



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



# SEMINARIO DE RIESGO HIDROGEOLÓGICOS EN LA REGIÓN CAPITAL

“Plan de intervención para la planificación y el desarrollo local en los procesos de prevención/manejo/solución de los riesgos geológicos y ambientales y el uso de los recursos rurales”



Comune di Monfalcone  
Provincia di Gorizia



POLO  
TECNOLOGICO  
PORDENONE  
Andrea Galvani

Protezione Civile  
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia



Cámara de Comercio Italiana  
en la República Argentina  
FUNDADA EN 1884



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

CONICET



**PIO: ANÁLISIS DE RIESGOS, ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN.**

**GESTIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN EN EL MARCO DE LA GESTIÓN INTEGRADA DE LOS RECURSOS HÍDRICOS, APLICADO A CUENCAS URBANAS**

# Componentes Física y Humana de la Cuenca



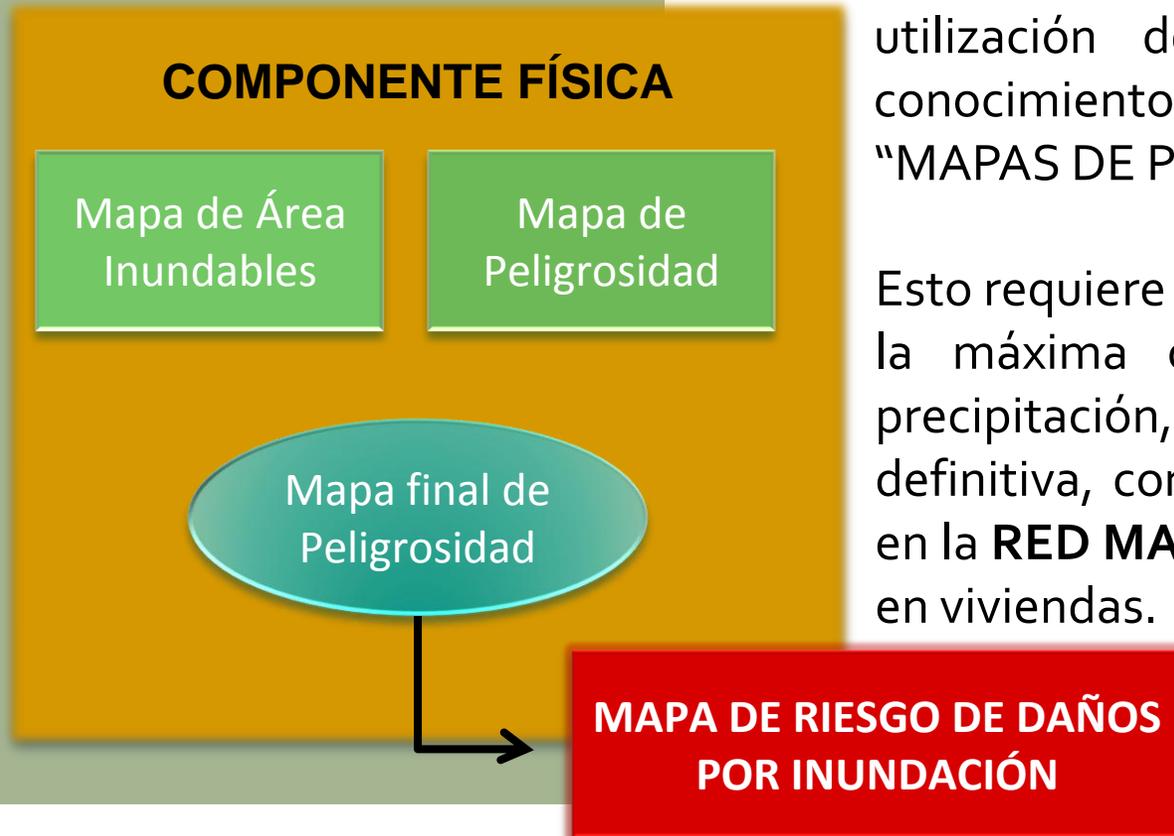
Según distintos autores, entre ellos Masgrau, los Riesgos en Daños Materiales y Vidas humanas, por causas de procesos de Inundación, se pueden analizar desde las Componentes FÍSICAS y HUMANAS de la cuenca.

# Modelaciones Realizadas a partir de la lluvia del 2 de Abril de 2013

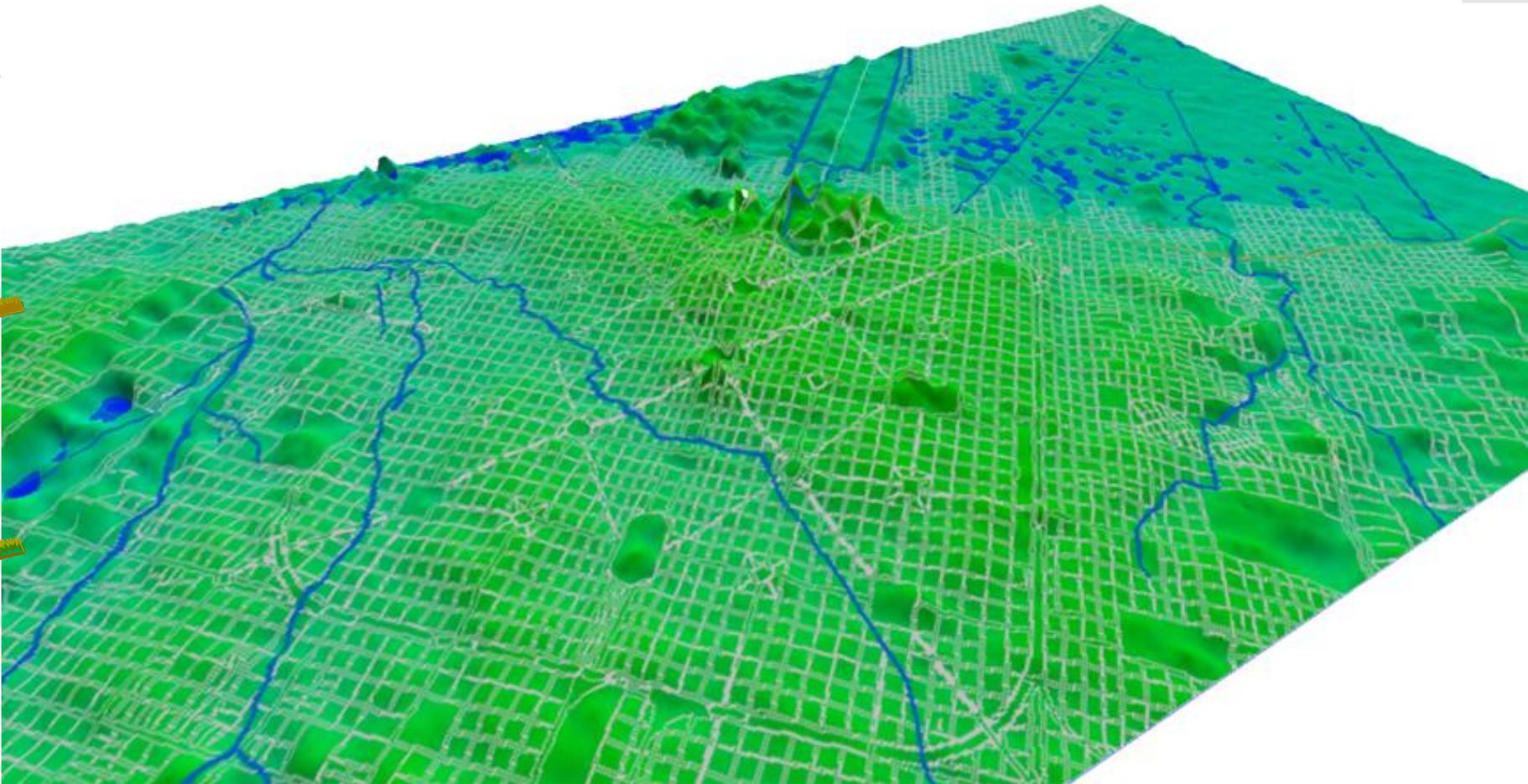
La Facultad de Ingeniería, a través del Departamento de Hidráulica, ha contribuido en el Proyecto de Investigación Orientado, PIO, en la utilización de modelos matemáticos, para avanzar sobre el conocimiento y generación de Mapas de "ÁREAS INUNDABLES" y "MAPAS DE PELIGROSIDAD".

Esto requiere conocer la **RED MENOR de DRENAJE**, para determinar la máxima capacidad de conducción de diversos eventos de precipitación, de variadas probabilidades de ocurrencia, y en definitiva, conocer la cantidad de agua que queda superficialmente en la **RED MAYOR de DRENAJE**, compuestas por calles y avenidas, y en viviendas.

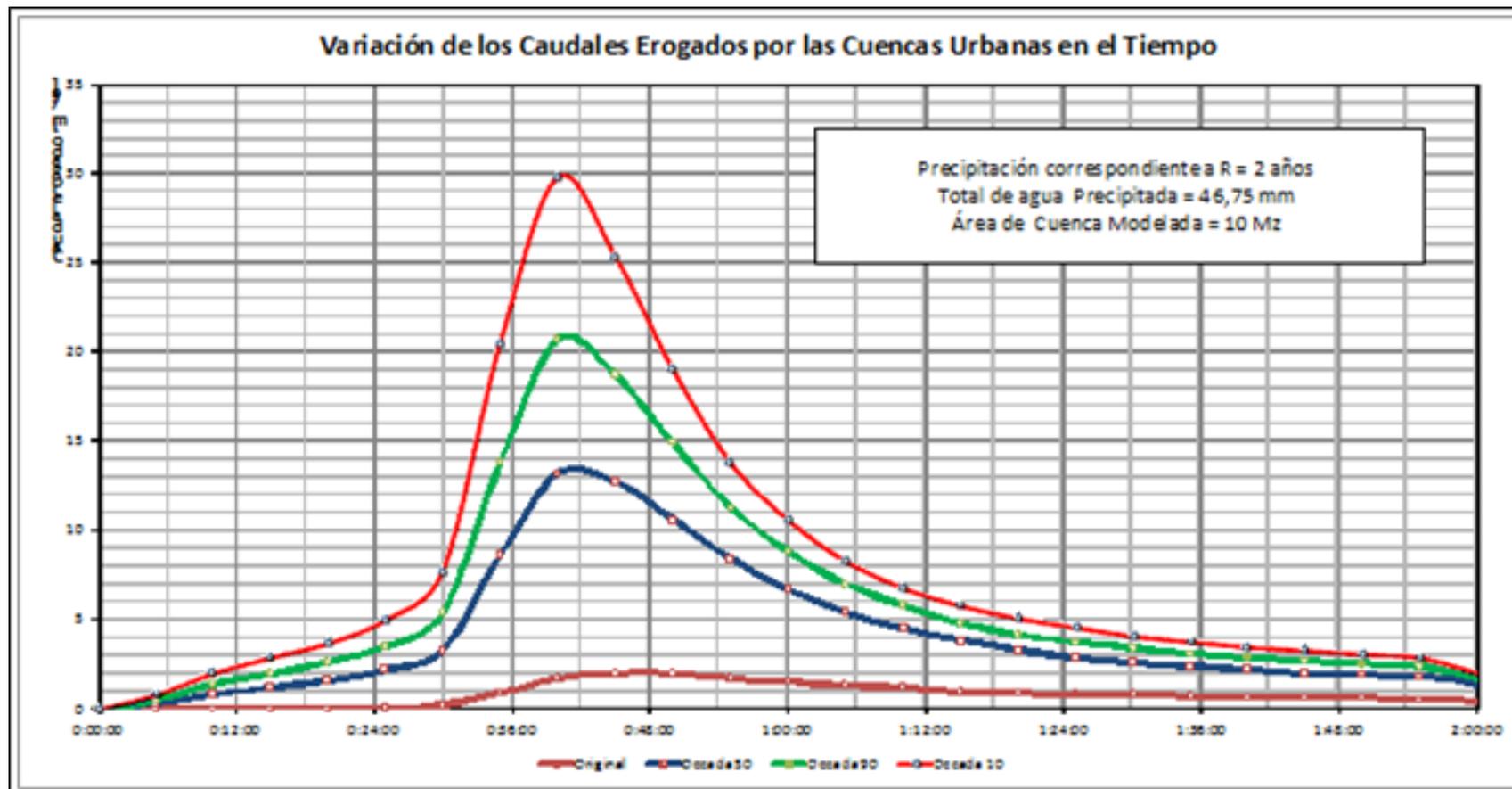
Con este fin se modeló matemáticamente la cuenca con el evento ocurrido en los días 2 y 3 de abril 2013, y para distintas probabilidades de tormentas intensas del tipo SINTÉTICAS.



# Cursos de Agua Existentes a la época de la Fundación de La Plata



# Evolución de los Caudales



Para un evento pluvial, por ejemplo de Recurrencia 2 años (probabilidad 0.5) y 3 horas de duración, con un total de agua precipitada = 46,75 mm, desde la Fundación de la Ciudad de La Plata hasta un horizonte Futuro con FOS máx = 0,60, se obtiene la evolución indicada. Área = 10 manzanas urbanas.

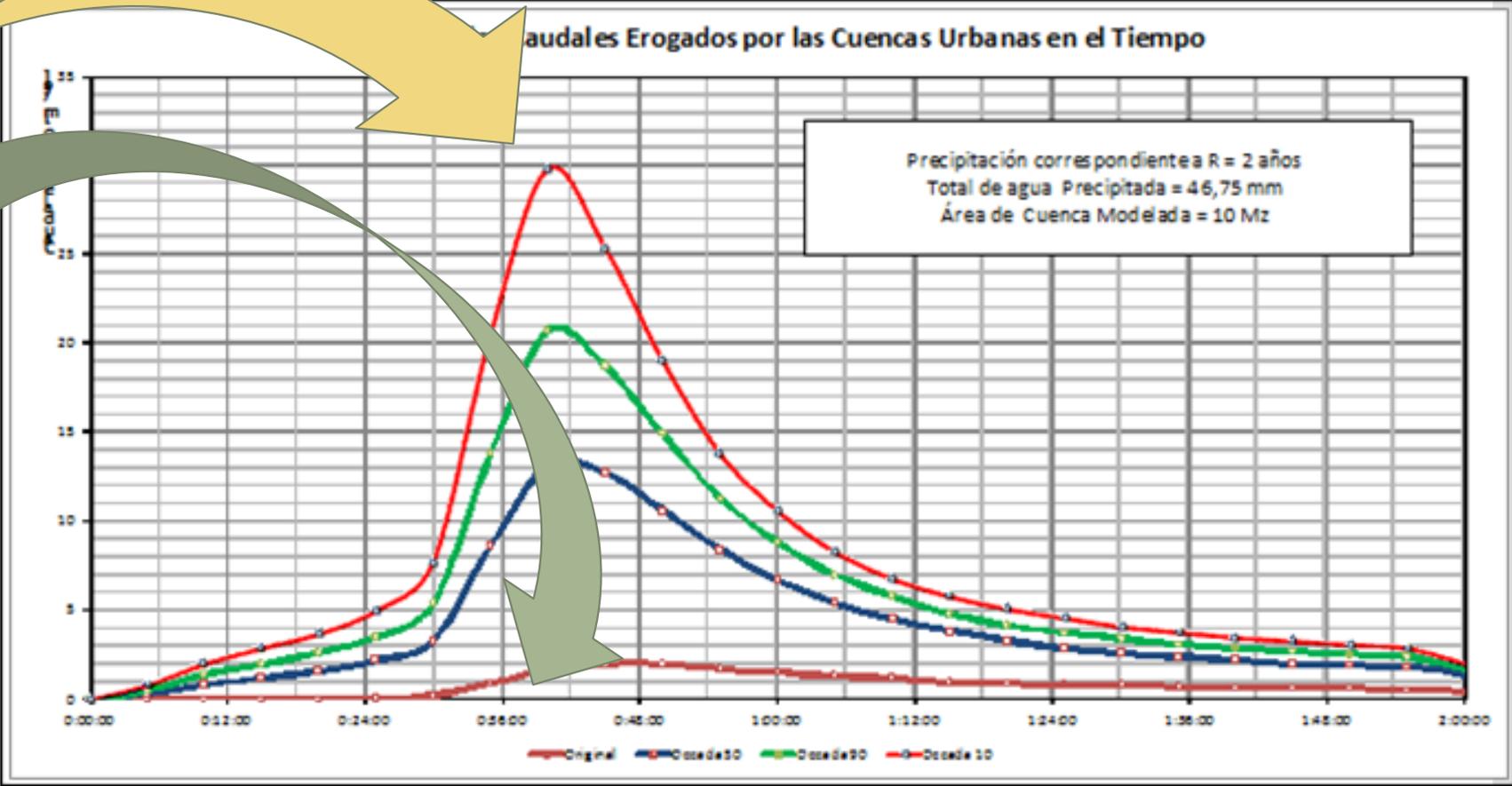
# Cursos de Agua Existentes a la época de la Fundación de La Plata



