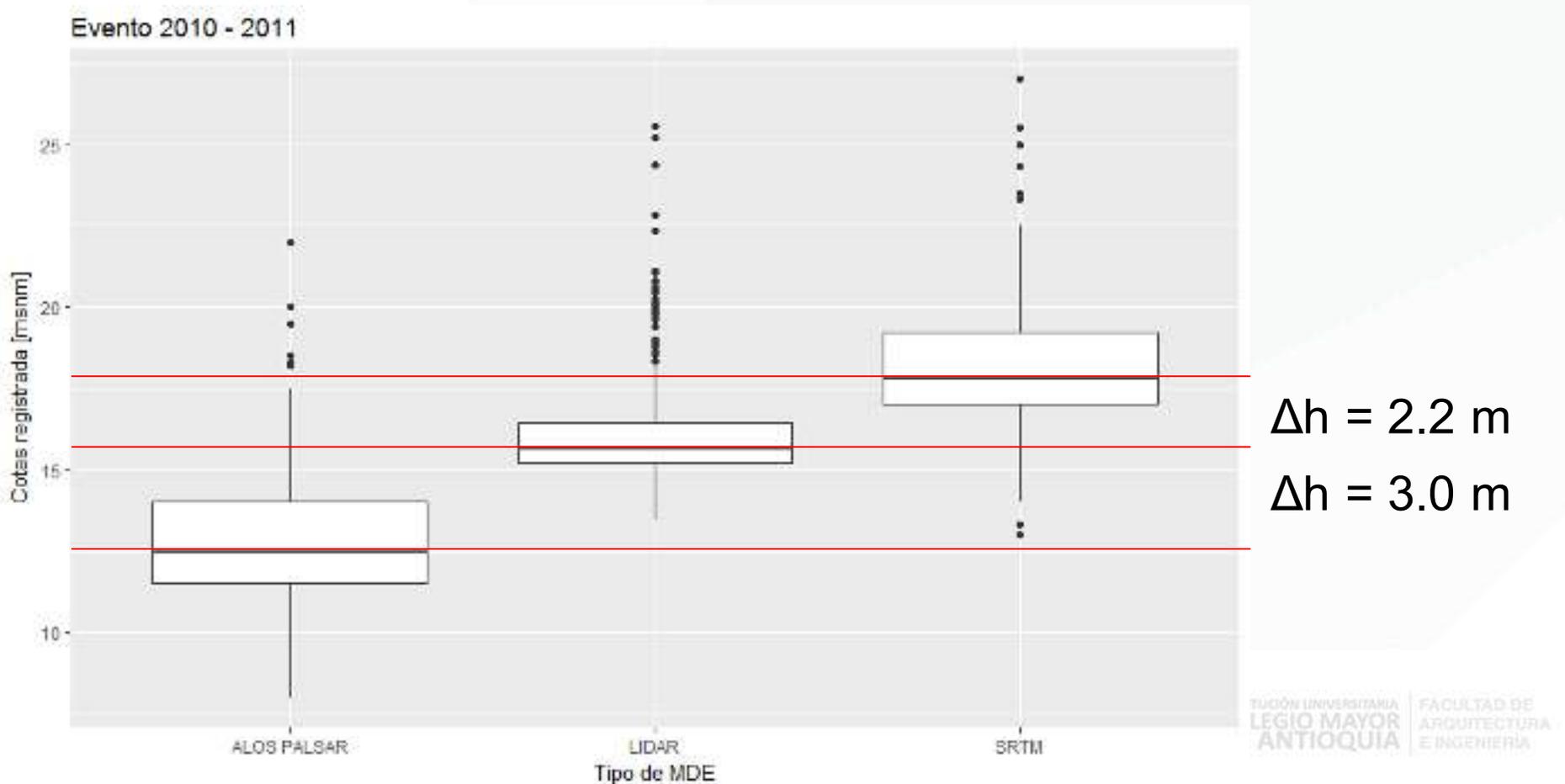
## 4.A. Información base – Conocimiento local



## 4.A. Plato - Magdalena (Río Magdalena)



### Conocimiento local:

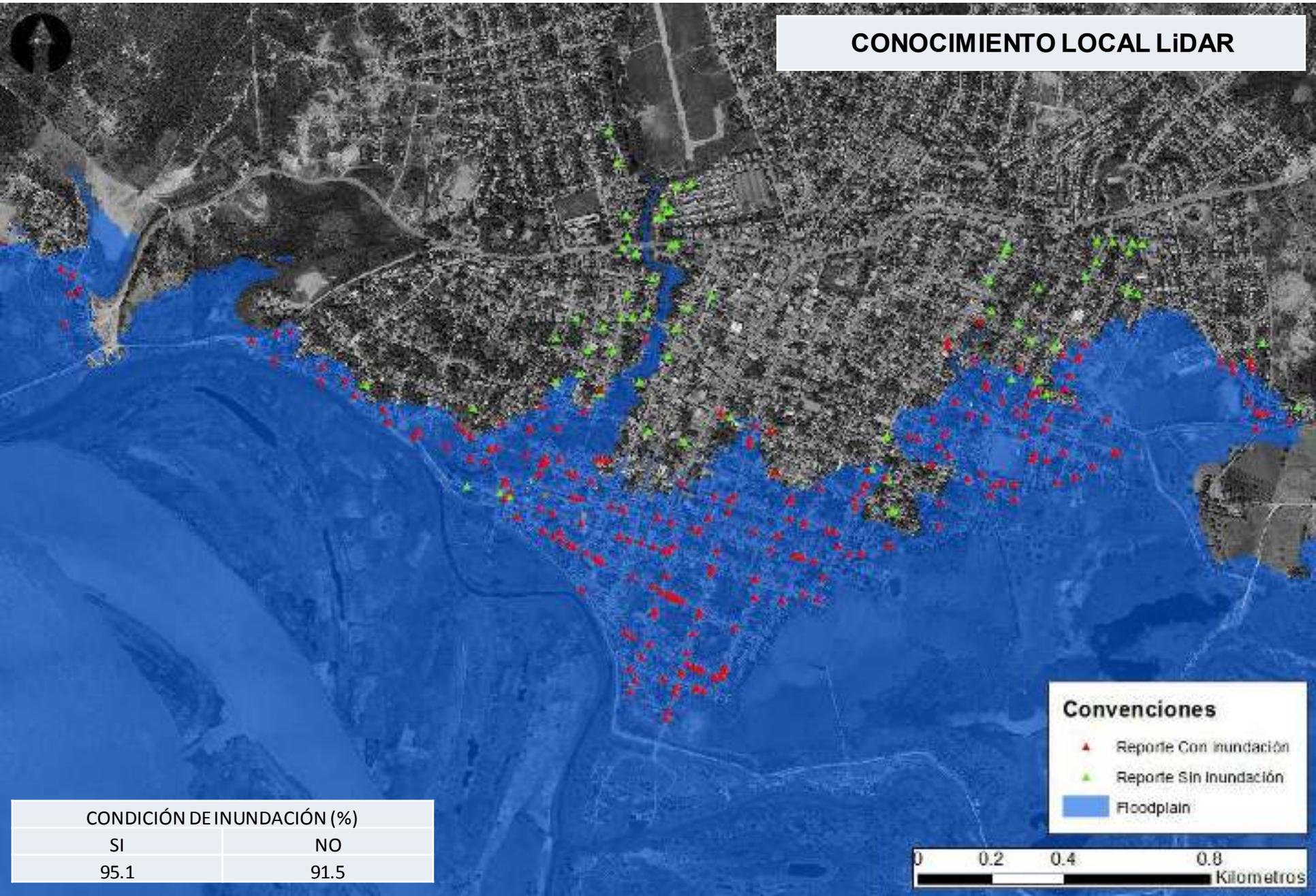


## 4.A. Información base – Conocimiento local



# 4.A. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011

CONOCIMIENTO LOCAL LIDAR



CONDICIÓN DE INUNDACIÓN (%)

SI	NO
95.1	91.5

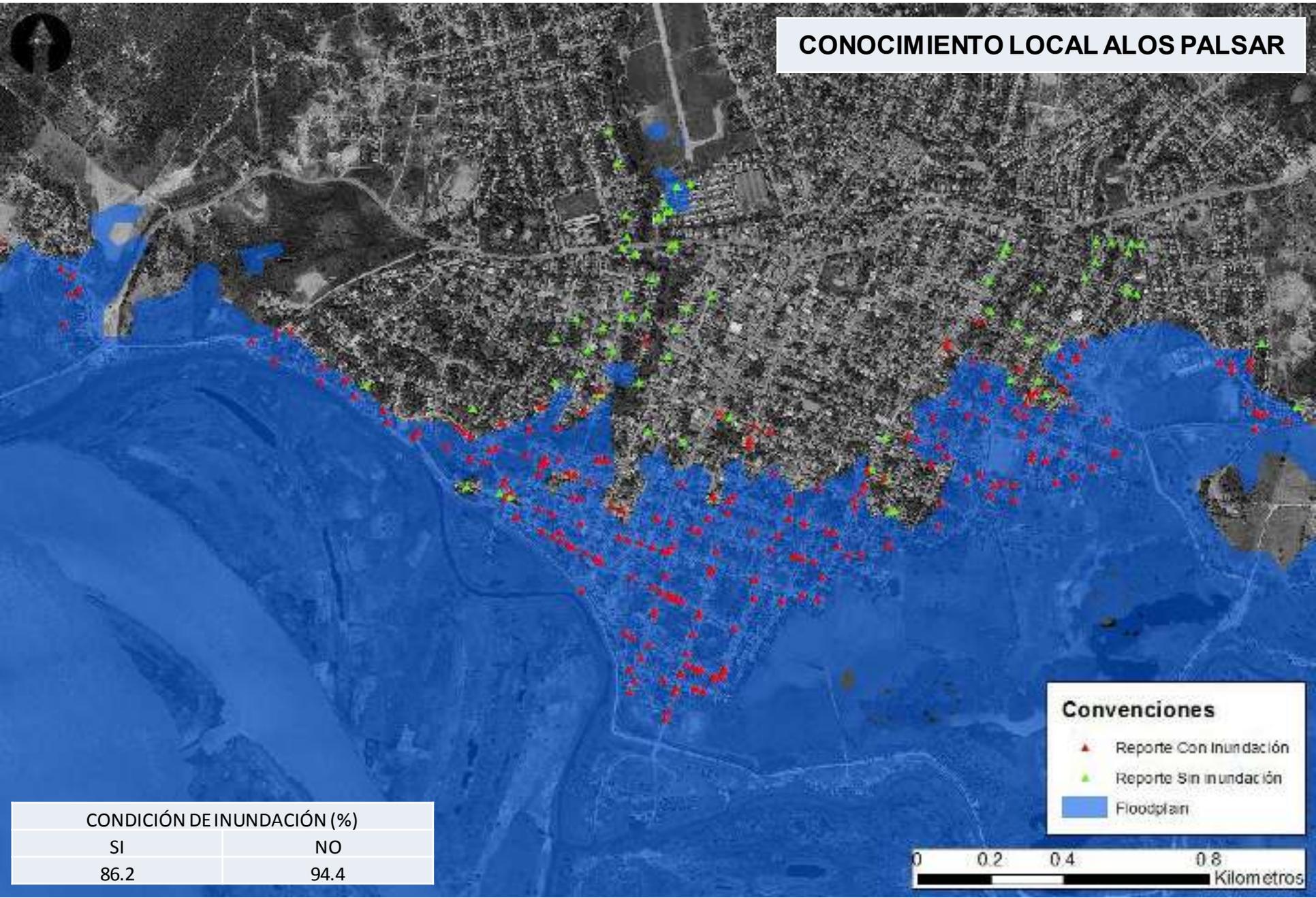
Convenciones

- ▲ Reporte Con inundación
- ▲ Reporte Sin Inundación
- Floodplain

0 0.2 0.4 0.8  
Kilometros

# 4.A. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011

CONOCIMIENTO LOCAL A LOS PALSAR



CONDICIÓN DE INUNDACIÓN (%)

SI	NO
86.2	94.4

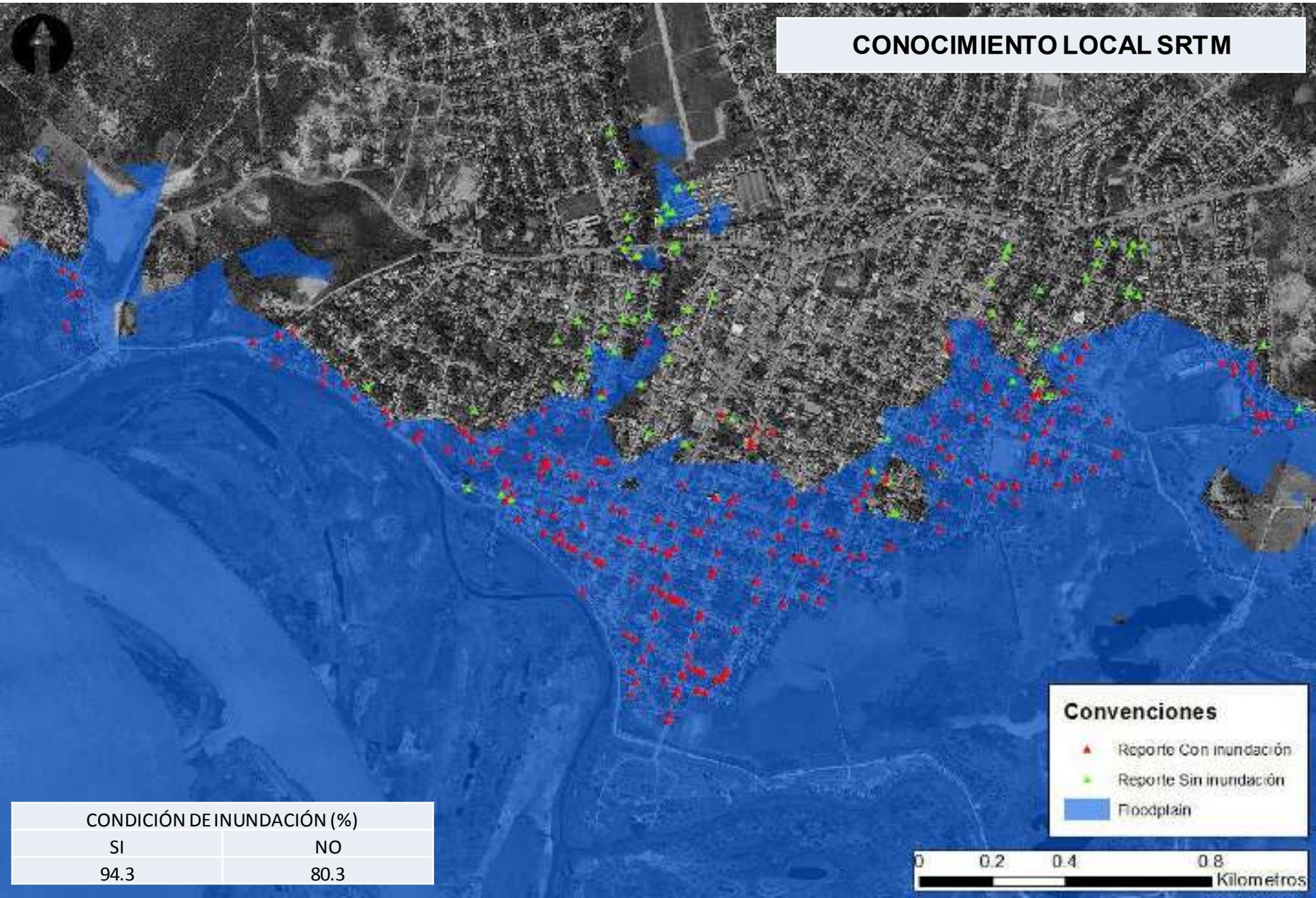
**Convenciones**

- ▲ Reporte Con Inundación
- ▲ Reporte Sin inundación
- Floodplain

0 0.2 0.4 0.8 Kilómetros

# 4.A. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011

CONOCIMIENTO LOCAL SRTM



CONDICIÓN DE INUNDACIÓN (%)