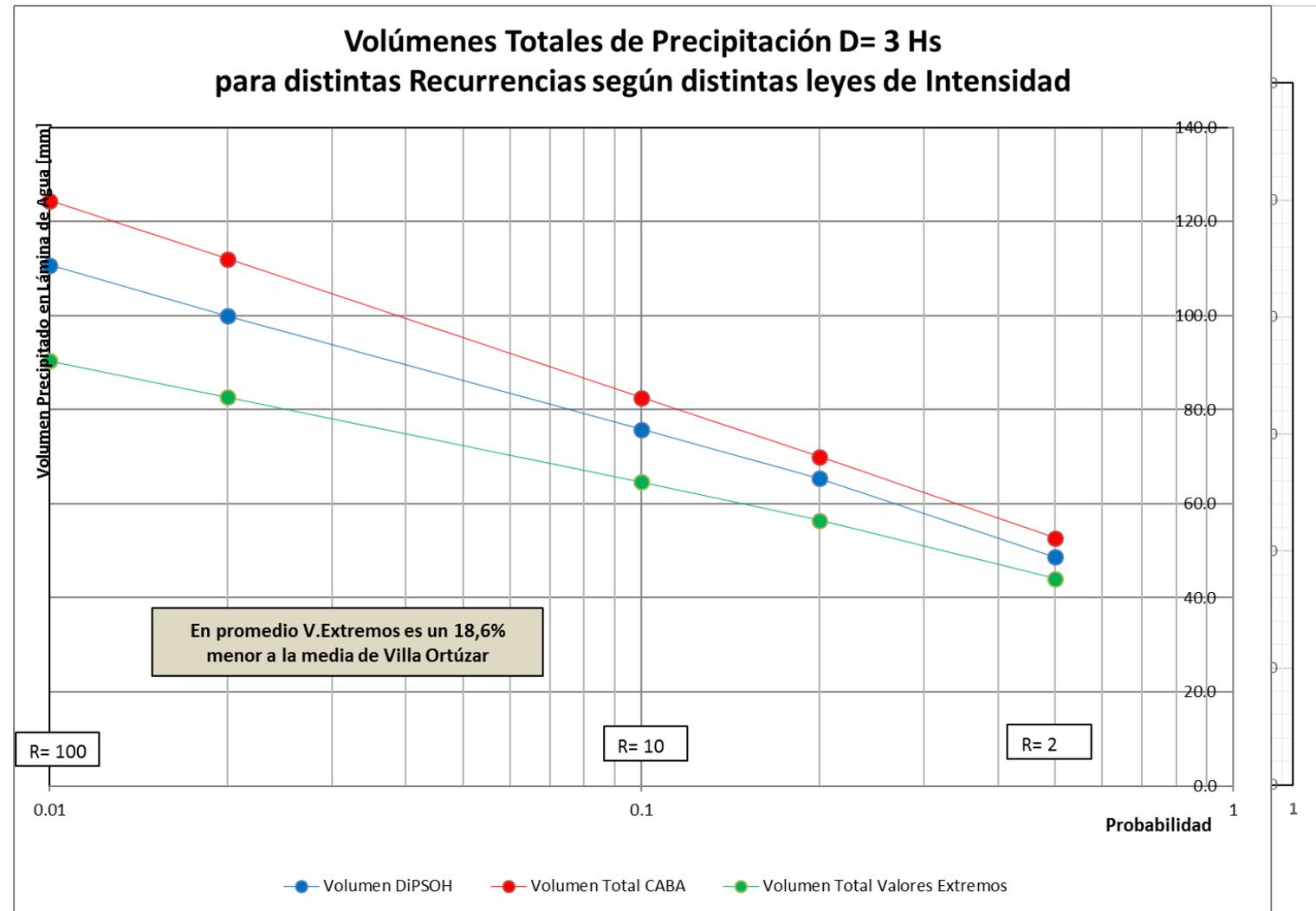
ANTES

MEDIADOS SIGLO

ACTUALIDAD

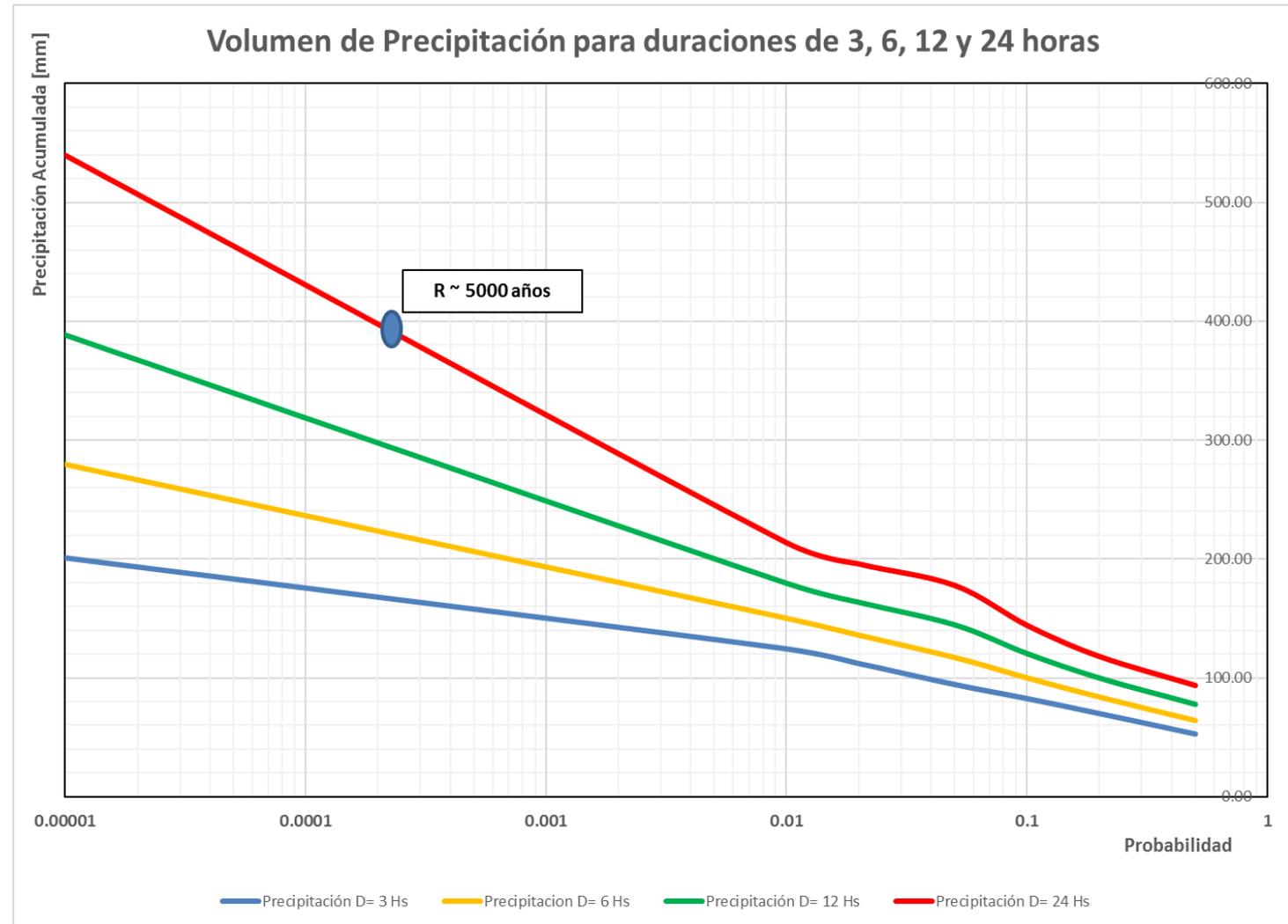


# Precipitaciones y su Probabilidad



Los eventos considerados según los tiempos de concentración de la cuenca (3 horas) maximizan los caudales de “pico” y duraciones mayores aportan volumen. El evento del 2 de Abril de 2013 fue muy superior a estas estimaciones clásicas.

# Precipitaciones y el evento del 2 de Abril de 2013

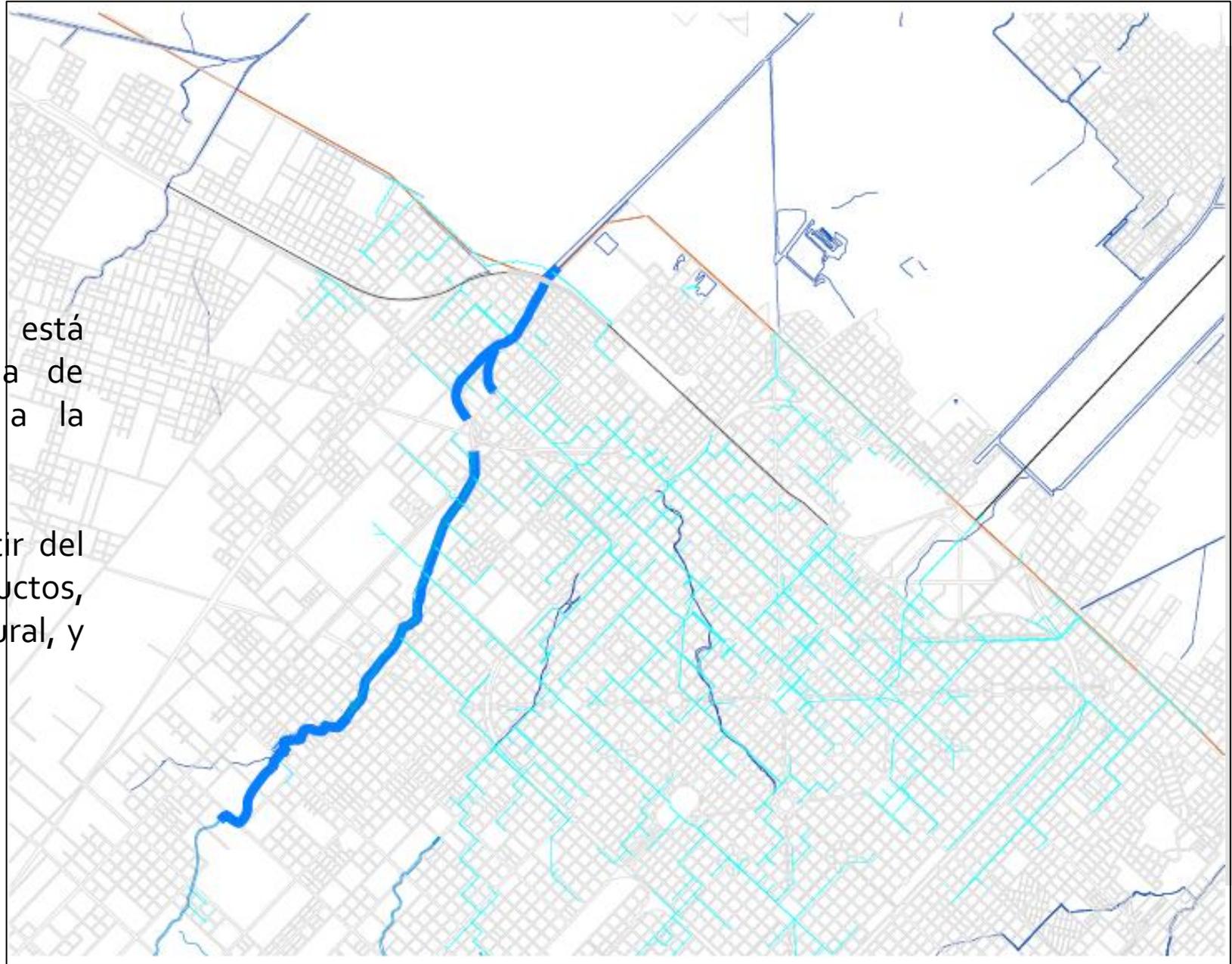


Los eventos considerados según los tiempos de concentración de la cuenca (3 horas) maximizan los caudales de “pico” y duraciones mayores aportan volumen. El evento del 2 de Abril de 2013 fue muy superior a estas estimaciones clásicas.

# Red Menor de Drenaje

El caudal drenado por la Red Menor, está condicionado a su capacidad máxima de diseño y, en términos hidráulicos, a la pendiente de la línea de energía.

Para que la pendiente aumente, a partir del funcionamiento a presión de los conductos, implica que ésta alcance el Terreno Natural, y aún algo más.

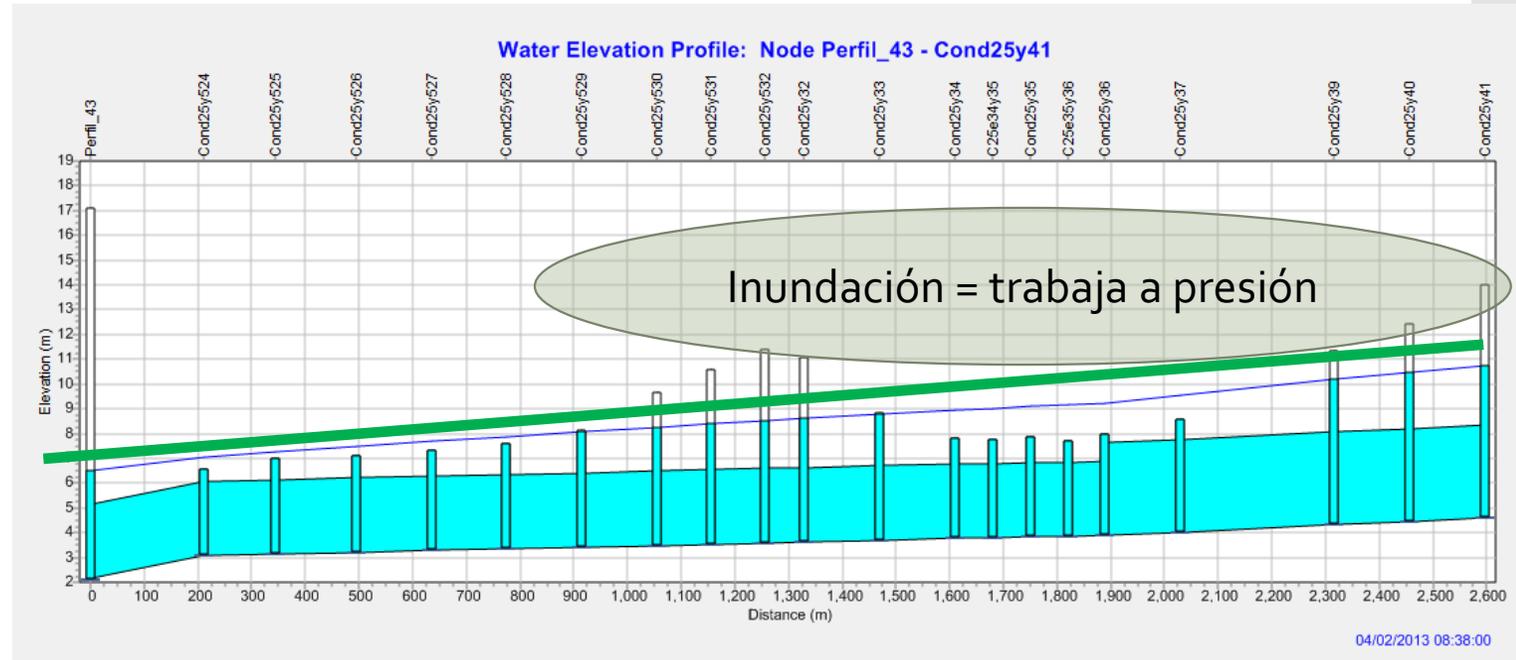
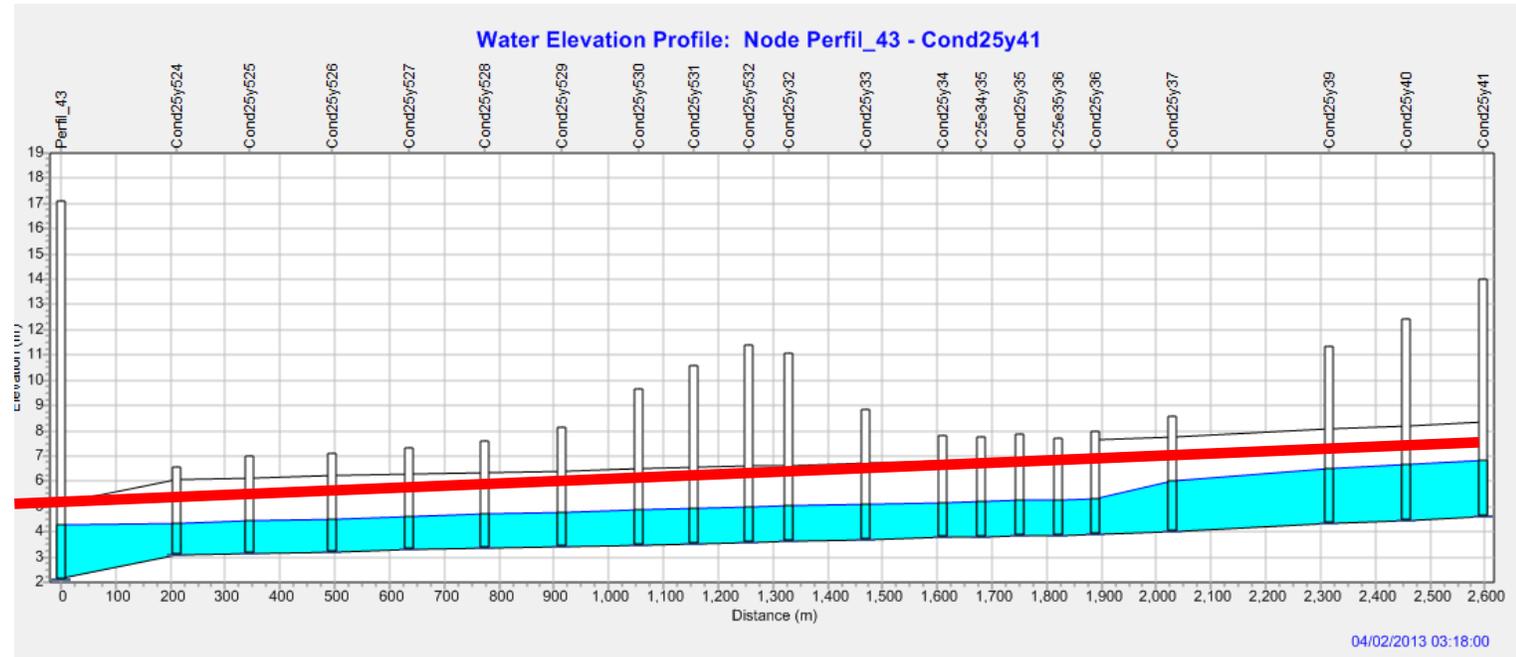


# Red Menor de Drenaje

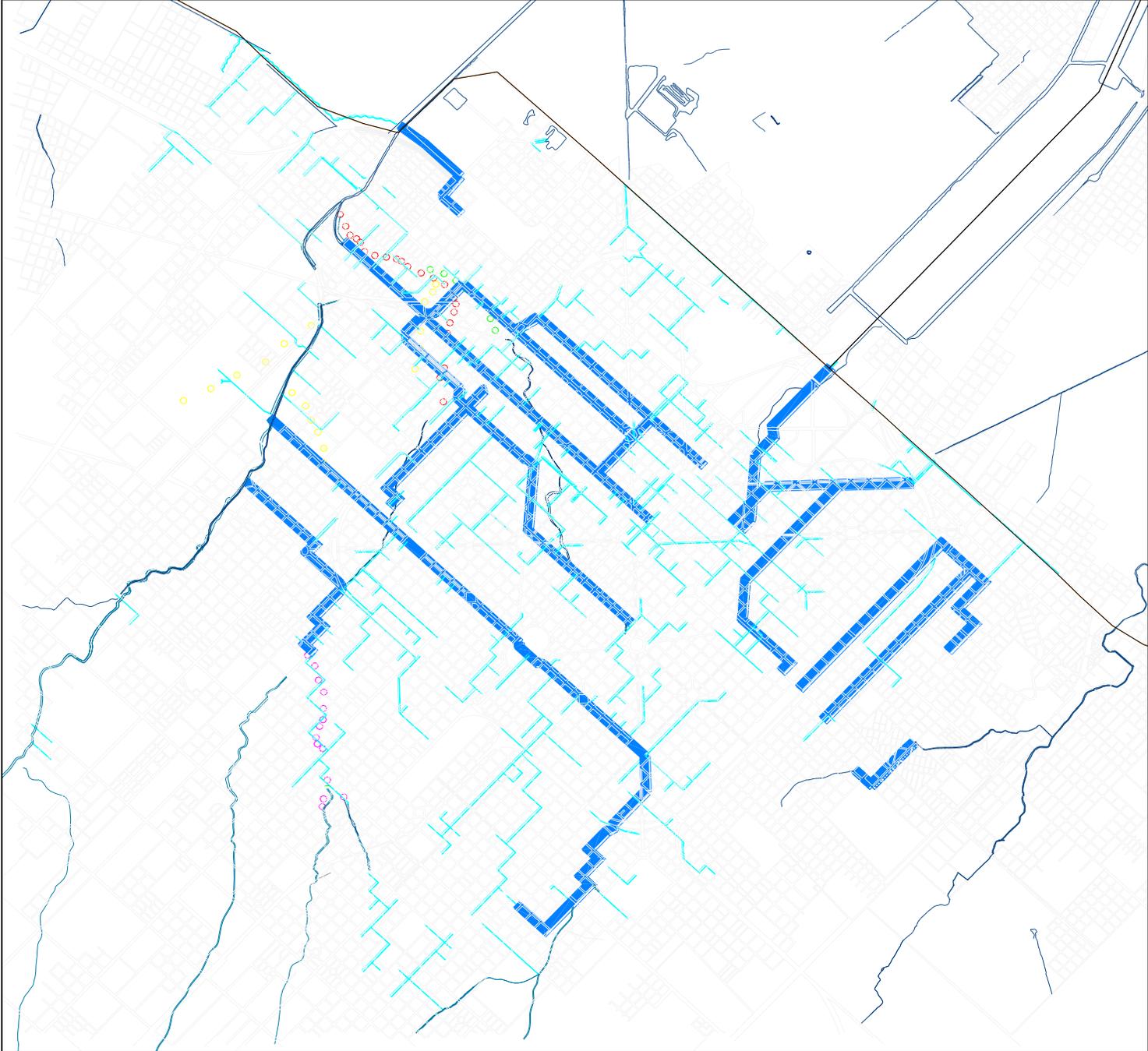
Cuando la lluvia es de una intensidad MAYOR a la de diseño trabajan los conductos a PRESIÓN, pudiendo incluso llegar ésta hasta la superficie del terreno!!!!

Se observa que en ocasiones, la línea de energía alcanza el nivel del terreno natural y aún lo puede superar!!!!

ANEGAMIENTOS



# Red Menor de Drenaje



# Red Menor de Drenaje

A partir de los resultados obtenidos de los modelos matemáticos, se puede analizar cómo aumentan los caudales erogados por los conductos troncales (al año 2.013), en función del cambio de recurrencia.

De la misma forma se puede indicar los volúmenes de agua precipitada sobre la cuenca unitaria, en función de la recurrencia y de la duración de la tormenta.

## SITUACION AL AÑO 2013

Recurrencia [años]	Caudales Máximos [m <sup>3</sup> /s]					
	Ag Arriba 143	Conducto 30	Conducto 25	Conducto 11	Conducto 1	Ag Abajo FFCC
<b>2</b>	31.16	16.07	45.17	68.97	0.69	93.57
<b>5</b>	35.03	16.86	52.50	76.58	0.76	147.43
<b>10</b>	44.34	17.63	56.27	80.80	0.78	151.62
<b>25</b>	56.84	18.69	60.27	85.34	0.80	161.26
<b>50</b>	67.03	19.29	63.28	87.76	0.82	163.87
<b>100</b>	75.85	19.83	63.70	87.52	0.84	168.77
<b>PMP</b>	320.29	30.72	63.81	83.96	0.84	559.02

## VOLUMEN DE PRECIPITACION [mm x sup]

Recurrencia [años]	DURACION [Hs]			
	3	6	12	24
<b>2</b>	52.75	64.25	77.73	93.73
<b>5</b>	70.01	84.01	99.85	118.10
<b>10</b>	82.59	100.12	120.42	144.28
<b>20</b>	94.45	117.19	144.60	177.92
<b>50</b>	112.06	135.94	163.58	196.02
<b>100</b>	124.45	150.17	179.60	213.83
<b>PMP</b>	201.11	279.52	388.51	540.00

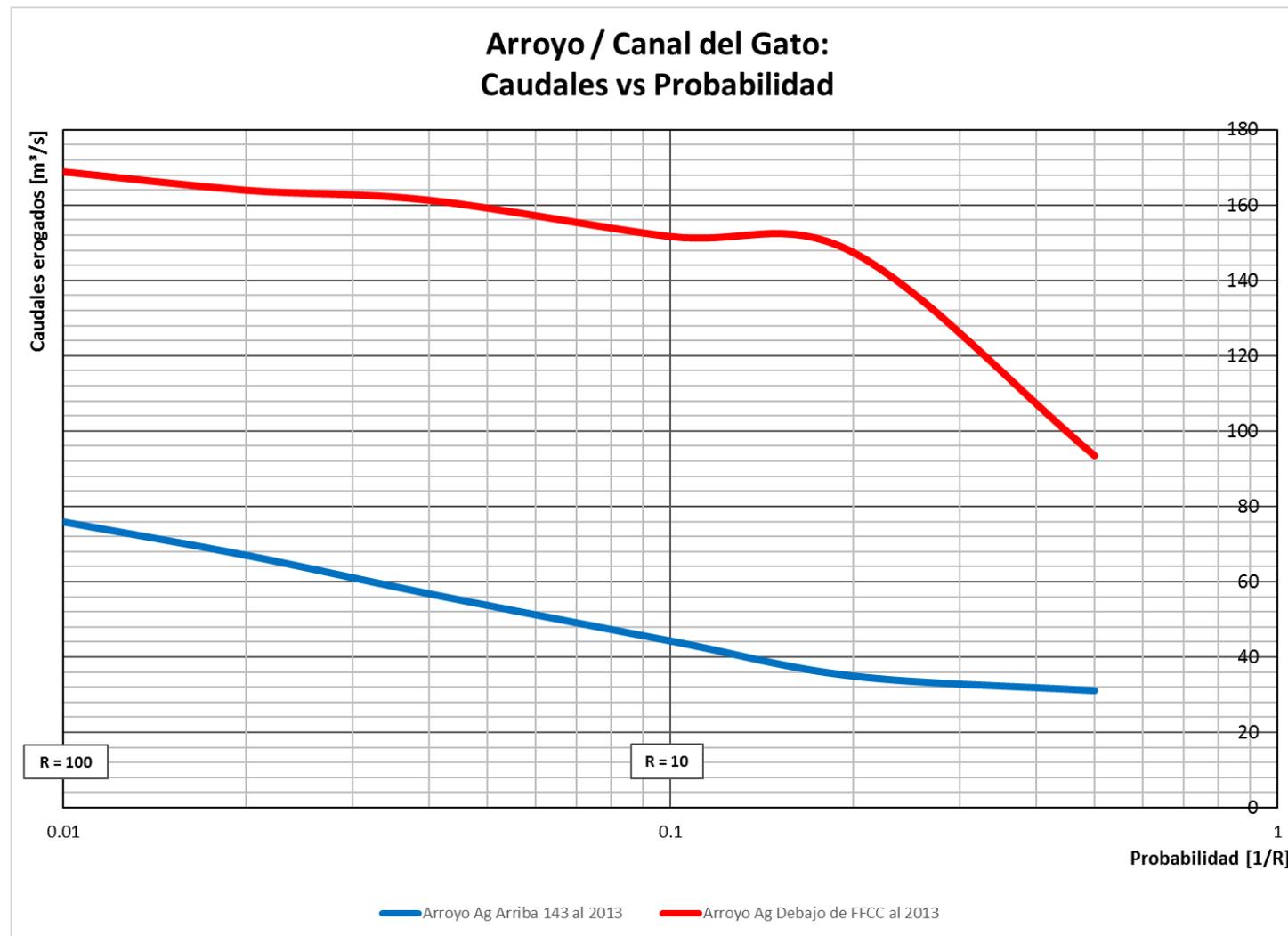
# Red Menor de Drenaje

Considerando en este caso al cauce del arroyo, ¿red menor?, podemos analizar los siguiente:

Encontramos que en el Arroyo del Gato, a la altura de la calle 143, se puede estimar el caudal afluyente desde la cuenca alta, antes del casco urbano, según la probabilidad considerada.

Y lo mismo aguas abajo de las vías del FF.CC. Roca.

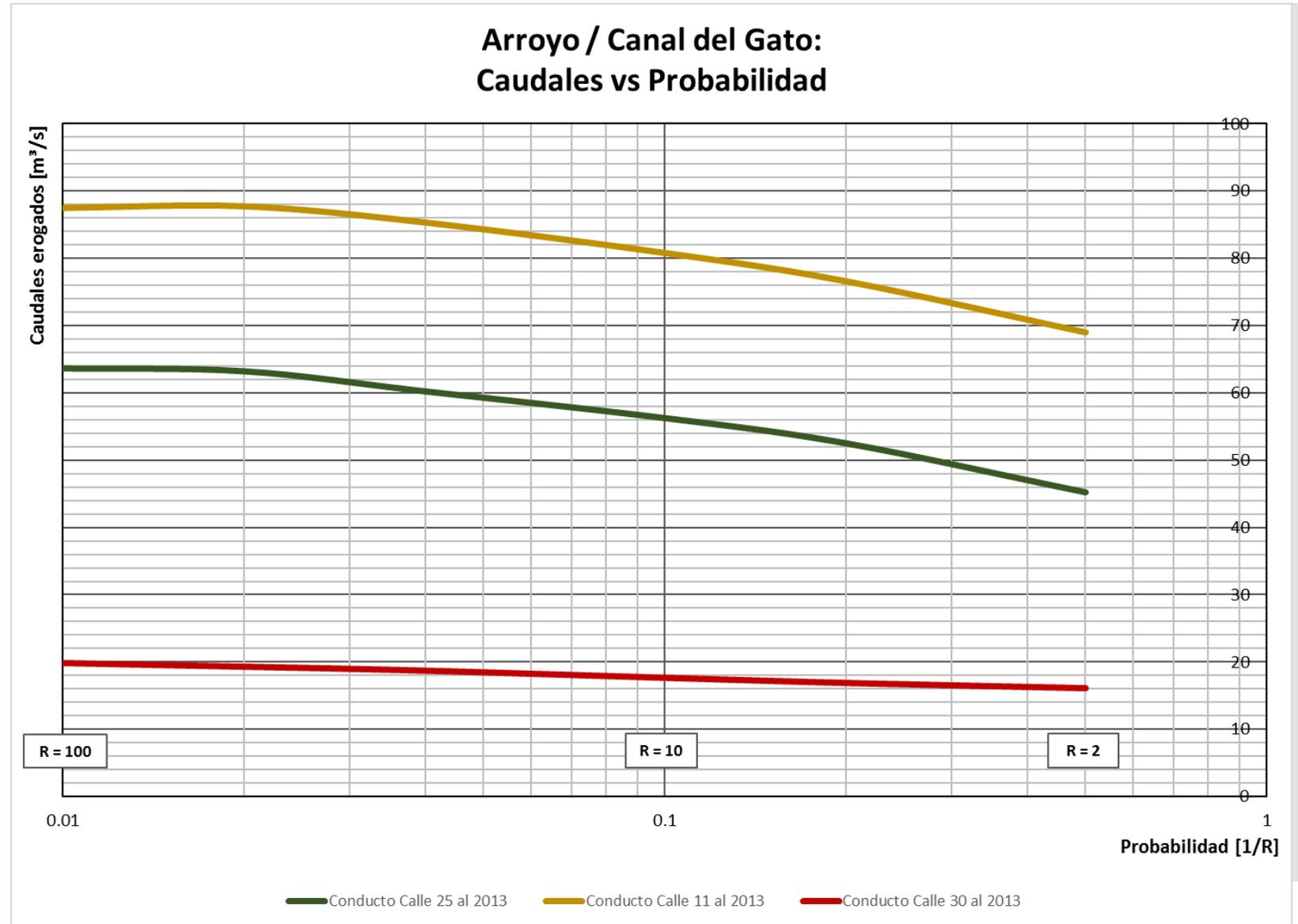
La diferencia de caudales corresponde a lo aportado por la zona urbana en dicho tramo, desde calle 1 a calle 143.