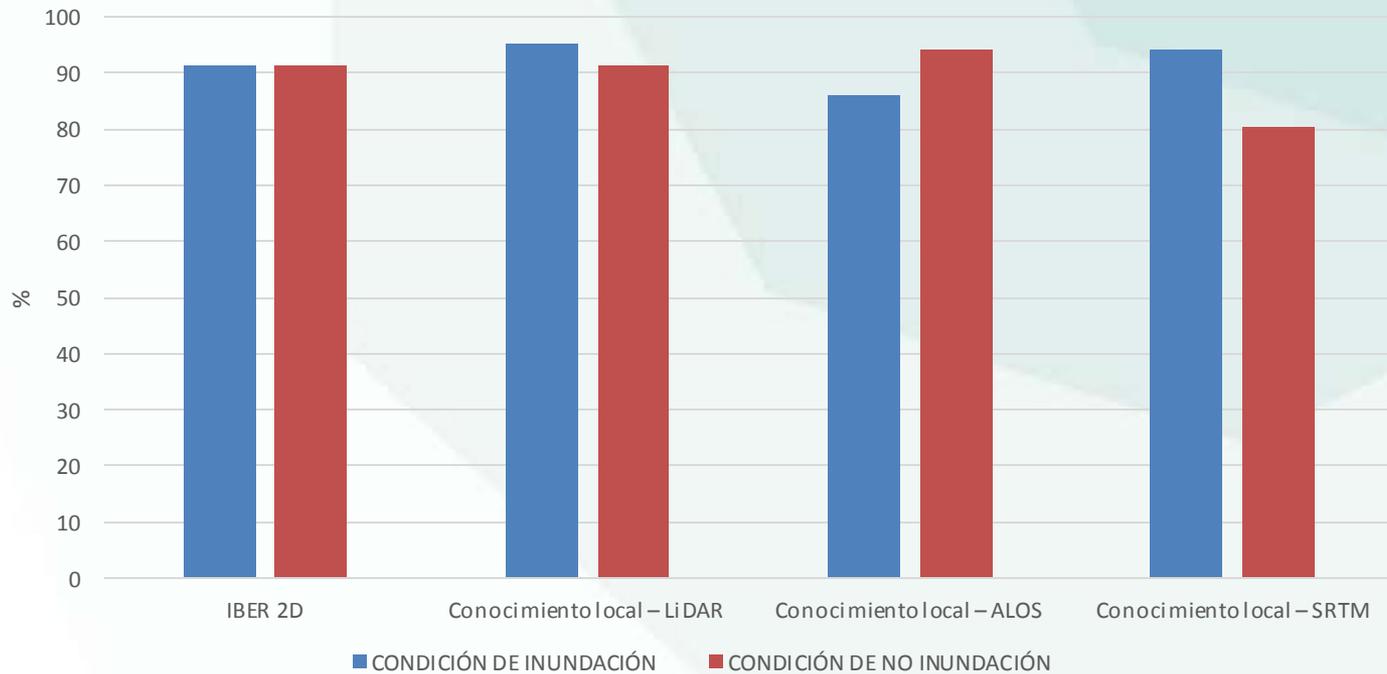
SI	NO
94.3	80.3

**Convenciones**

- ▲ Reporte Con inundación
- ▲ Reporte Sin inundación
- Floodplain

0 0.2 0.4 0.8  
Kilometros

# 4.A. Incertidumbre – Evento 2010 - 2011



DESEMPEÑO	91.5	93.3	90.3	87.3
-----------	------	------	------	------



## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 2.3 años



## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 2.3 años



IBER 2D

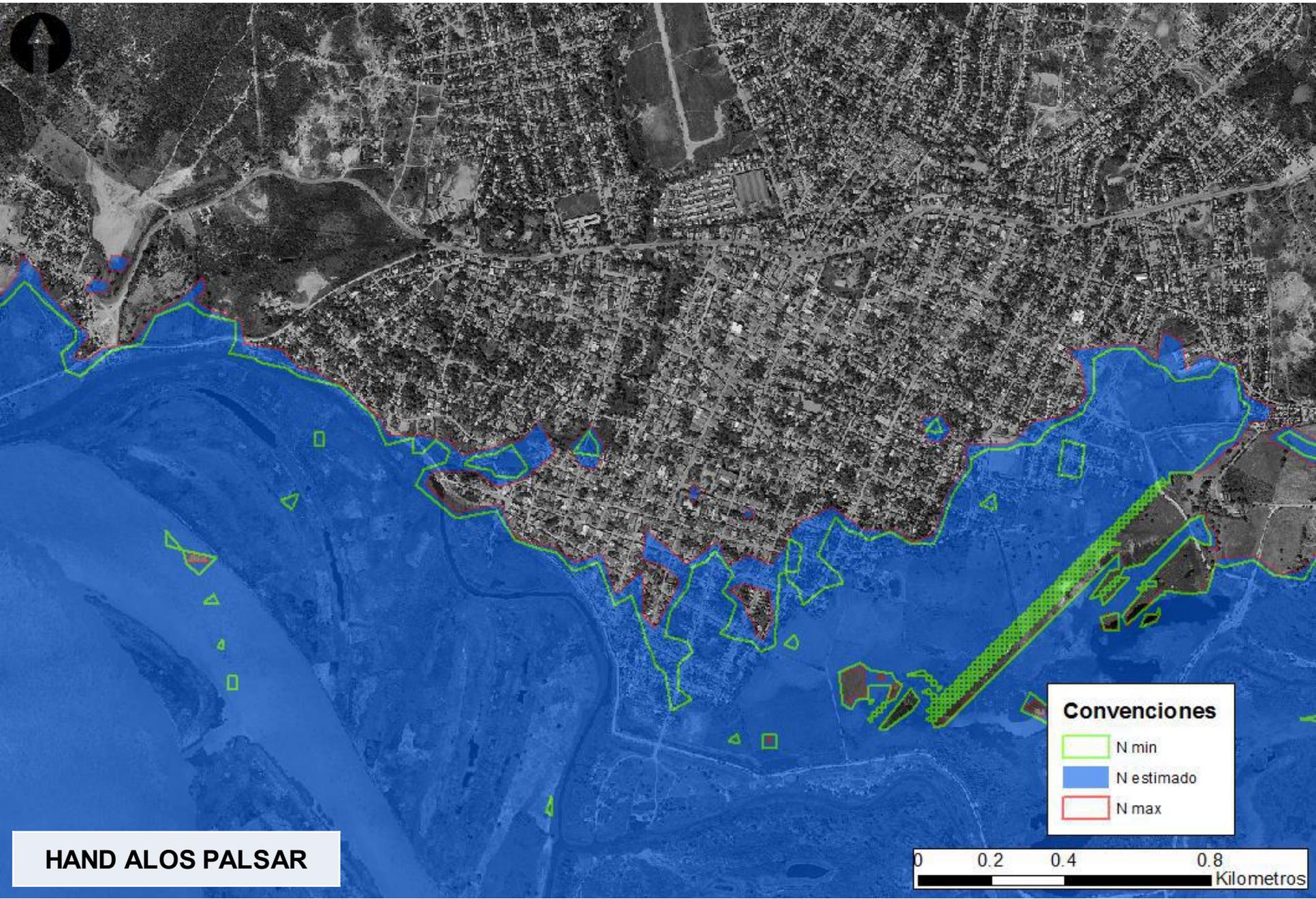
## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 2.3 años



## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 2.3 años



HAND ALOS PALSAR

## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 2.3 años



## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 25 años



HEC RAS

## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 25 años

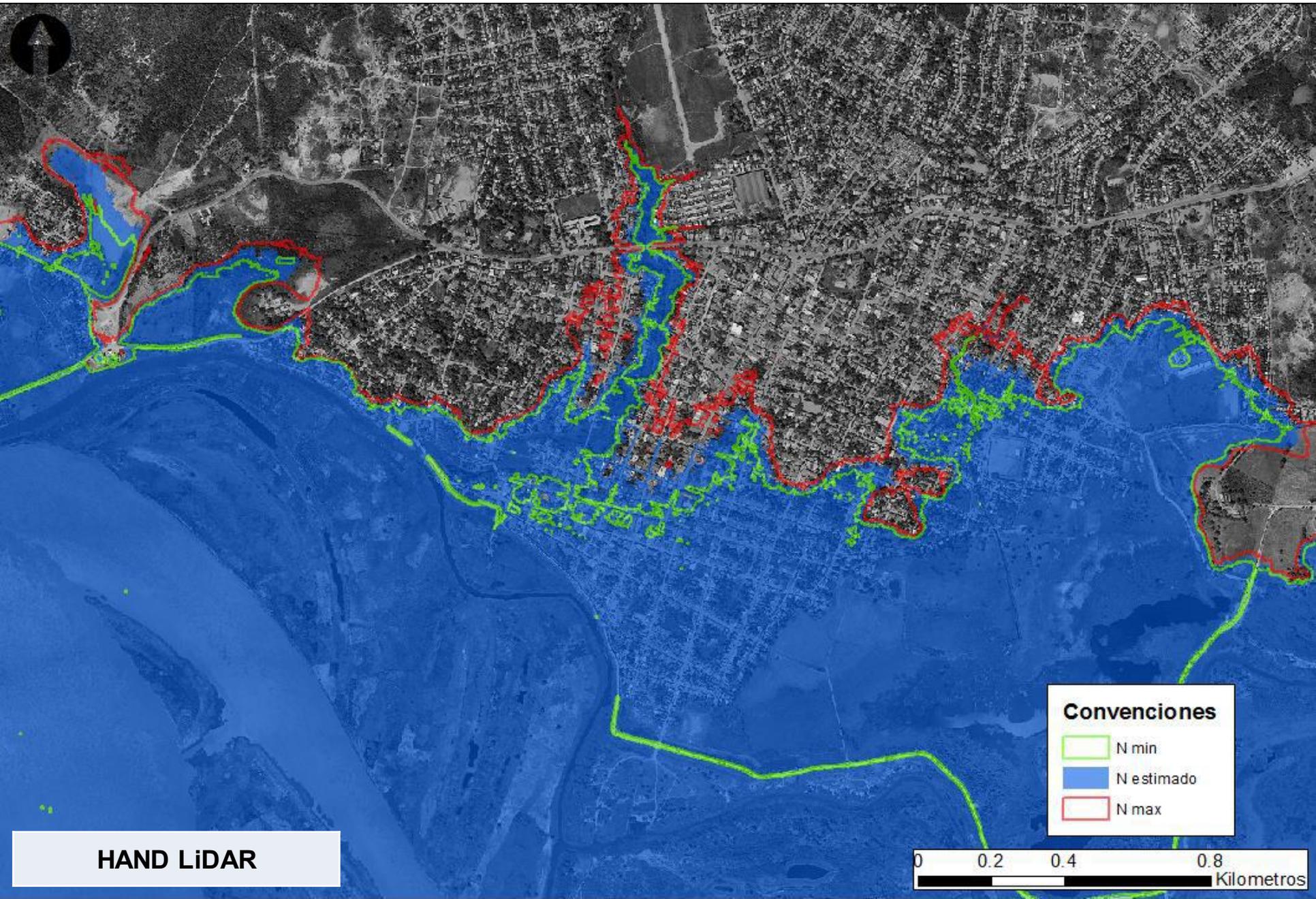


IBER 2D

0 0.2 0.4 0.8 Kilometros

## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

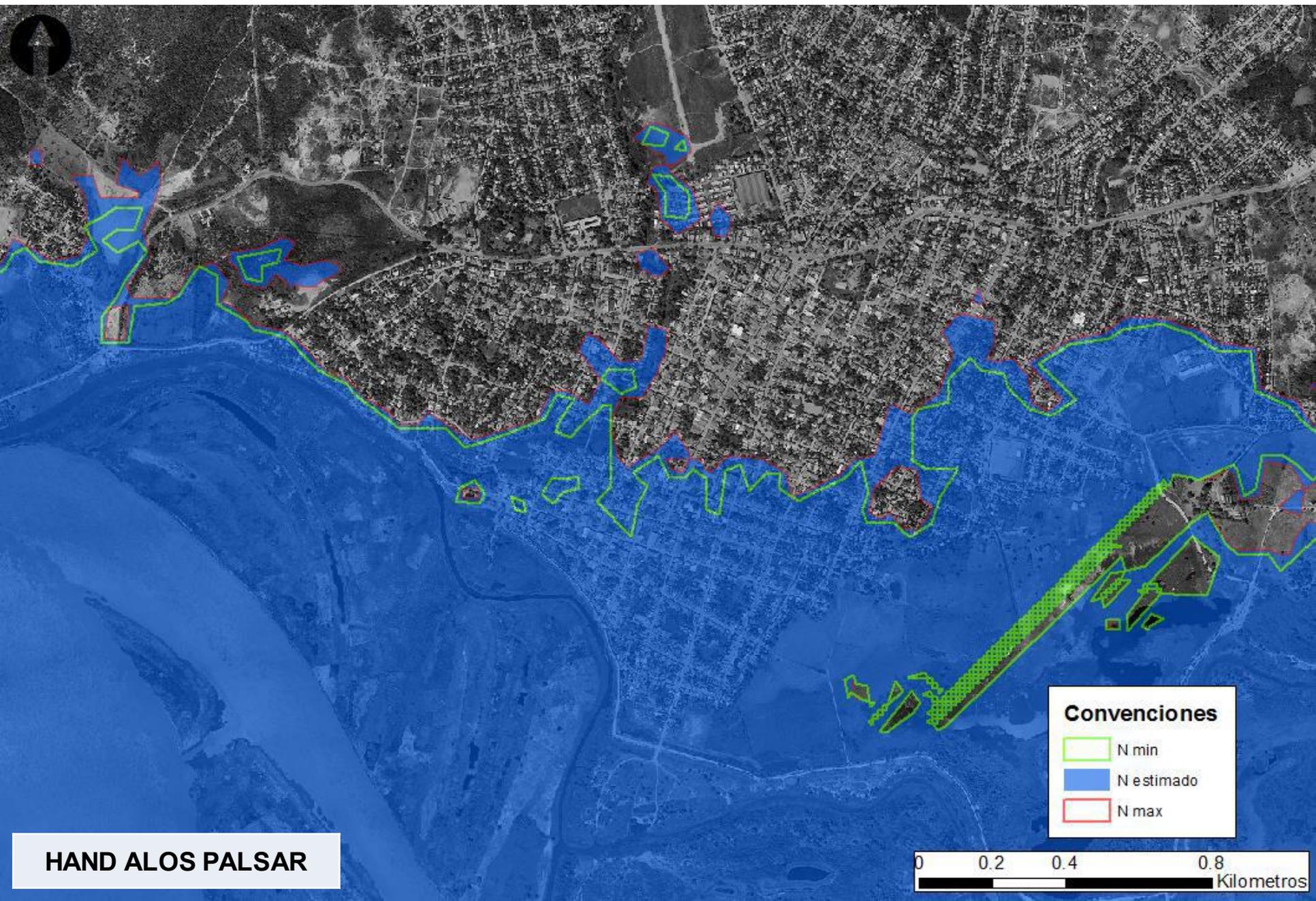
Tr 25 años



HAND LiDAR

## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 25 años

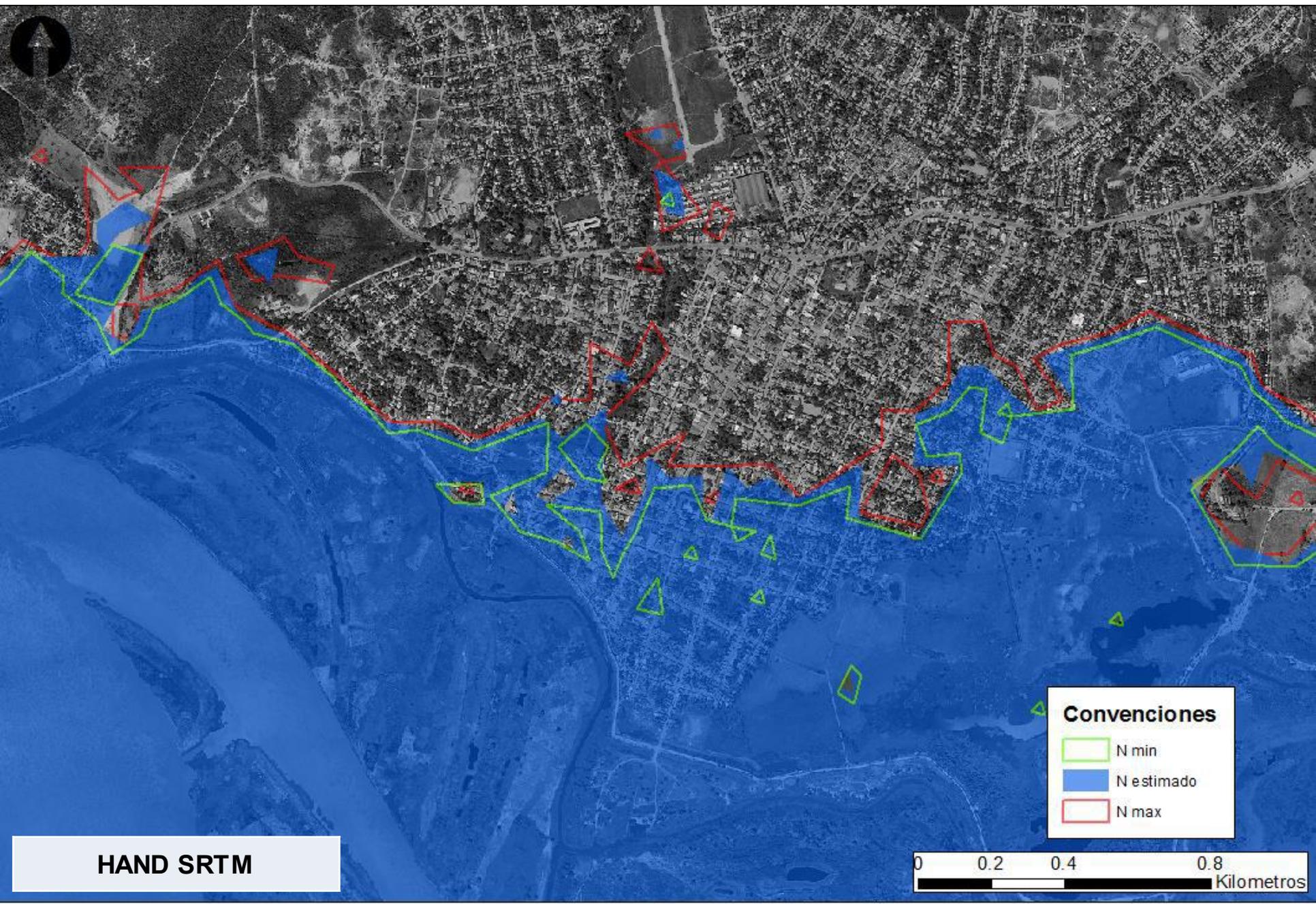


HAND ALOS PALSAR

0 0.2 0.4 0.8 Kilometros

## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 25 años



## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 100 años



## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

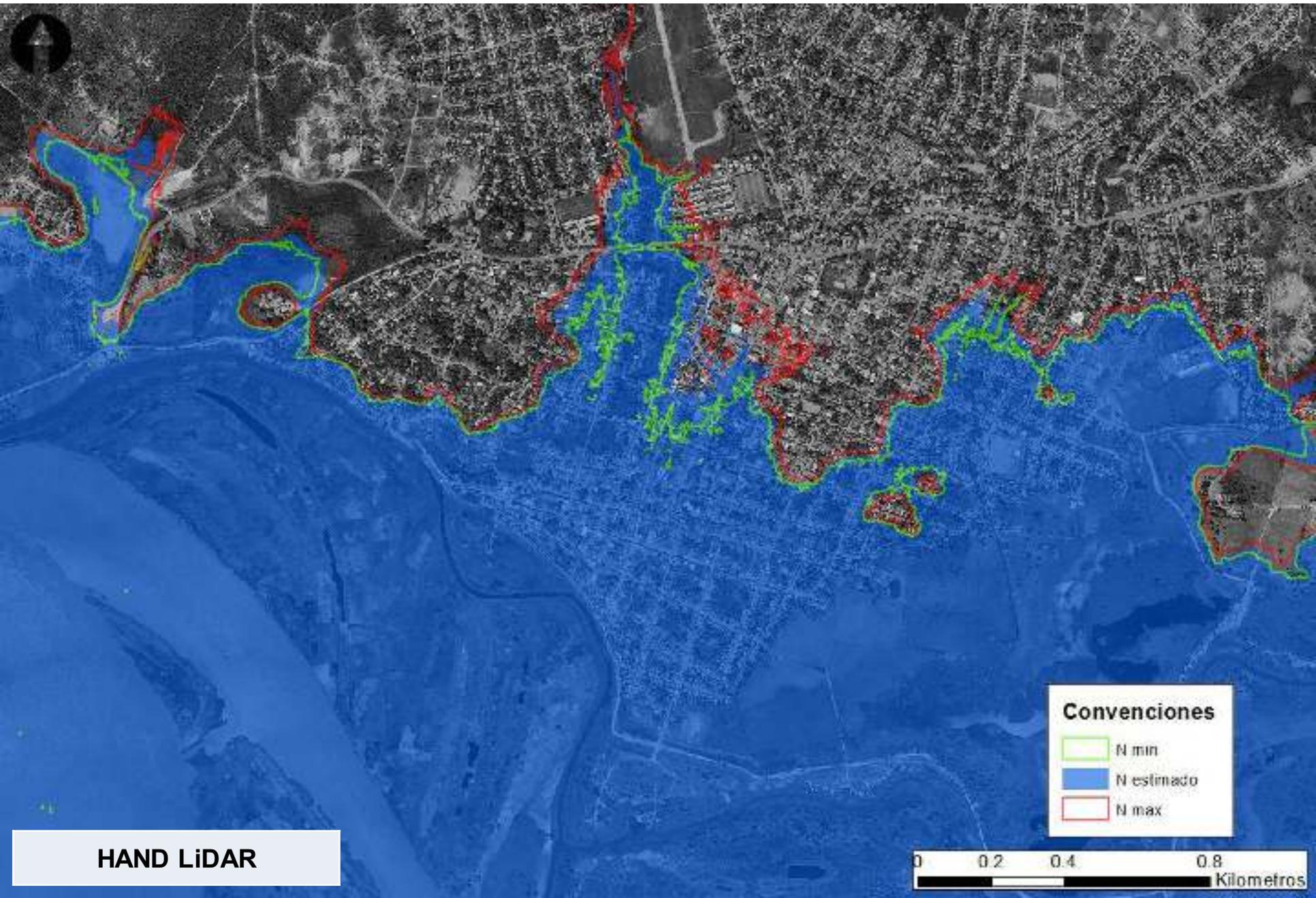
Tr 100 años



IBER 2D

## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 100 años



## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

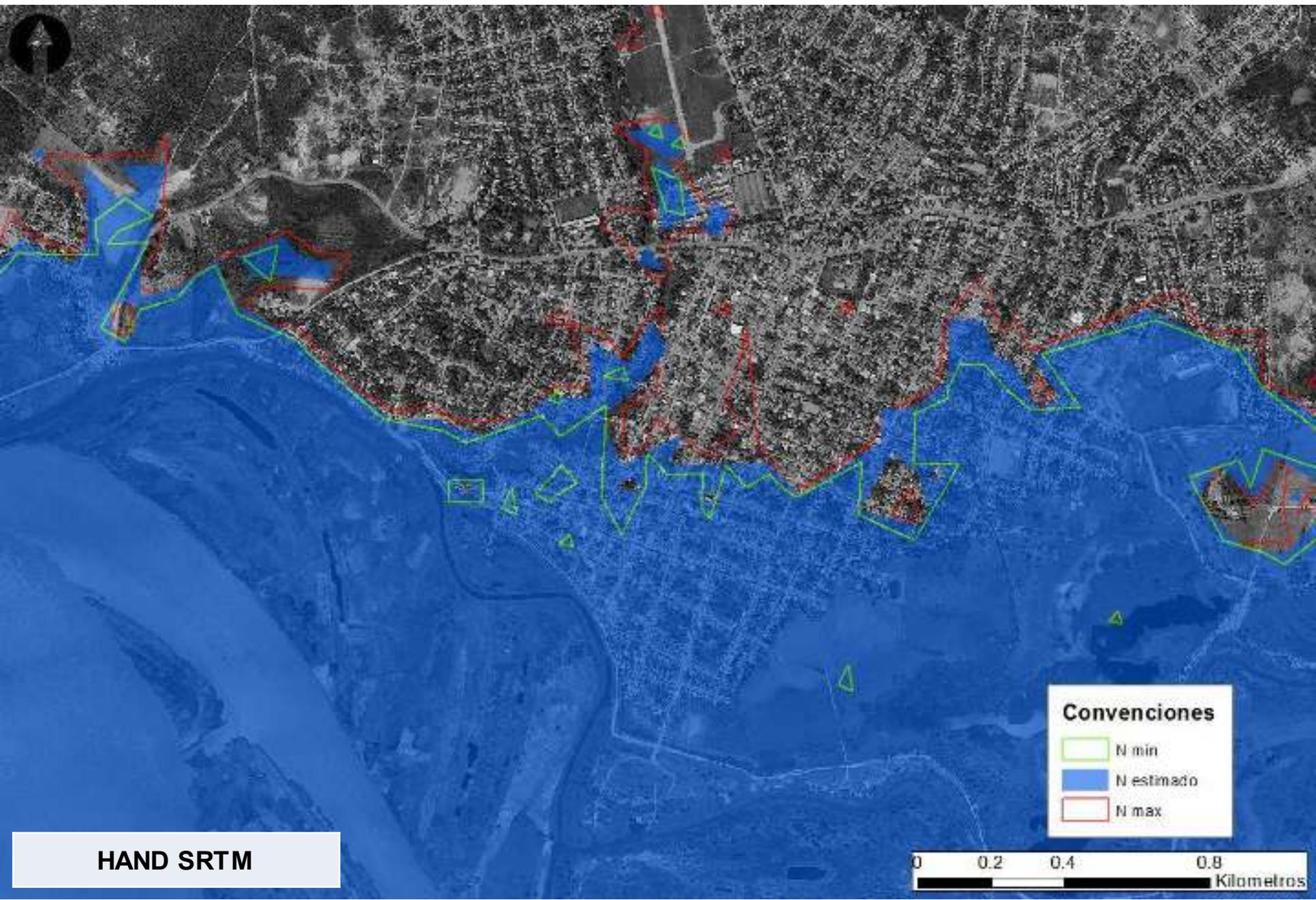
Tr 100 años



HAND ALOS PALSAR

## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

Tr 100 años



HAND SRTM

0 0.2 0.4 0.8 Kilometros

## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico

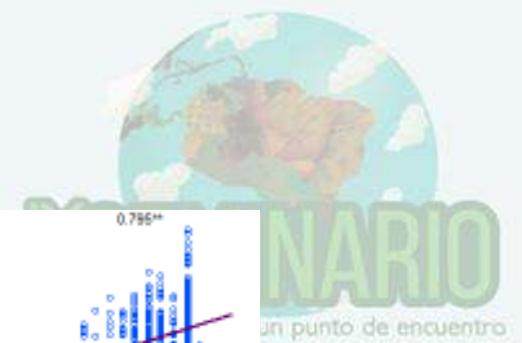
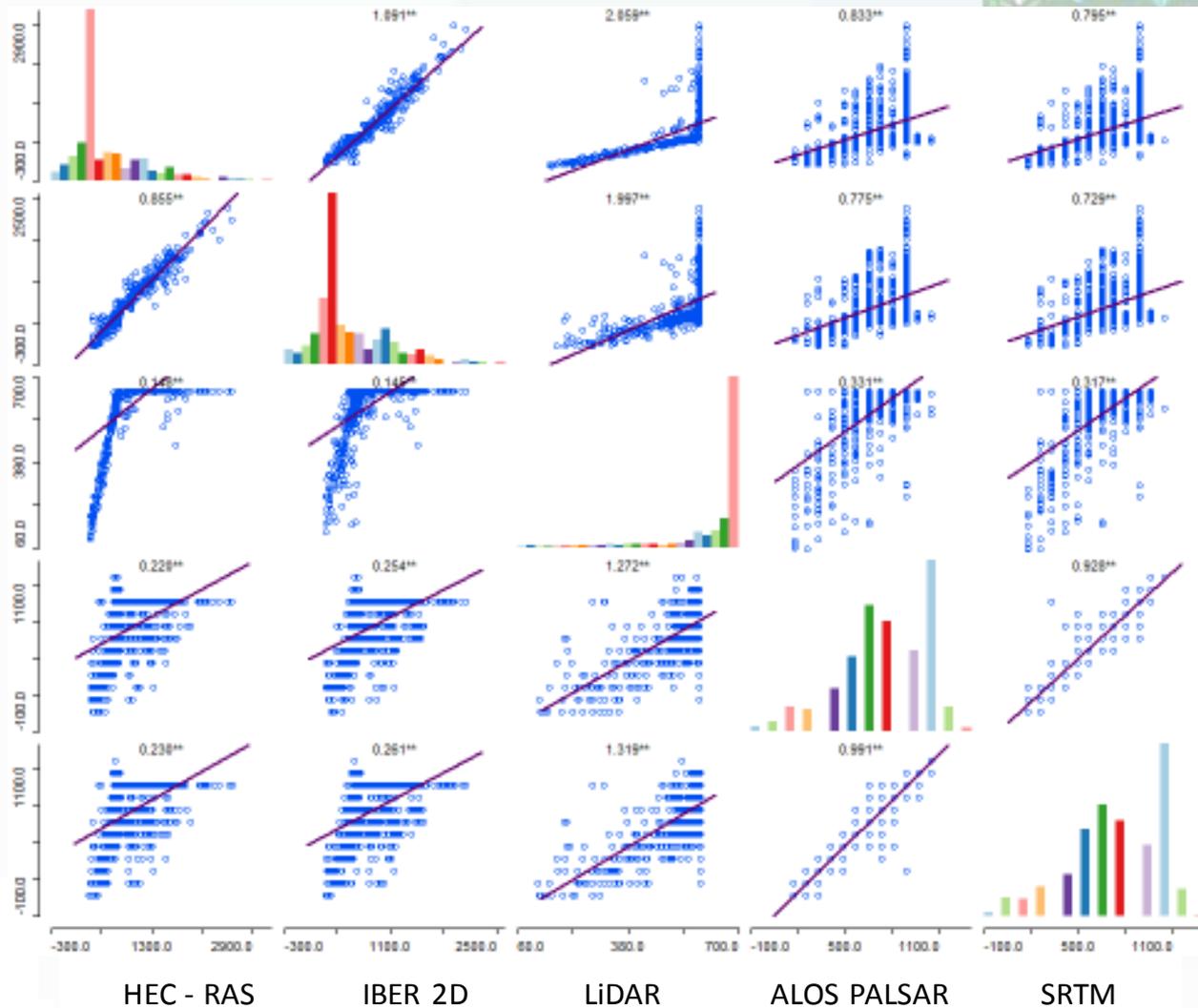
HEC - RAS

IBER 2D

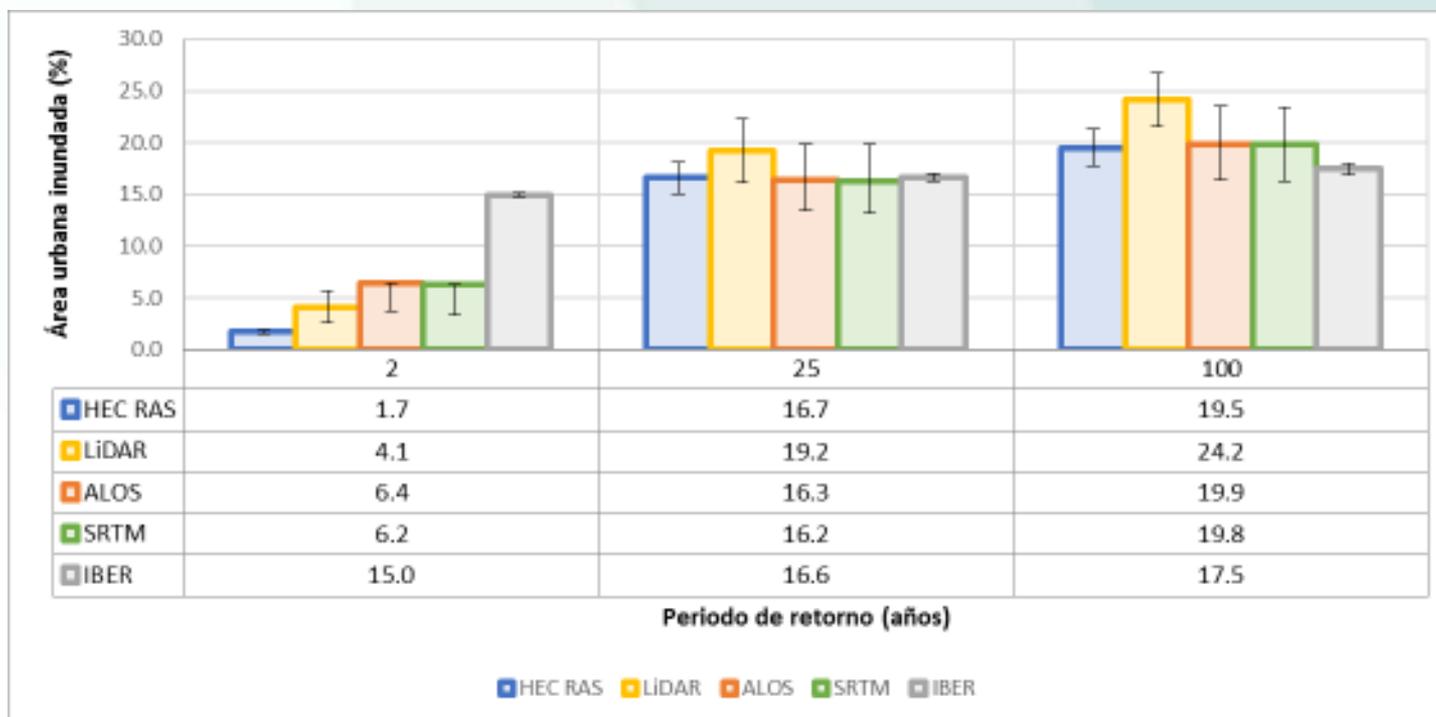
LiDAR

ALOS PALSAR

SRTM



## 5.2. Incertidumbre – Pronóstico



## 6.1. Conclusiones



Series de tiempo y geometrías:

- El cero de la mira de las series de tiempo puede estar amarrado al sistema de referencia nacional, pero los errores absolutos de los MDE implican que siempre se deba realizar una campaña de verificación y/o amarre al MDE, incluso siendo un MDE de alta resolución.
- Amarrar la cota del nivel de agua del MDE con la fecha de toma de los datos de campo, requiere una atención especial: los MDE provenientes de procesos estereoscópicos no encuentran valores coincidentes en las superficies de aguas y por lo tanto el valor es erróneo como dato de referencia
- No se puede integrar los MDE de resolución gruesa en MDE detallada si no es posible la identificación de superficies de referencia: el error absoluto de cada uno hace poco probable que la ubicación y la altimetría coincidan.



## 6.1. Conclusiones



### Hidrodinámicos:

- Los modelos hidrodinámicos robustos no son nuevos, sin embargo, los MDE de alta resolución combinados con modelos simplificados suponen una ventaja con respecto a los modelos robustos ya que las salidas pueden ser fácilmente calibradas y/o validadas a partir de diferentes fuentes de información, la eficiencia computacional es mucho mayor y el dominio computacional es un problema que en la mayoría de los casos se puede simplificar. Caucasia y Plato son un ejemplo claro de lo anterior. En condiciones estacionarias, donde la zonificación es la única variable, podríamos incluso cuestionar si realmente necesitamos un modelo de inundación hidrodinámica robusto, sin embargo, una zonificación por amenaza de inundación deberá tener en cuenta la permanencia de inundación (tiempo), la profundidad (condición de inundación) y la velocidad de flujo (magnitud). En esto último, radica el valor de un modelo robusto.



## 6.1. Conclusiones



Descriptores morfométricos:

- El comportamiento de los niveles de lámina de agua con relación al área, es errático y no describe el comportamiento hidráulico de un cauce en escala de detalle, obedece a otras variables físicas: la pendiente de la cuenca, la geomorfología y la geología (Pérez Mesa, 2014). Por lo tanto, se propuso una metodología para la extrapolación de niveles a partir de la construcción de las curvas de Nivel – Caudal, que permitan conocer los niveles esperados en eventos máximos que están por fuera del campo de medición (aforo).
- El HAND y VDCN son descriptores geomorfométricos que permiten realizar zonificaciones por inundación a partir del nivel del cauce y que dependen altamente del amarre del nivel estimado. En condiciones de MDE de alta resolución y con un amarre validado es posible el empleo directo de estos descriptores.



## 6.1. Conclusiones



### Conocimiento local:

- Se propone una metodología para la zonificación de inundación de eventos a partir de registros de conocimiento local: encuestas por hogar, transectos, talleres con comunidad, talleres con grupos focales.
- La metodología y la incertidumbre de los resultados depende altamente de las características demográficas de la población y el error relativo del MDE empleado.
- Las zonificaciones de inundación reconstruidas con registros de conocimiento local son un insumo importante para calibrar y validar los modelos hidrodinámicos, incluso para amarrar los niveles de mira estimados teniendo en cuenta las observaciones realizadas en apartados anteriores. Esto es un aporte importantísimo dado las condiciones de escasas y baja calidad de información secundaria necesaria para el desarrollo de un estudio o proyecto de zonificación de inundación detallado.



## 6.1. Conclusiones

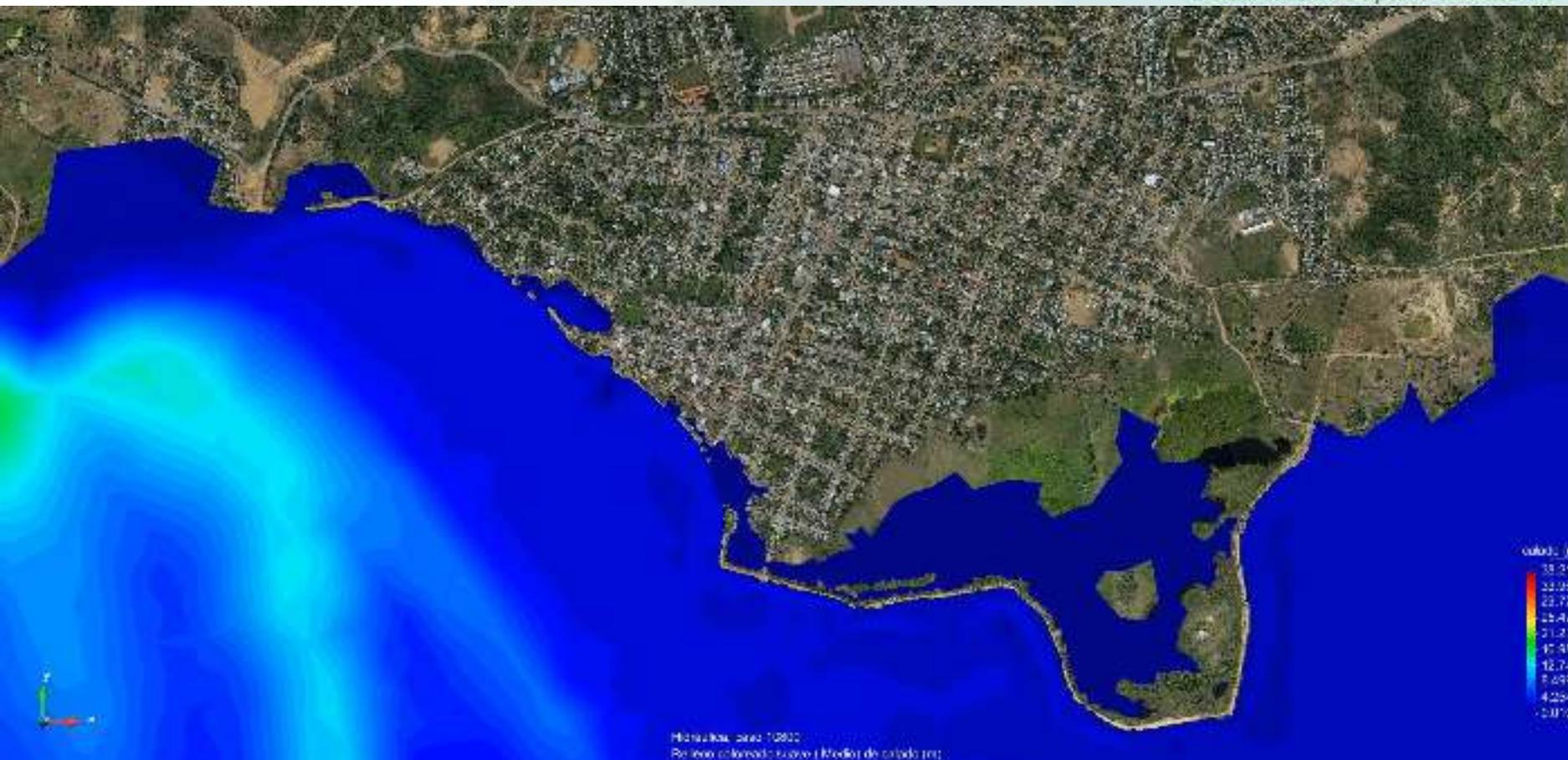


Teledetección:

- El análisis de escenas satelitales depende altamente de lo densamente vegetadas de la región de estudio, que tan afectadas están por cambios estacionales y lógicamente de la resolución temporal y espacial de cada escena. En los casos de estudio, las escalas de las escenas no permiten lograr una zonificación plausible por la nubosidad, pero principalmente por la escala de análisis, además, no hay la suficiente cobertura para los periodos de inundación máxima.