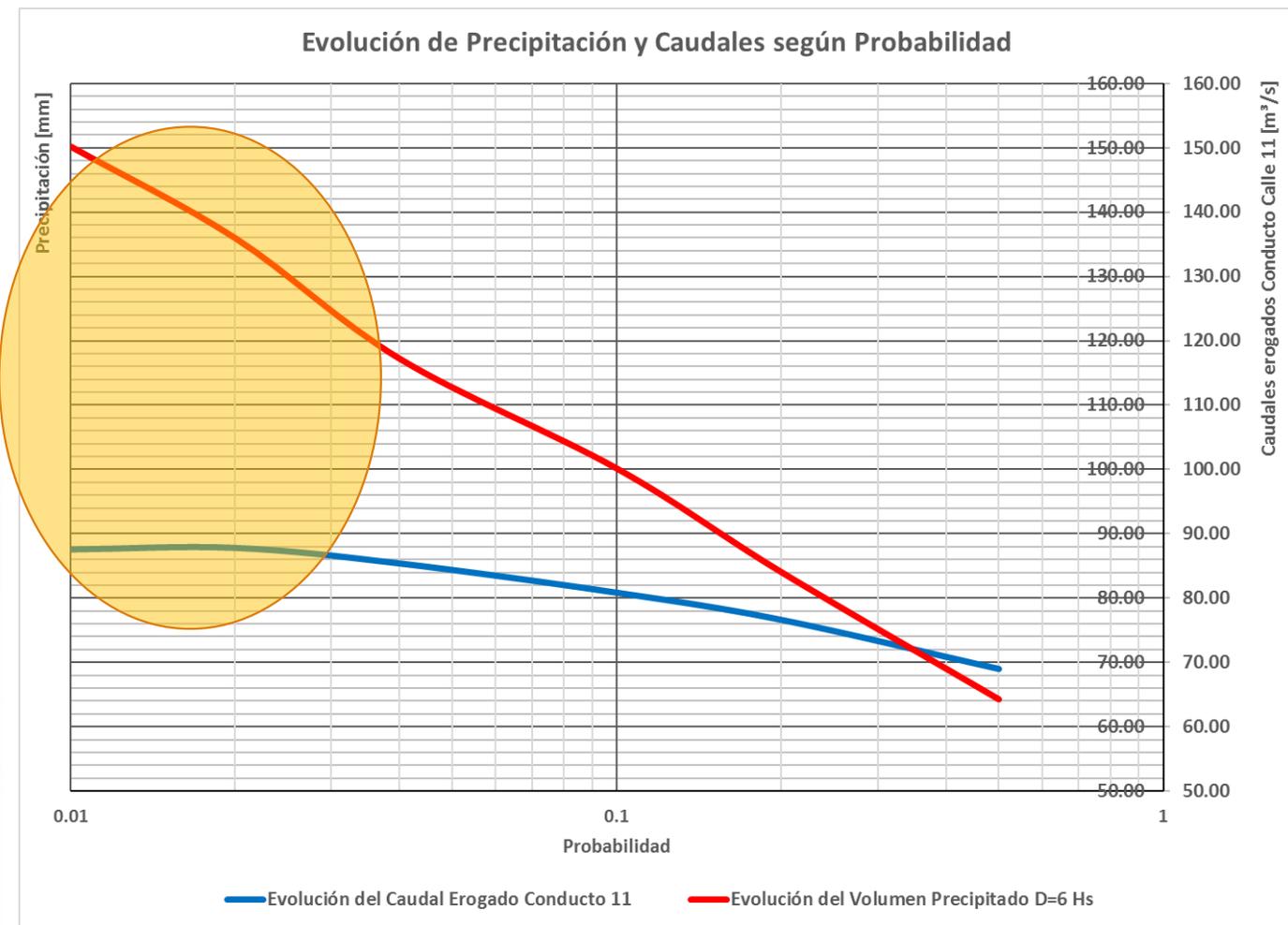
# Red Menor de Drenaje

Lo mismo se puede analizar para los troncales principales como son el conducto que descarga en el Arroyo del Gato próximo a la calle 30, el conducto de calle 25 y el conducto de calle 11.

En rigor, conductos corresponden a los correspondientes a calle 11 y a calle 30, reservando la denominación de derivador, al conducto de calle 25.



# Red Menor de Drenaje



Conforme aumenta la Recurrencia (disminuye la probabilidad de ocurrencia de los eventos), los volúmenes de agua precipitados aumentan, pero ese aumento NO PUEDE ser acompañado por los conductos troncales, que tienen su capacidad limitada...

# Red Mayor de Drenaje

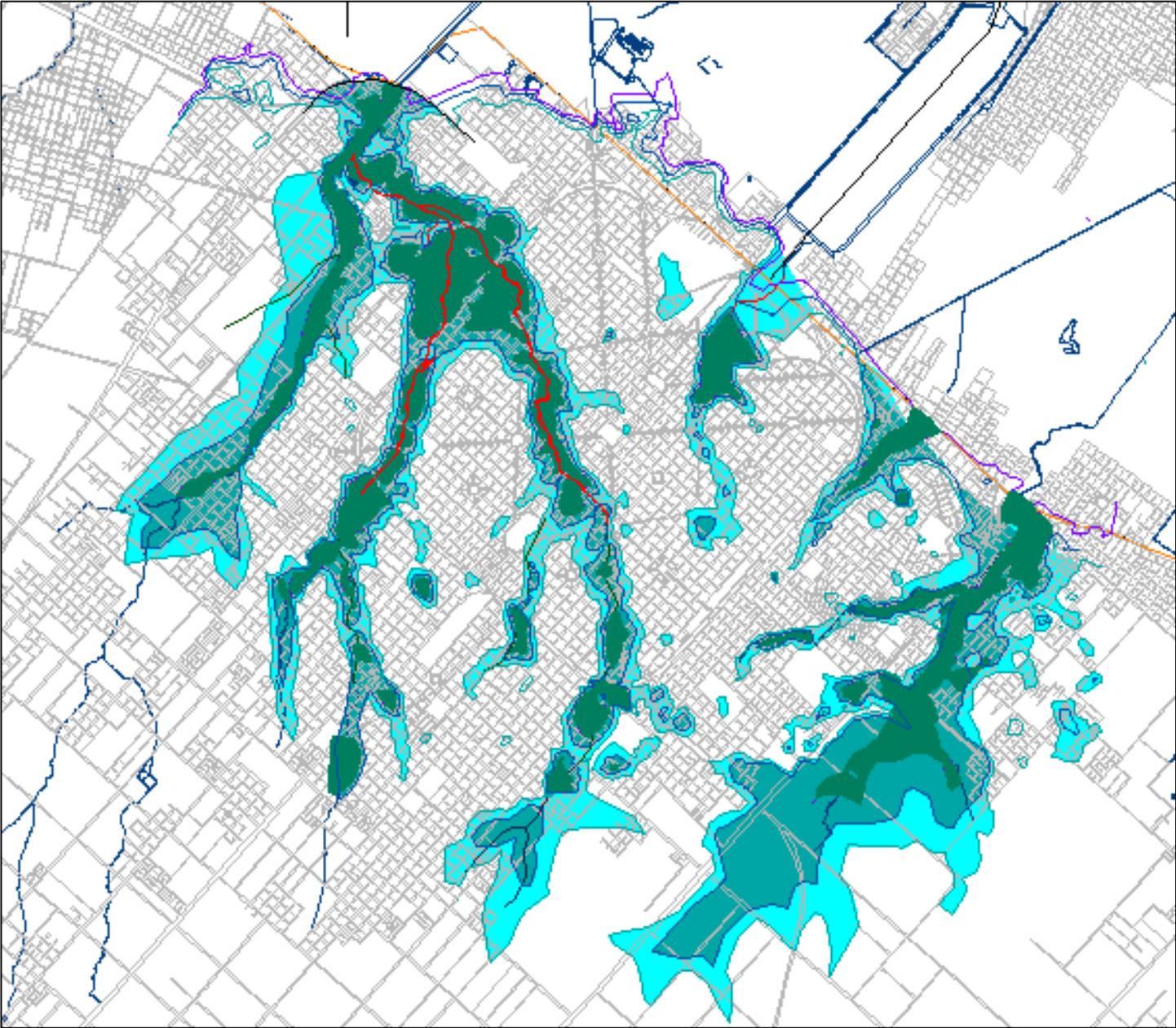
## COMPONENTE FÍSICA

Mapa de Área Inundables

Mapa de Peligrosidad

Mapa final de Peligrosidad

**MAPA DE RIESGO DE DAÑOS POR INUNDACIÓN**

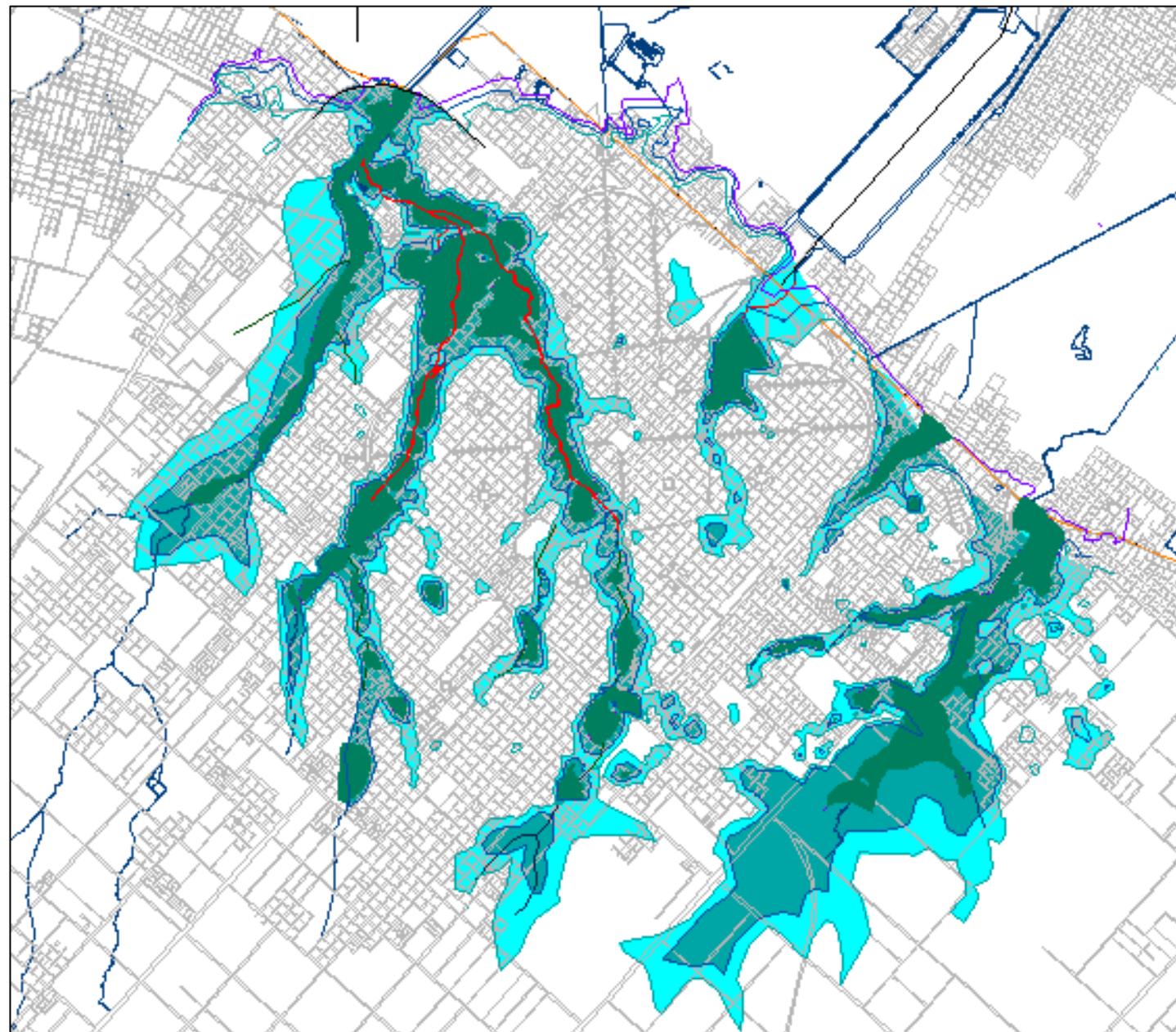
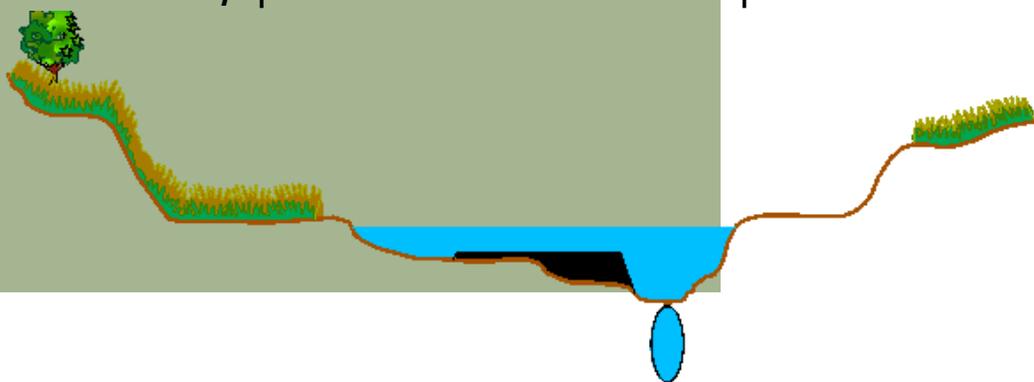


# Red Mayor de Drenaje

DURANTE EL EVENTO, SE IDENTIFICARON LAS "ÁREAS INUNDABLES" Y SE INDICARON DIFERENTES PROFUNDIDADES ALCANZADAS POR EL AGUA

Se puede observar que el agua ocupó las Planicies de Inundación, Naturales, en las cuales los cursos fueron entubados pero la geomorfología se mantuvo.

Aunque se han producido alteraciones como rellenos, que han modificado a las planicies...

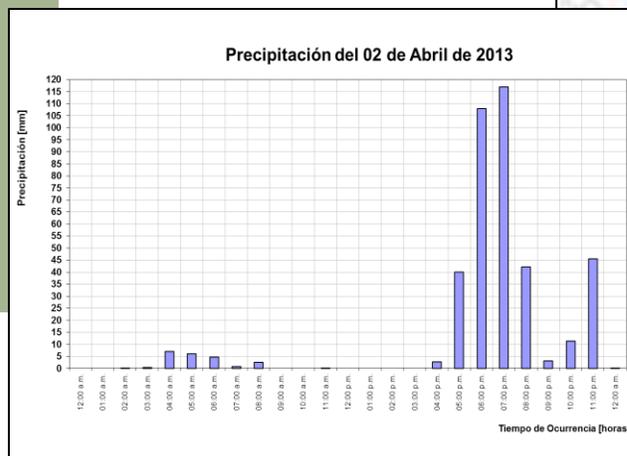
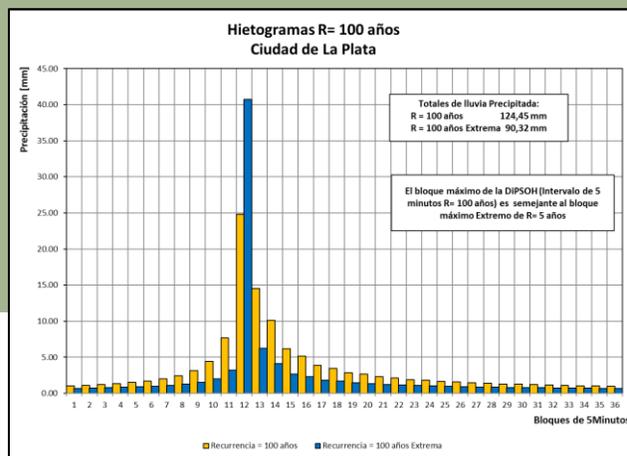
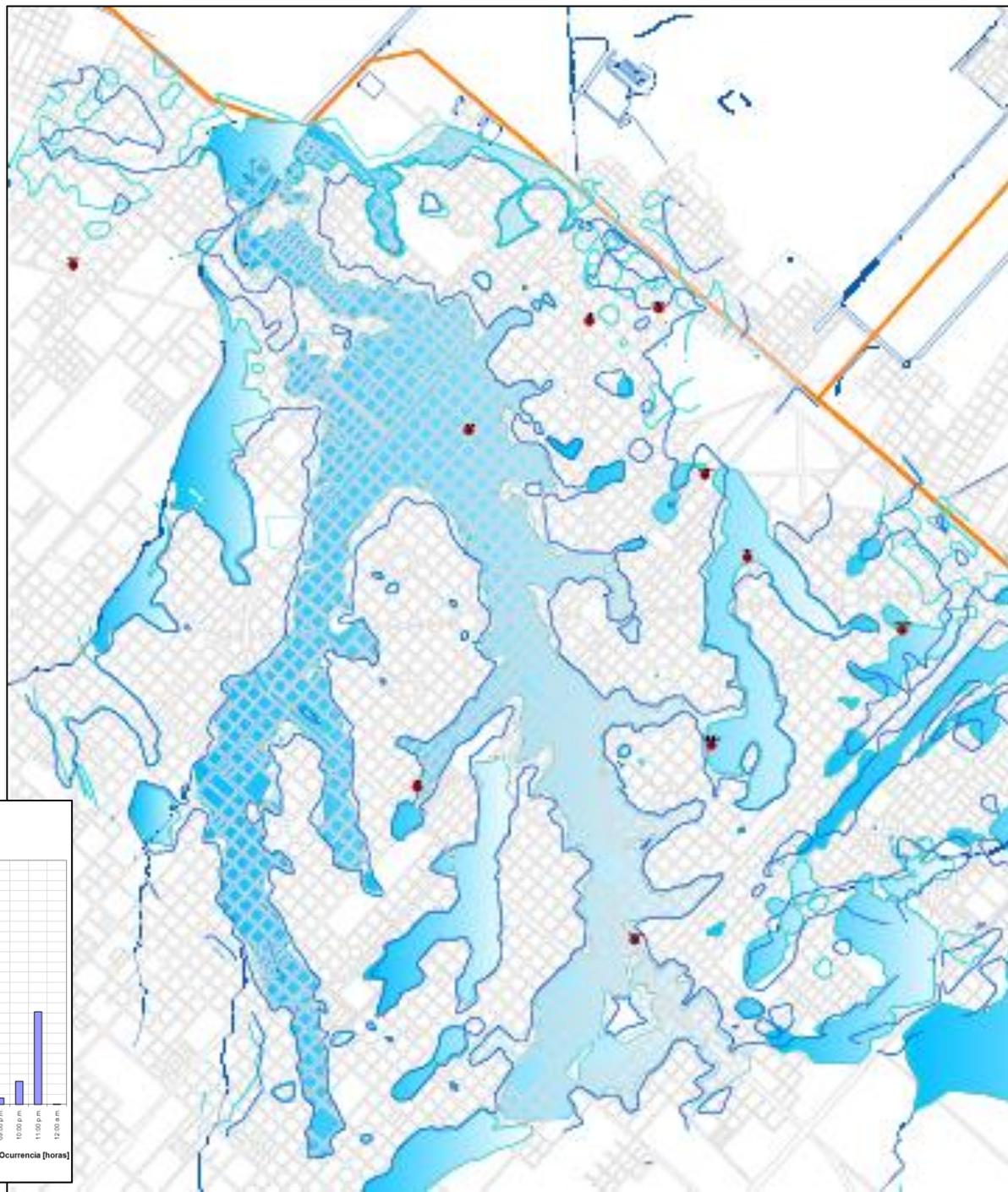


# Red Mayor de Drenaje

Aquí se comparan las “manchas” para R= 100 (Probabilidad de ocurrencia de la precipitación = 0.01) y la correspondiente al 2 de Abril de 2013.

La primera de las apreciaciones, es que ambas manchas son bastante parecidas, a pesar de la diferencia de volúmenes precipitados:

124,45 mm en 3 Hs para R=100 años, contra 392,20 mm en 24 Hs para el 2 de Abril de 2.013



## INUNDACIÓN FLUVIAL e INUNDACIÓN PLUVIAL: ANEGAMIENTOS



El agua no sobrepasa la altura del cordón cuneta de la calle. Genera, en muchos lugares, problemas a la circulación vehicular y sobre todo, peatonal.



## INUNDACIÓN FLUVIAL e INUNDACIÓN PLUVIAL: ANEGAMIENTOS



El agua sobrepasa la altura del cordón cuneta de la calle, pero no ingresa en viviendas.

Genera, en muchos lugares, problemas a la circulación vehicular y sobre todo, peatonal.

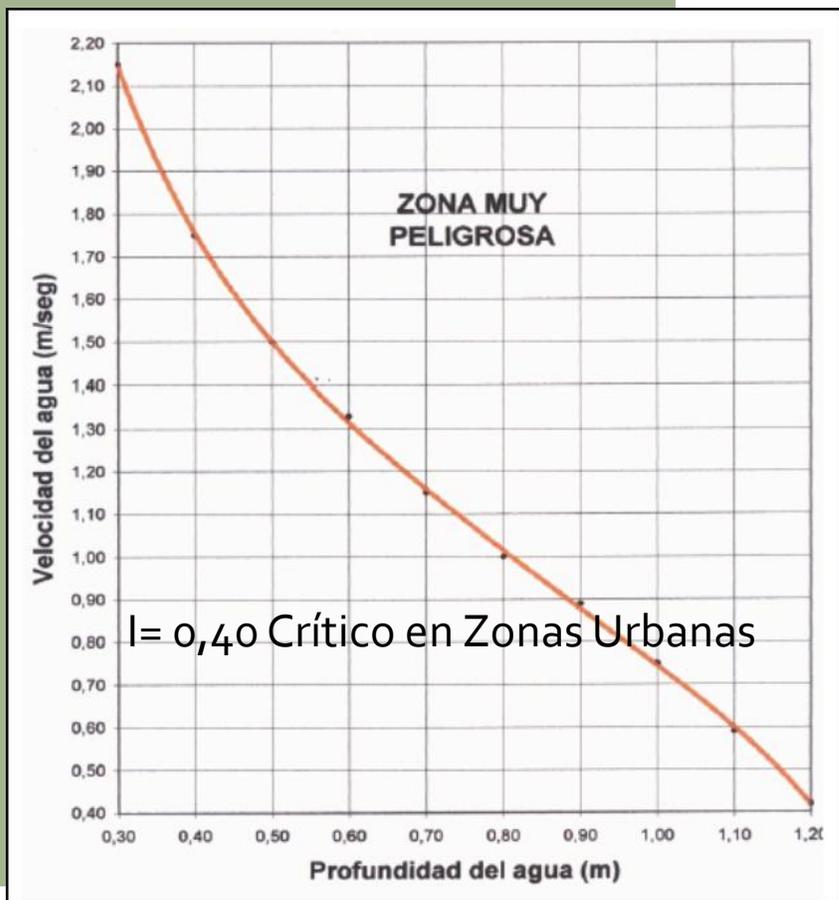
## INUNDACIÓN FLUVIAL e INUNDACIÓN PLUVIAL: ANEGAMIENTOS



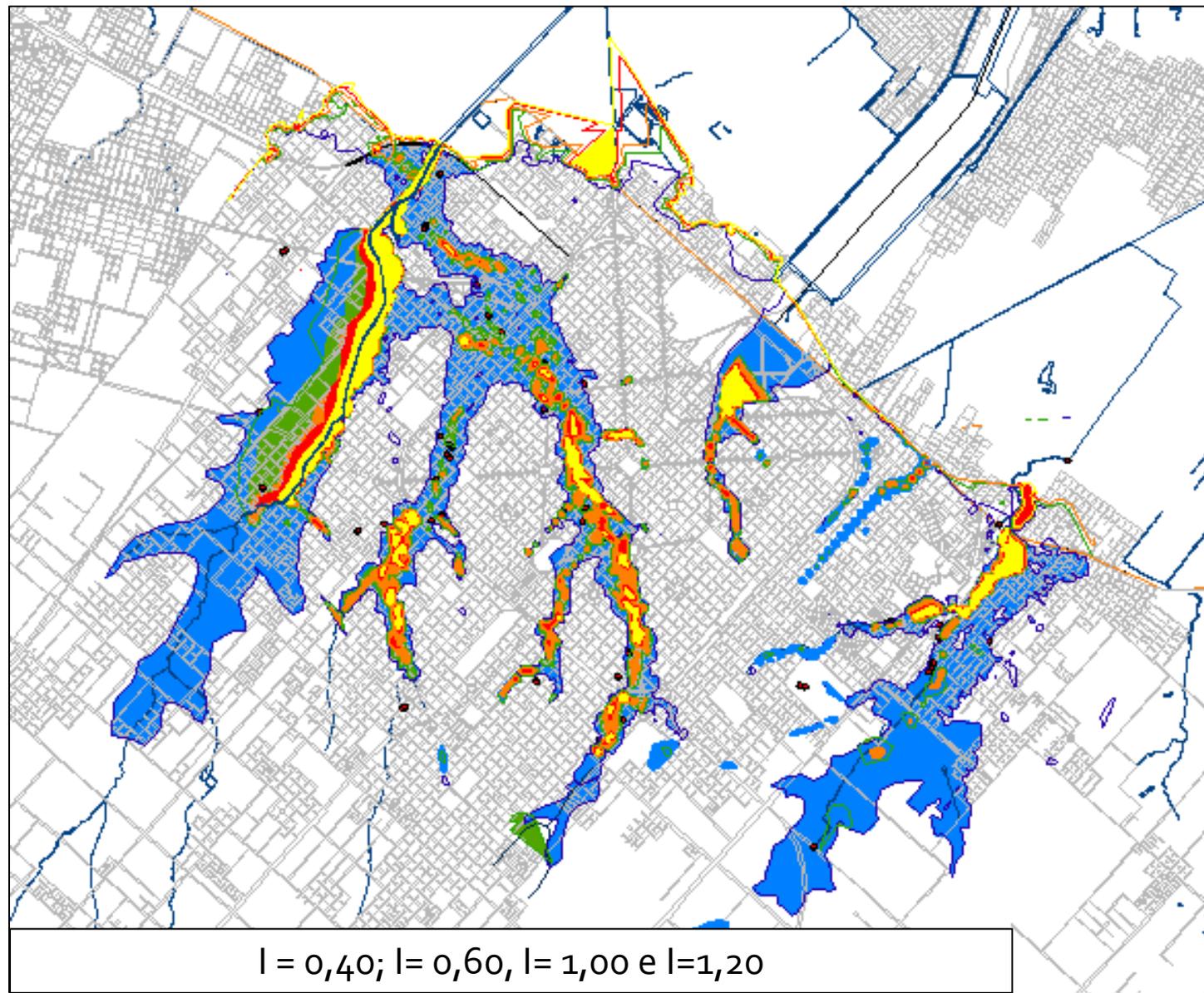
Anegamiento: las calles son intransitables al igual que veredas. El agua NO ingresa en las casas. Son situaciones que al modelarlas matemáticamente definen escenarios de peligrosidad.



# Peligrosidad de la Cuenca: "h" y "v" en CALLES



Fuente: Ing. Guillermo Malinow



Para  $R = 100$  años, se graficaron los Indicadores de "INTENSIDAD DE SUMERSIÓN"  $I$ , para determinar los "MAPAS DE PELIGROSIDAD" junto a las áreas anegables.

$I = h \times v$

## INUNDACIÓN FLUVIAL e INUNDACIÓN PLUVIAL: AGUA EN VIVIENDAS



El agua ingresa a las viviendas: existen varios tipos de afectaciones, según la altura alcanzada.