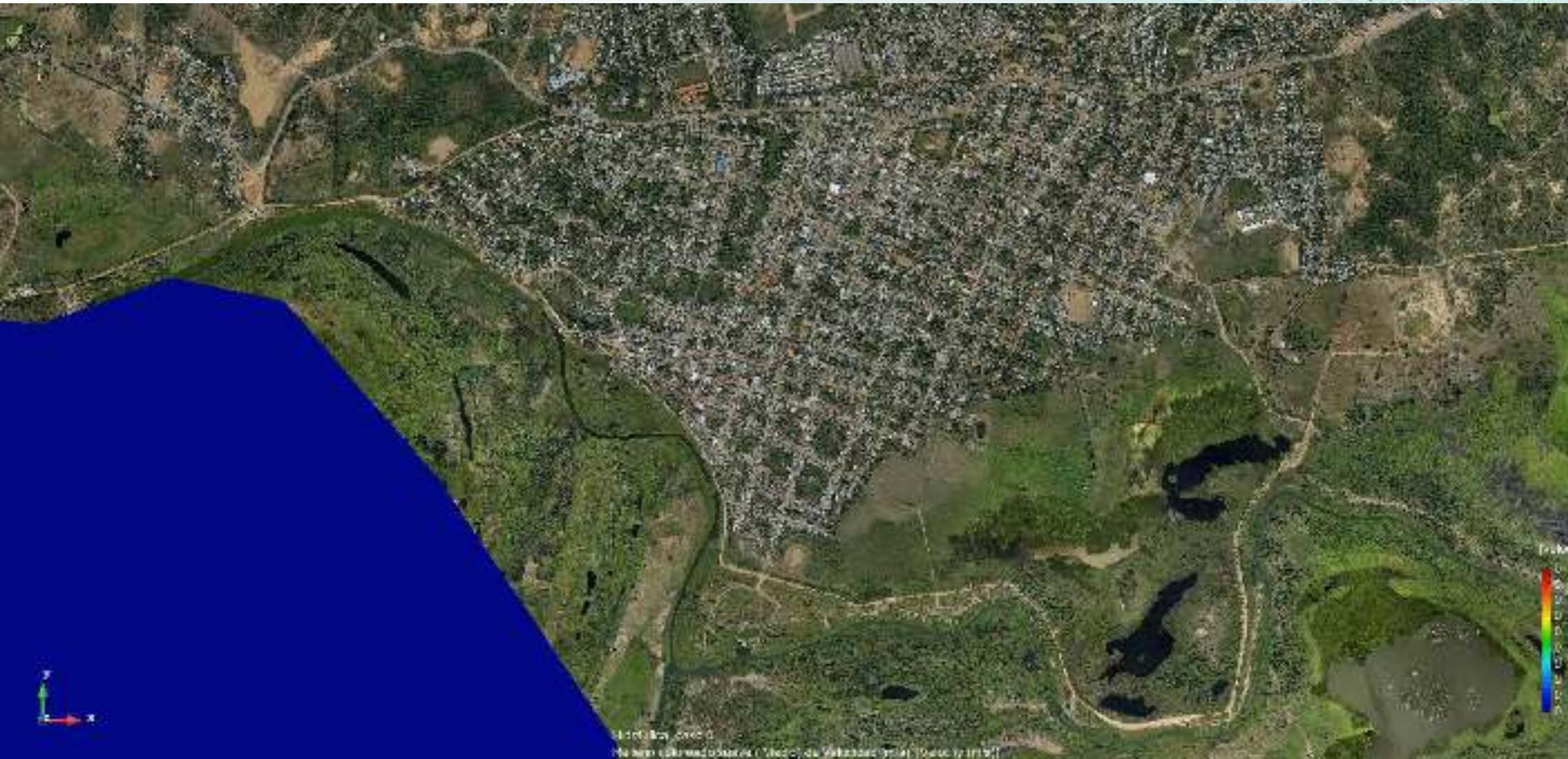
# PREGUNTAS?



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
COLEGIO MAYOR  
DE ANTIOQUIA

FACULTAD DE  
ARQUITECTURA  
E INGENIERÍA

# PREGUNTAS?





**MUCHAS GRACIAS**



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA  
**COLEGIO MAYOR  
DE ANTIOQUIA**

FACULTAD DE  
ARQUITECTURA  
E INGENIERÍA

## 7. Referencias

- Alaghmand, S. (2009). River Modelling For Flood Risk Map Prediction: Case Study Of Sungai Kayu Ara.
- Asamblea General Naciones Unidas. Marco de Sendai, 17852Sendai 1–17 (2015).
- Benito, G., Lang, M., Barriendos, M., Llasat, C., Francés, F., Ouarda, T., ... Bardossy, A. (2004). Use of Systematic , Palaeoflood and Historical Data for the Improvement of Flood Risk Estimation .
- Bladé, E., Cea, L., Corestein, G., Escolano, E., Puertas, J., Vázquez-Cendón, E., ... Coll, a. (2012). Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos. *Revista Internacional de Metodos Numericos Para Calculo Y Diseno En Ingenieria*, 30(1), 1–10.
- Burrough, P., & McDonnell, R. (2011). Principles of geographical information Systems.
- Castro, L., & Carvajal, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales Y Del Ambiente*, 9(1692–9918), 15–25.
- CEPAL. (2012). Valoración de daños y pérdidas ola invernal en Colombia 2010-2011, 240.
- Gallant, J., & Dowling, T. (2003). A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. *Water Resources Research*.



## 7. Referencias

- Herrero, A., Huerta, L., & Isidro, M. (2006). Mapas de peligrosidad de avenidas e inundaciones: métodos, experiencias y aplicación.
- Horritt, M. S., & Bates, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268(1–4), 87–99.
- Hunter, N. M., Bates, P. D., Horritt, M. S., & Wilson, M. D. (2007). Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: A review. *Geomorphology*, 90(3–4), 208–225.
- Invias. Manual de drenaje para carreteras (2009).
- Ip, F., Dohm, J. M., Baker, V. R., Doggett, T., Davies, A. G., Castaño, R., ... Rabideau, G. (2006). Flood detection and monitoring with the Autonomous Sciencecraft Experiment onboard EO-1. *Remote Sensing of Environment*, 101(4), 463–481.
- JAXA. (2008). *ALOS Data Users Handbook. Earth Observation Research and Application Center - Japan Aerospace Exploration Agency* (Revision C).
- Joyce, K. E., Belliss, S. E., Samsonov, S. V., McNeill, S. J., & Glassey, P. J. (2009). A review of the status of satellite remote sensing and image processing techniques for mapping natural hazards and disasters. *Progress in Physical Geography*, 33(2), 183–207.



## 7. Referencias

- Lewis, A. J., Henderson, F. M., & Holcomb, D. W. (1998). *Radar fundamentals: the geoscience perspective. Principals and Applications of Imaging Radar*. New York.
- Lin, B., & Wicks, J. (2006). Integrating 1D and 2D hydrodynamic models for flood simulation. *Proceedings of the ICE*.
- López, J. D. (2011). Modelación Hidráulica Y Morfodinámica De Cauces Sinuosos Aplicación a La Quebrada La Marinilla ( Ant ) Hydraulic and Morphodynamic Modeling of Meandering Channels , Application To the Marinilla Stream . *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 30, 107–118.
- Matias, M., & Falcão, A. (2013). A methodology to generate a digital elevation model by combining topographic and bathymetric data in fluvial environments.
- Merwade, V. (2009). Effect of spatial trends on interpolation of river bathymetry. *Journal of Hydrology*, 371(1–4), 169–181.
- Mesa, O., Poveda, G., & Carvajal, L. F. (1997). *Introducción al clima de Colombia*. Universidad Nacional de Colombia.
- Muñoz, V. A., & Valeriano, M. D. M. (2014). Mapping of Flood-Plain by Processing of Elevation Data from Remote Sensing. *Mathematics of Planet Earth*, 481–484.



## 7. Referencias

- Oberstadler, R., Hönsch, H., & Huth, D. (1997). Assessment of the mapping capabilities of ERS-1 SAR data for flood mapping: a case study in Germany. *Hydrological Processes*, 11(10), 1415–1425.
- Olaya, V., & Conrad, O. (2009). Chapter 12 Geomorphometry in SAGA. *Developments in Soil Science*, 33, 293–308.
- Patiño, D. (2011). Diseño de una Metodología de Clasificación Automática de Unidades Geomorfológicas en la Geografía Colombiana Utilizando Técnicas de Reconocimiento. *Maestría En Ingeniería de Sistemas*.
- Patro, S., Chatterjee, C., Mohanty, S., Singh, R., & Raghuwanshi, N. S. (2009). Flood inundation modeling using MIKE FLOOD and remote sensing data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 37(1), 107–118.
- Pérez Mesa, G. J. (2014). Propuesta metodológica para la estimación de zonas de inundación con información escasa por medio de descriptores geomorfométricos derivados de modelos digitales de elevación.
- Refsgaard, J. C., van der Sluijs, J. P., Højberg, A. L., & Vanrolleghem, P. A. (2007). Uncertainty in the environmental modelling process - A framework and guidance. *Environmental Modelling and Software*, 22(11), 1543–1556.



## 7. Referencias

- Rennó, C. D., Nobre, A. D., Cuartas, L. A., Soares, J. V., Hodnett, M. G., Tomasella, J., & Waterloo, M. J. (2008). HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. *Remote Sensing of Environment*, 112(9), 3469–3481.
- Rodríguez-Gaviria, E. M. (2016). Diseño metodológico para la evaluación del riesgo por inundación a nivel local con información escasa, 379.
- Sandholt, I., Nyborg, L., Fog, B., Lô, M., Bocoum, O., & Rasmussen, K. (2003). Remote sensing techniques for flood monitoring in the Senegal River Valley. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 103(1), 71–81.
- Smith, K. (2013). *Environmental hazards: assessing risk and reducing disaster*.
- Sopó, G., Martínez, O., & Herreño, A. (2013). Metodología para realizar trabajos de hidrotopografía.
- Swain, P., & Davis, S. (1978). *Remote sensing. The quantitative approach*. McGraw-Hill.