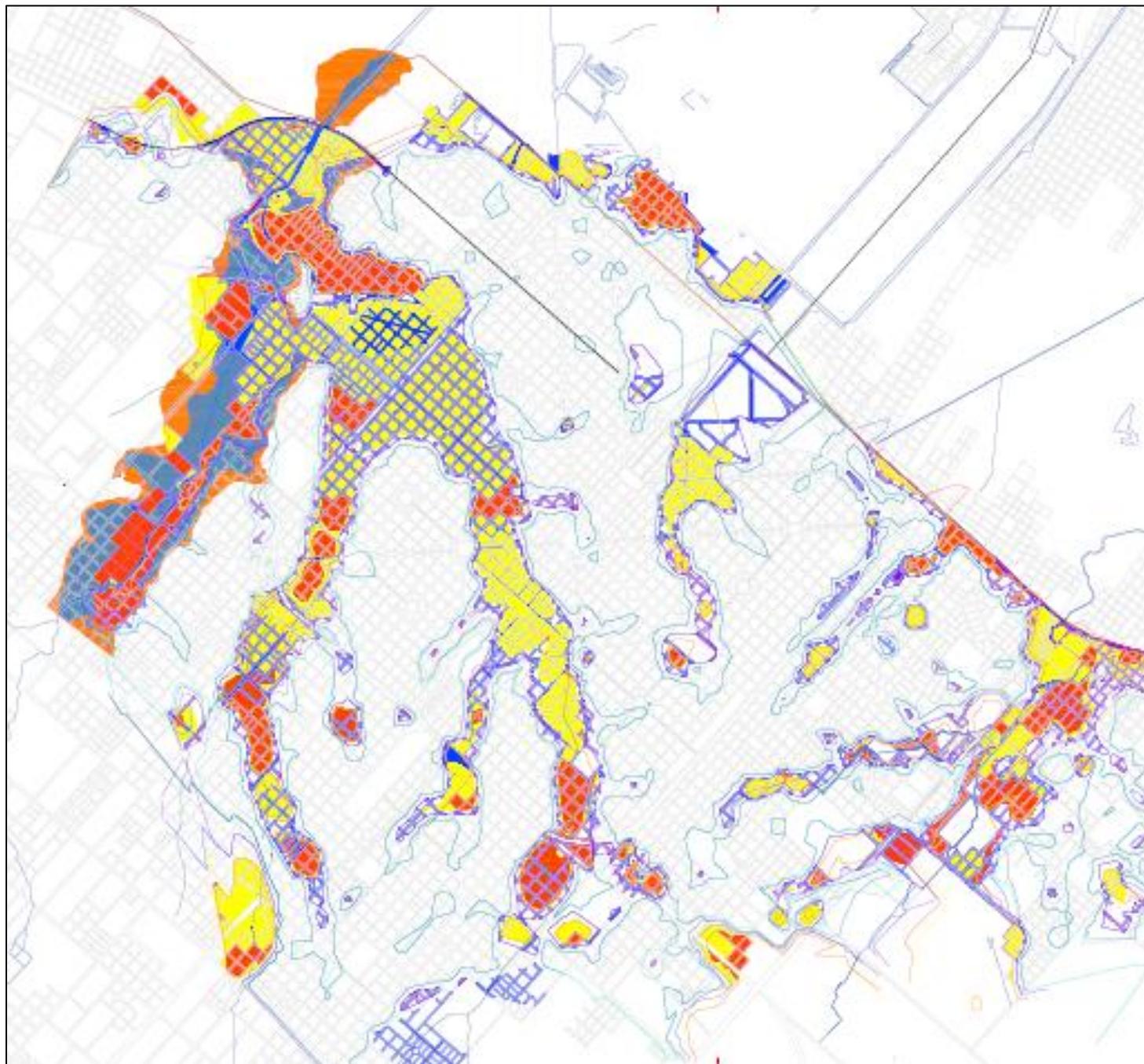


# Peligrosidad de la Cuenca: "h" y "v" en VIVIENDAS

## REFERENCIAS

	INUNDACIÓN ORIGEN FLUVIAL CON OBRAS
	INUNDACIÓN DE ORIGEN FLUVIAL SIN OBRAS
	30 cm de AGUA DENTRO DE VIVIENDAS SIN OBRAS
	30 cm de AGUA DENTRO DE VIVIENDAS CON OBRAS
	ANEGAMIENTO DE CALLES SIN OBRAS
	ANEGAMIENTO DE CALLES CON OBRAS
	15 cm de AGUA EN CORDONES CUNETA

2 de Abril de 2013 Situación SIN y CON OBRAS



# Peligrosidad de la Cuenca "Severidades"

Se evalúa el Parámetro de Vuelco:

$$I = h \times v$$

Y se evalúa el Parámetro de

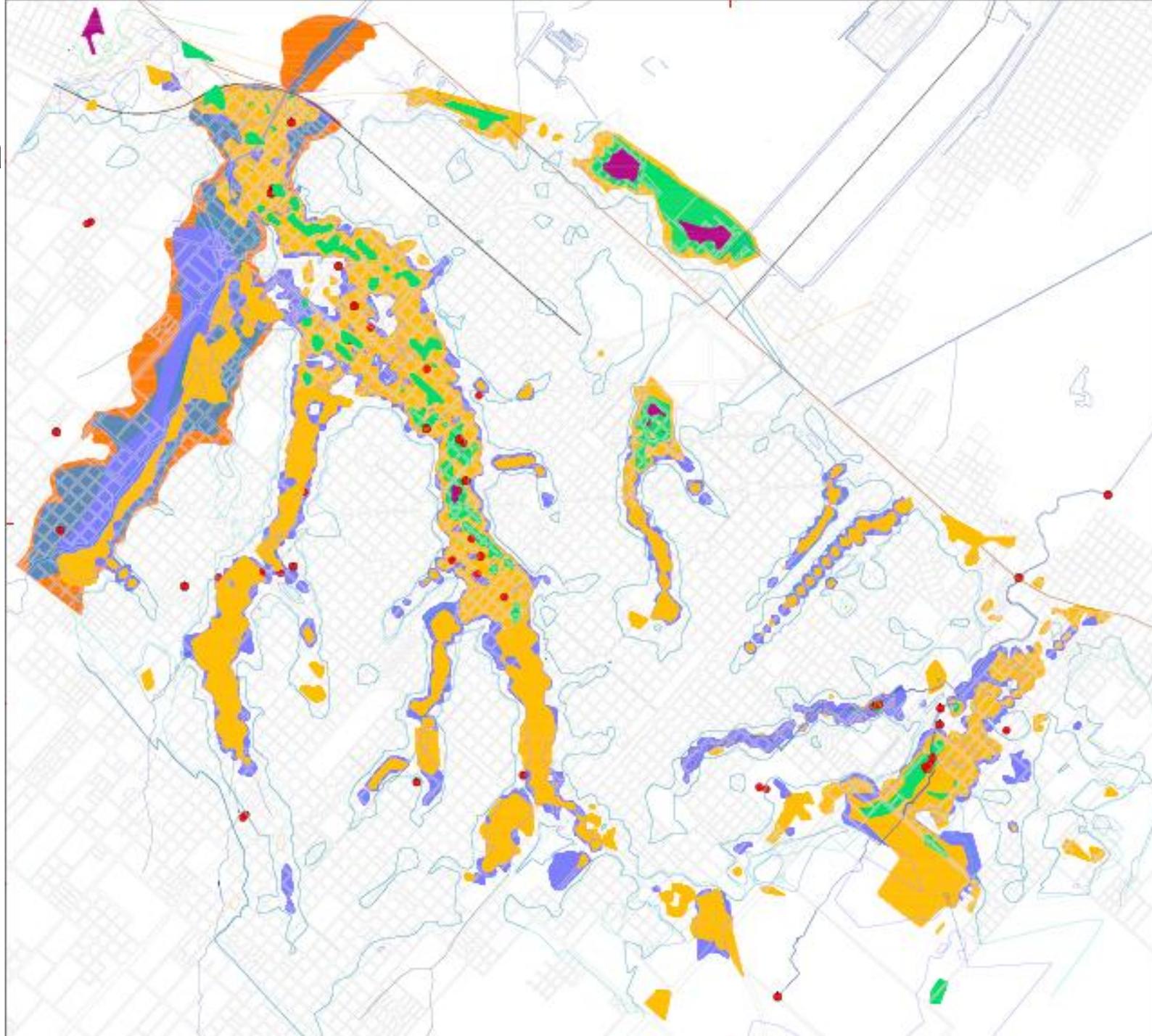
Deslizamiento:

$$S = h \times v^2$$

## REFERENCIAS

-  INUNDACIÓN ORIGEN FLUVIAL CON OBRAS
-  Severidad S = 1
-  Severidad S = 2
-  Severidad S = 3
-  Agua en calles 15 cm altura cordón cuneta
-  Parámetro de Vuelco  $I = 0.5 \text{ m}^2/\text{s}$
-  Fallecidos el 2 de Abril de 2013

2 de Abril de 2013 Situación SIN y CON OBRAS

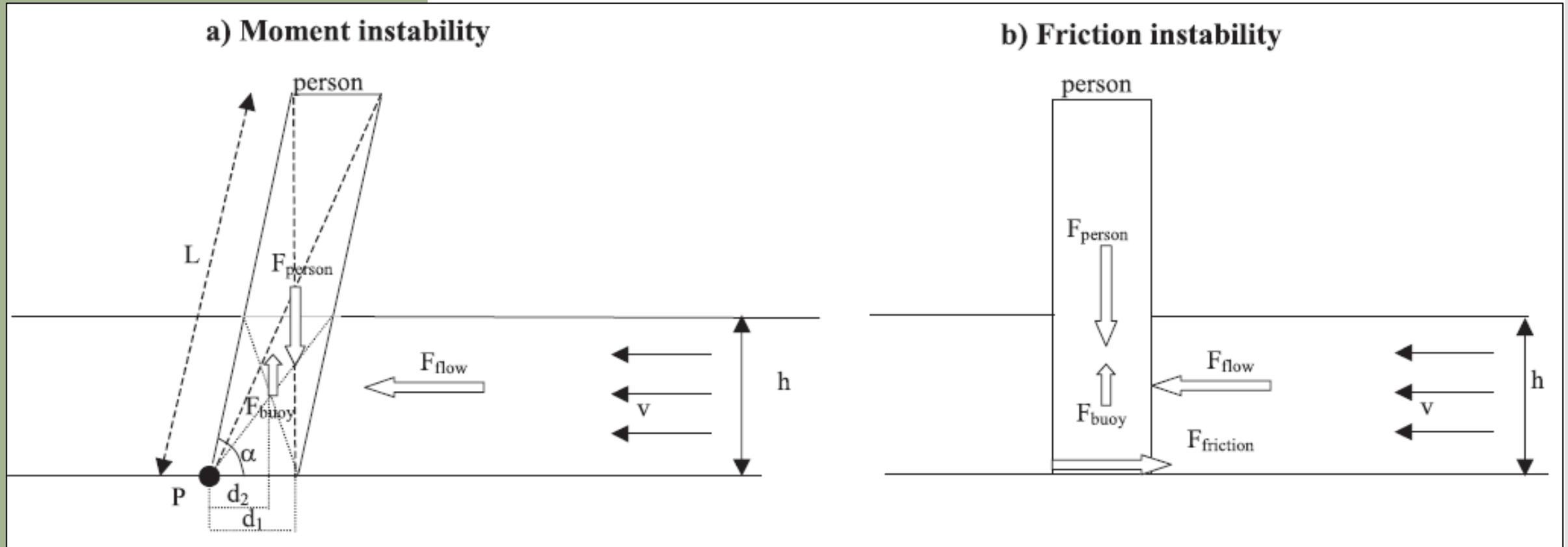


# Peligrosidad de la Cuenca: "Severidad" en calles

<i>Nivel de Severidad</i>		Calado $\gamma$ (m)	Velocidad $v$ (m/s)	Parámetro de Vuelco $I = v \gamma$ (m <sup>2</sup> /s)	Parámetro de Deslizamiento $S = v^2 \gamma$ (m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )
<b>S0</b>	No se esperan víctimas	< 0,45	< 1,50	< 0,50	< 1,23
<b>S1</b>	Severidad Leve. Dificultad para caminar	< 0,80	< 1,60	< 1,00	< 1,23
<b>S2</b>	Severidad Media. Pérdidas de estabilidad. Vehículos pierden adherencia	< 1,00	< 1,88	< 1,00	< 1,23
<b>S3</b>	Severidad Elevada. Alto riesgo para personas en el exterior = arrastre	> 1,00	> 1,88	> 1,00	> 1,23
<b>S4</b>	Severidad Extrema. Daños a edificios	> 1,00	> 1,88	> 3,00	> 1,23

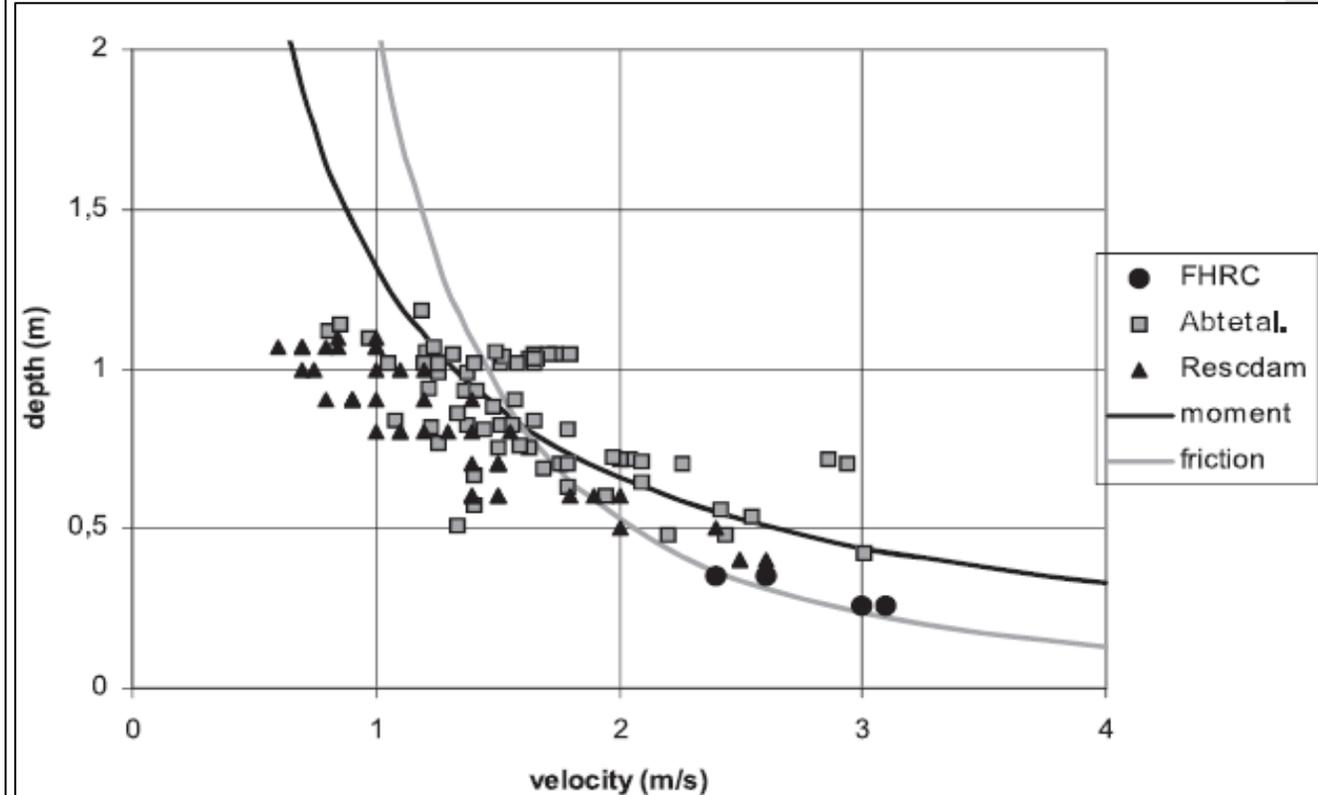
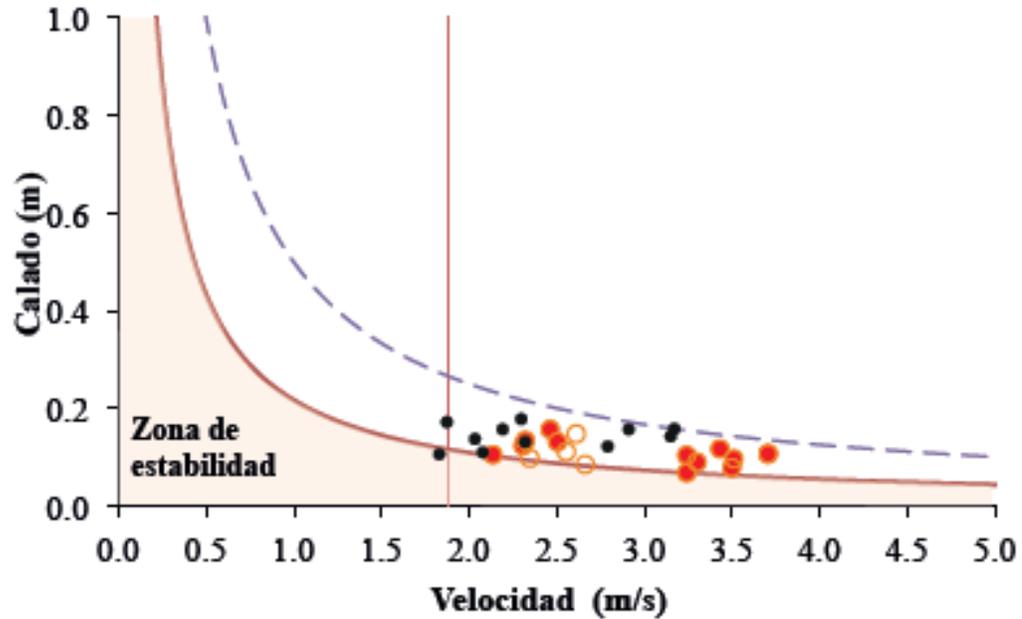
Desde fondo cuneta

# Arrastre y vuelco de Personas, en vía pública, por corrientes de agua



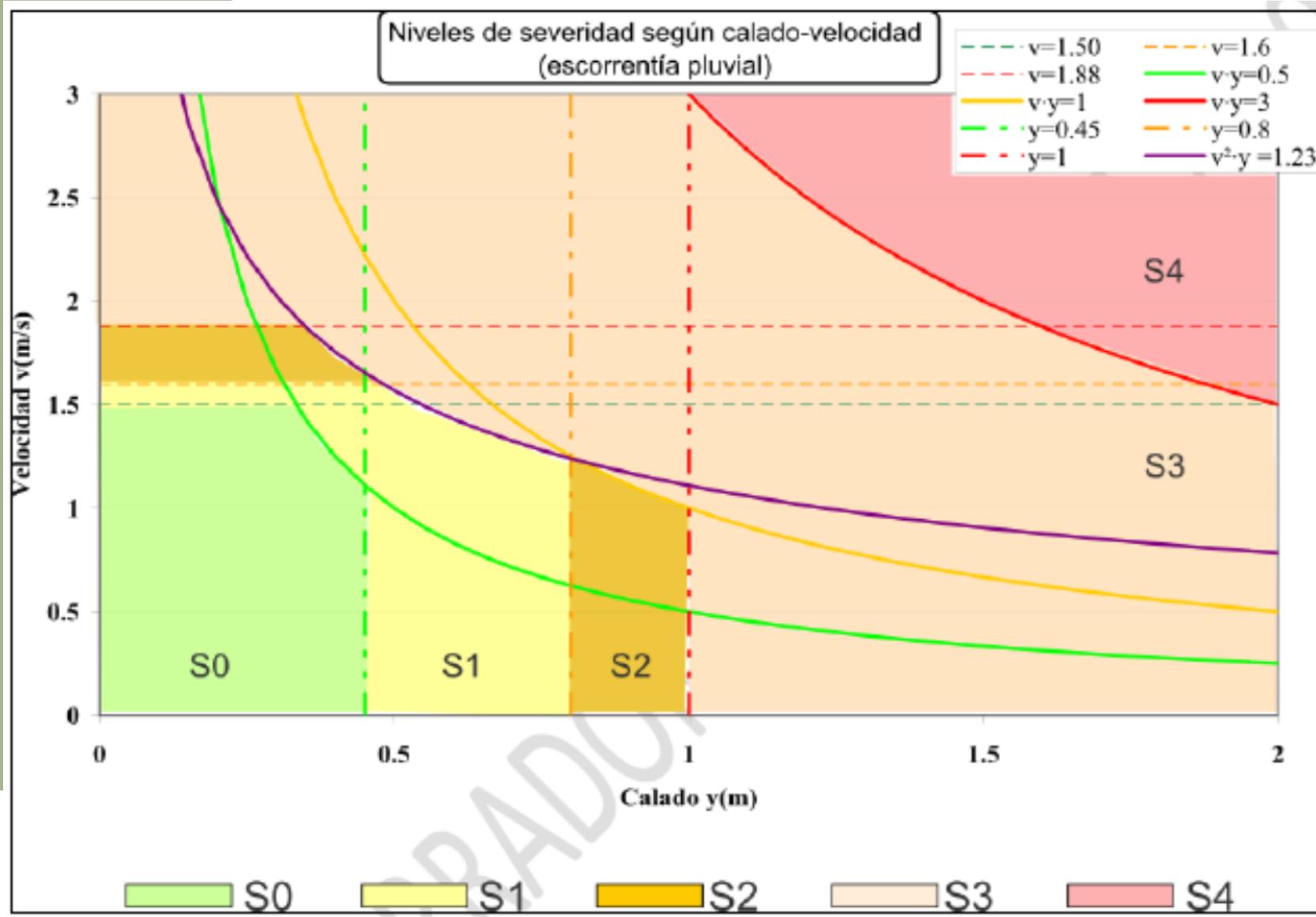
INUNDACIÓN FLUVIAL e INUNDACIÓN PLUVIAL

# Arrastre y vuelco en calles y avenidas por corrientes de agua



INUNDACIÓN FLUVIAL e INUNDACIÓN PLUVIAL

# Arrastre y vuelco en calles y avenidas por corrientes de agua



# INUNDACIÓN FLUVIAL e INUNDACIÓN PLUVIAL

2 de Abril: Severidades S1, S2 y S3 y Velocidades de 1.60 m/s o mayores



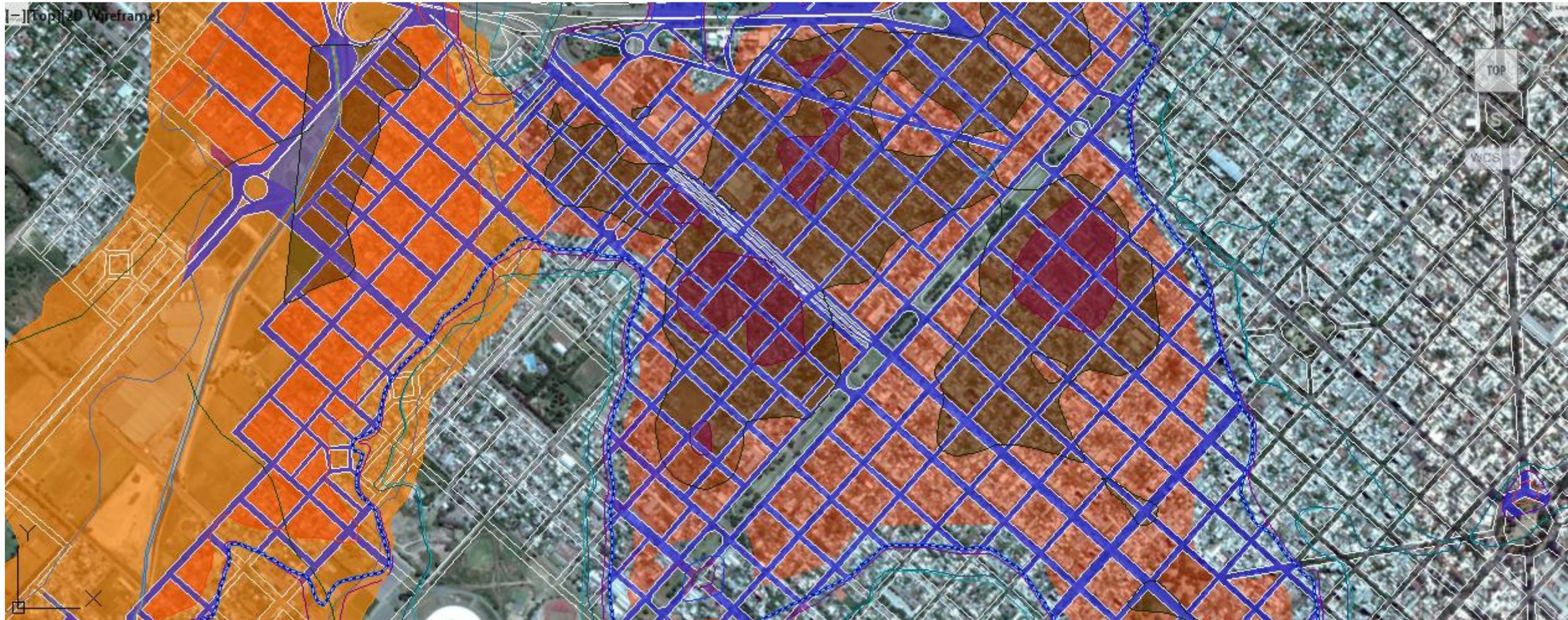
## SITUACIÓN DE LA CUENCA PARA TODO TIPO DE LLUVIAS

La zona de 9 entre 33 y 34 podría llegar a tener agua dentro de las viviendas de 30 cm para la R= 100



## SITUACIÓN DE LA CUENCA PARA TODO TIPO DE LLUVIAS

La zona de 9 entre 33 y 34 podría llegar a tener agua dentro de las viviendas de 30, 85 y 120 cm para la lluvia del 2 de Abril si se repitiera nuevamente (es menor que la PMP).



# Ejecución de Canalización del A° del Gato y Derivadores

Si bien el nombre es semejante, la literatura reserva el término de **Inundación Fluvial** a aquellos desbordes generados por el agua que escurre por un arroyo o río. Es agua que es transportada por el arroyo.

En este estudio, el agua transportada por el A° del Gato proviene de la cuenca alta (aguas arriba de la avenida 143) y el agua que ingresa al arroyo por los conductos existentes !!!

Calle 30

Calle 25

Calle 17 (menor)

Calle 11 (aparece a la altura de calle 9)

Calle 1 (paralelo al terraplén de la vía)

Con los nuevos derivadores se incorporan los conductos de:

Calle 143

Calle 139

Calle 131

# Red Menor de Drenaje

## SITUACION CON OBRAS PROYECTADAS CANALIZACIONES Y DERIVADORES DE 143, 139 y 131

Recurrencia [años]	Caudales Máximos [m <sup>3</sup> /s]								
	Ag Arriba 143	Derivador 143	Derivador 139	Derivador 131	Conducto 30	Conducto 25	Conducto 11	Conducto 1	Ag Abajo FFCC
2	33.16	4.86	0.93	38.51	4.19	45.45	74.19	0.74	179.22
5	50.96	6.96	2.40	46.28	8.66	55.15	79.85	0.79	226.92
10	65.36	8.54	3.71	53.38	9.74	59.64	83.85	0.81	237.90
25	75.63	9.67	3.64	51.17	10.76	58.48	83.83	0.81	255.11
50	109.64	10.79	5.64	55.01	11.03	61.15	86.14	0.82	258.36
100	122.38	11.88	6.70	58.78	12.31	63.17	88.31	0.82	268.75
PMP	287.07	24.60	25.09	126.19	25.07	63.63	82.80	0.85	758.65

La incorporación de derivador es, en las modelaciones matemáticas, permiten obtener los resultados que se presentan, con casos a considerar en el conducto derivador de calle 30, por ejemplo.

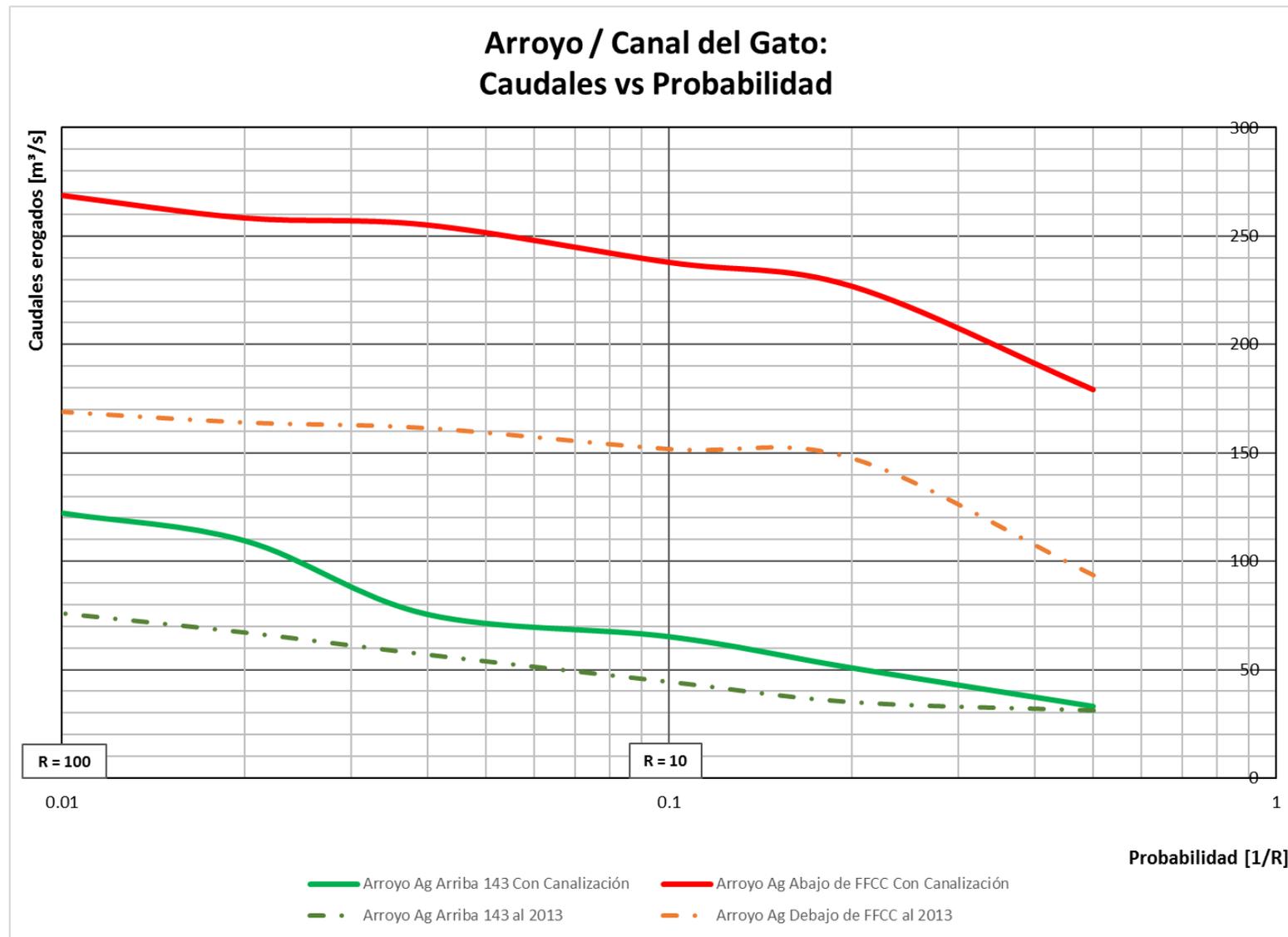
Los caudales que se “incorporan” o aumentan en el A° del Gato, en el tramo comprendido entre Av. 143 y vías FF.CC. Roca, aumentan significativamente, pasando bajo las vías, en el orden de 100 m<sup>3</sup>/s en más, para Recurrencias entre 2 y 100 años.

# Cambios por Obras en Ejecución: Arroyo

## Red Menor de Drenaje

El caudal drenado por la Red Menor, está condicionado a su capacidad máxima de diseño y, en términos hidráulicos, a la pendiente de la línea de energía.

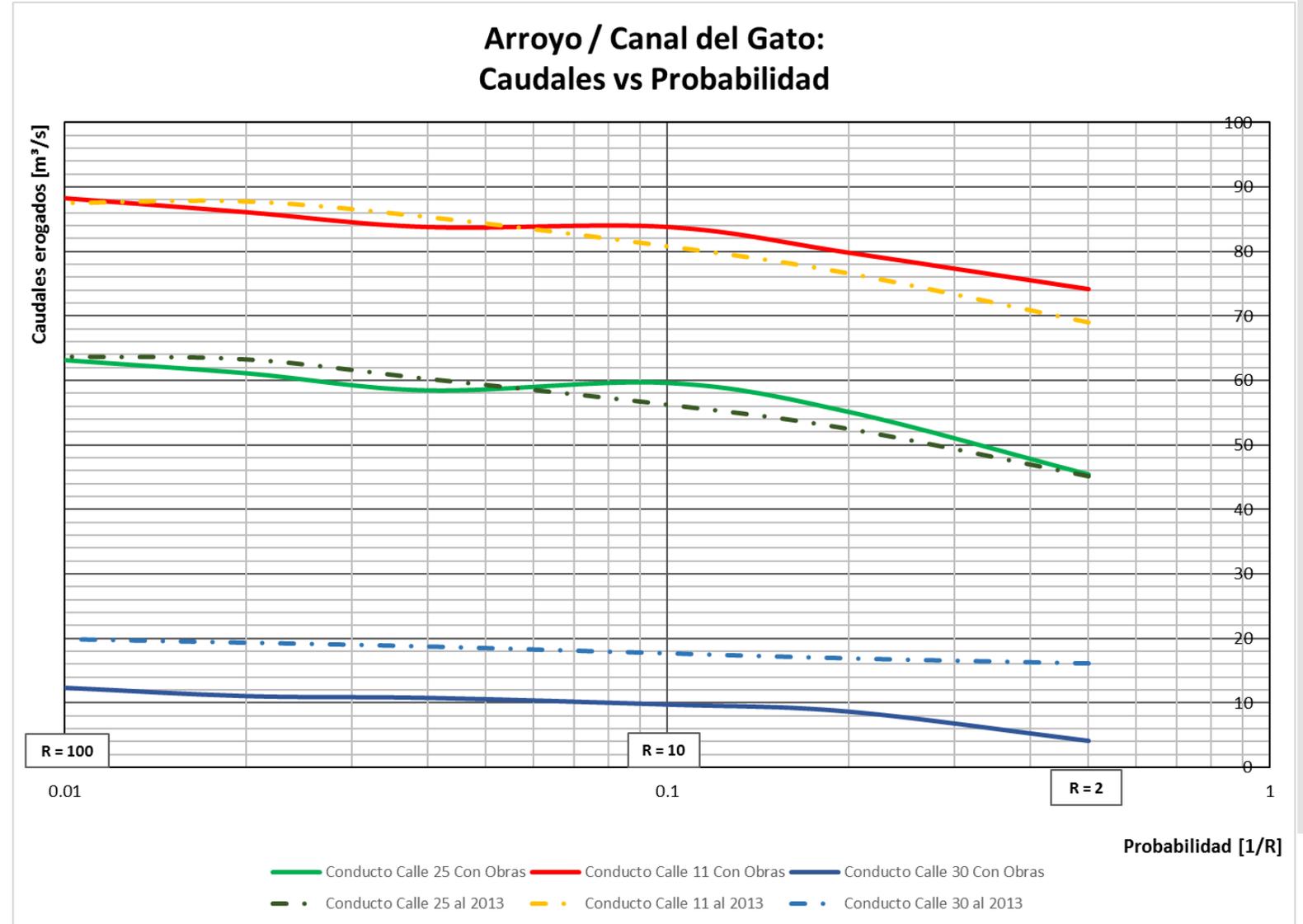
Para que la pendiente aumente, a partir del funcionamiento a presión de los conductos, implica que ésta alcance el Terreno Natural, y aún algo más.



# Cambios por Obras en Ejecución: Derivadores

## Red Menor de Drenaje

Lo mismo se puede analizar para los troncales principales como son el conducto que descarga en el Arroyo del Gato próximo a la calle 30, el conducto de calle 25 y el conducto de calle 11.



# Inundación Pluvial: 11 y 47

Esquina de 11 y 47 correspondiente al día 2 de Abril de 2.013

Se observan autos "flotando", un movimiento superficial tipo "ola" pero junto a las líneas municipales la altura no aparenta ser muy elevada.

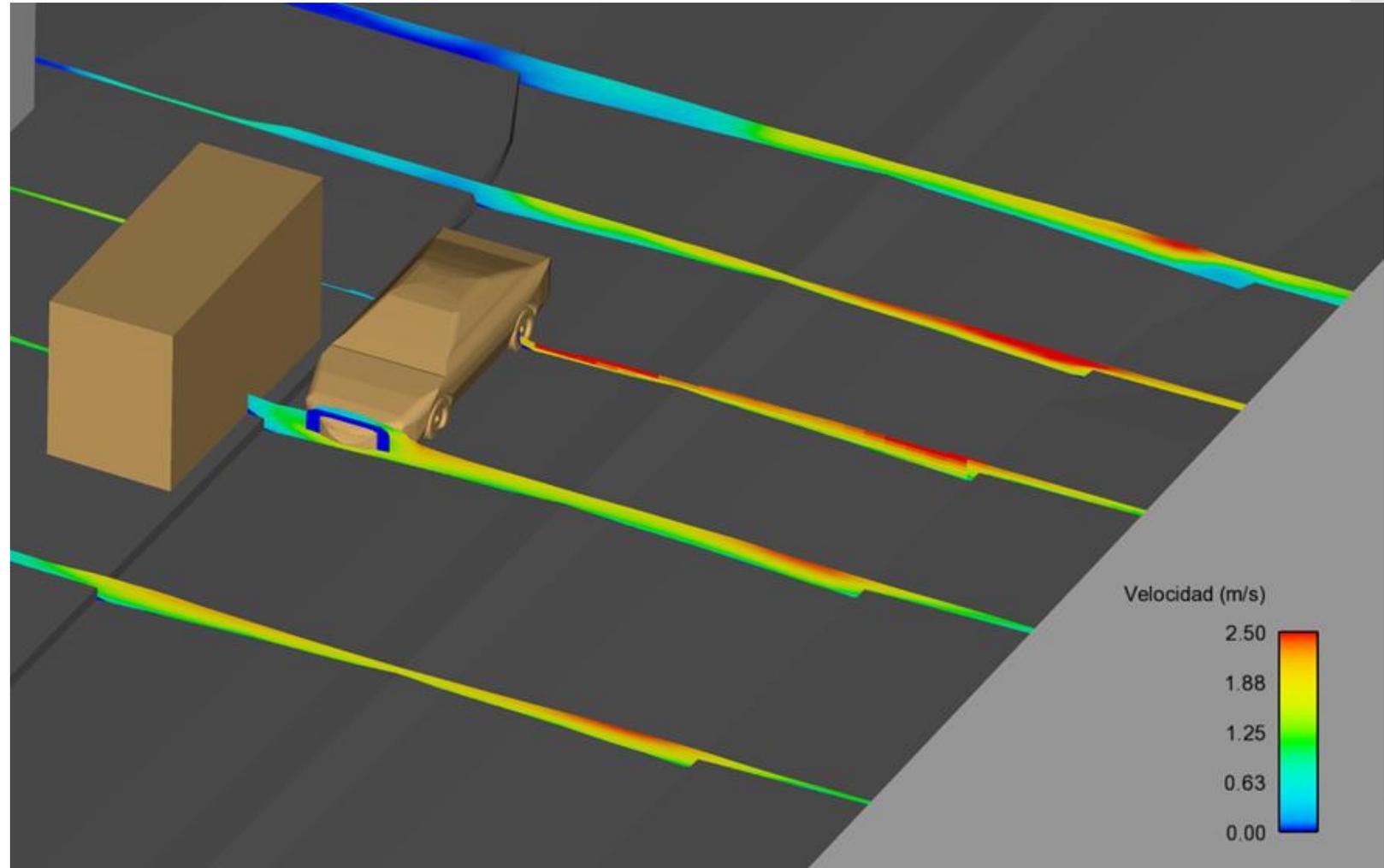
La calle 47, desde calle 10 a calle 11 tiene fuerte pendiente.



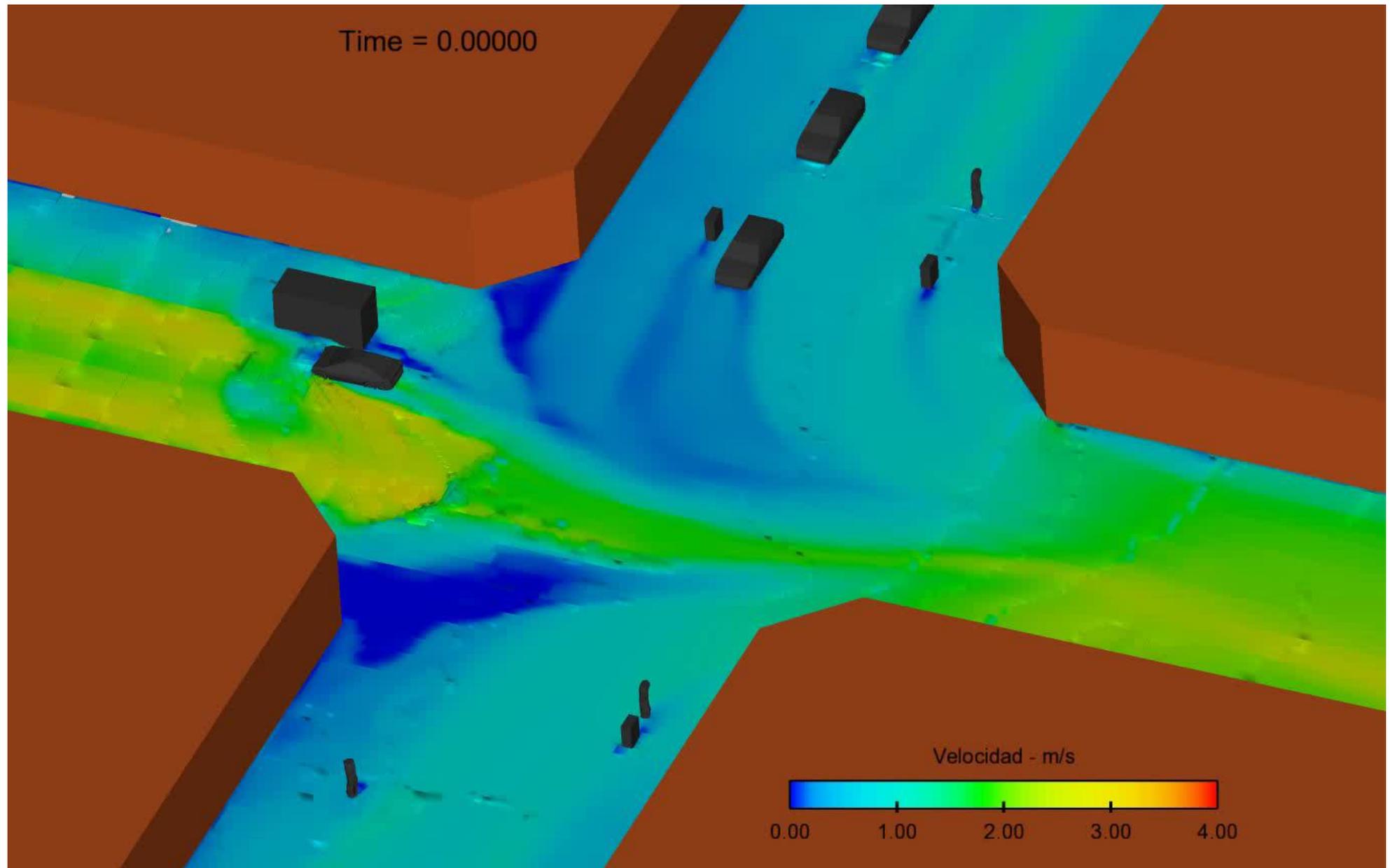
# Modelación Matemática de 11 y 47

Si bien las velocidades medias y las alturas del agua pueden resultar bajas, el efecto de los “obstáculos” o “mobiliario urbano sumado a la presencia de vehículos, genera una distribución transversal de la velocidad varias veces mayor con los cual, los valores de  $I$  deben ser cuidadosamente utilizados.

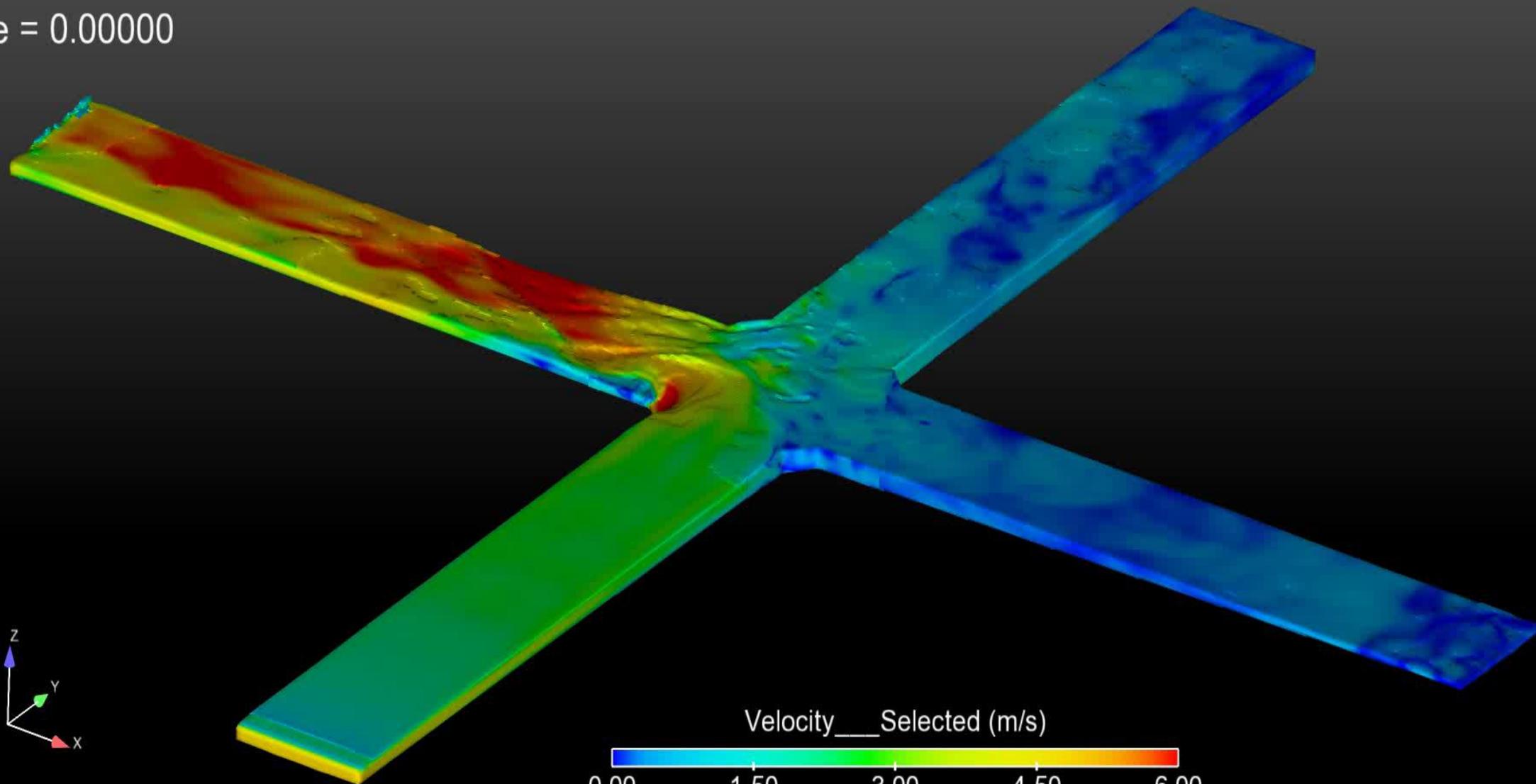
Modelación realizada en CFD



Time = 0.00000



Time = 0.00000



# Consideraciones

La canalización del Arroyo del Gato es una condición necesaria pero no suficiente, en lo que hace al drenaje de la cuenca urbana (inundación pluvial).

Es necesaria la segunda etapa de obras que mitiguen los anegamientos (¿?) de las calles y avenidas.

Quizás, los objetivos deban orientarse a mitigar los valores de peligrosidad  $S_3$ , que afectan a la vida de personas, junto con Medidas No Estructurales orientadas al ordenamiento urbano, ocupación del suelo y Usos del Suelo y espacios comunes.

<i>Nivel de Severidad</i>		Calado y (m)	Velocidad v (m/s)	Parámetro de Vuelco $I = v$ y ( $m^2/s$ )	Parámetro de Deslizamiento $S = v^2$ y ( $m^2/s^2$ )
<b>S2</b>	Severidad Media. Pérdidas de estabilidad. Vehículos pierden adherencia	<1,00	<1,88	<1,00	<1,23
<b>S3</b>	Severidad Elevada. Alto riesgo para personas en el exterior = arrastre	>1,00	>1,88	>1,00	>1,23



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA



REGIONE AUTONOMA  
FRIULI VENEZIA GIULIA

# Muchas Gracias



Comune di Monfalcone  
Provincia di Gorizia



POLO  
TECNOLOGICO  
PORDENONE  
Andrea Galvani

**Protezione Civile**  
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia



Cámara de Comercio Italiana  
en la República Argentina  
FUNDADA EN 1884



UNCUYO  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CUYO