



2011

Tercer Seminario
de Potamología
"José Antonio Maza Álvarez"

Curso básico de Hidráulica fluvial

Prevención de inundaciones

Dr. Óscar A. Fuentes Mariles
Investigador del Instituto de Ingeniería; UNAM

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas 24 agosto 2011

1. INTRODUCCIÓN

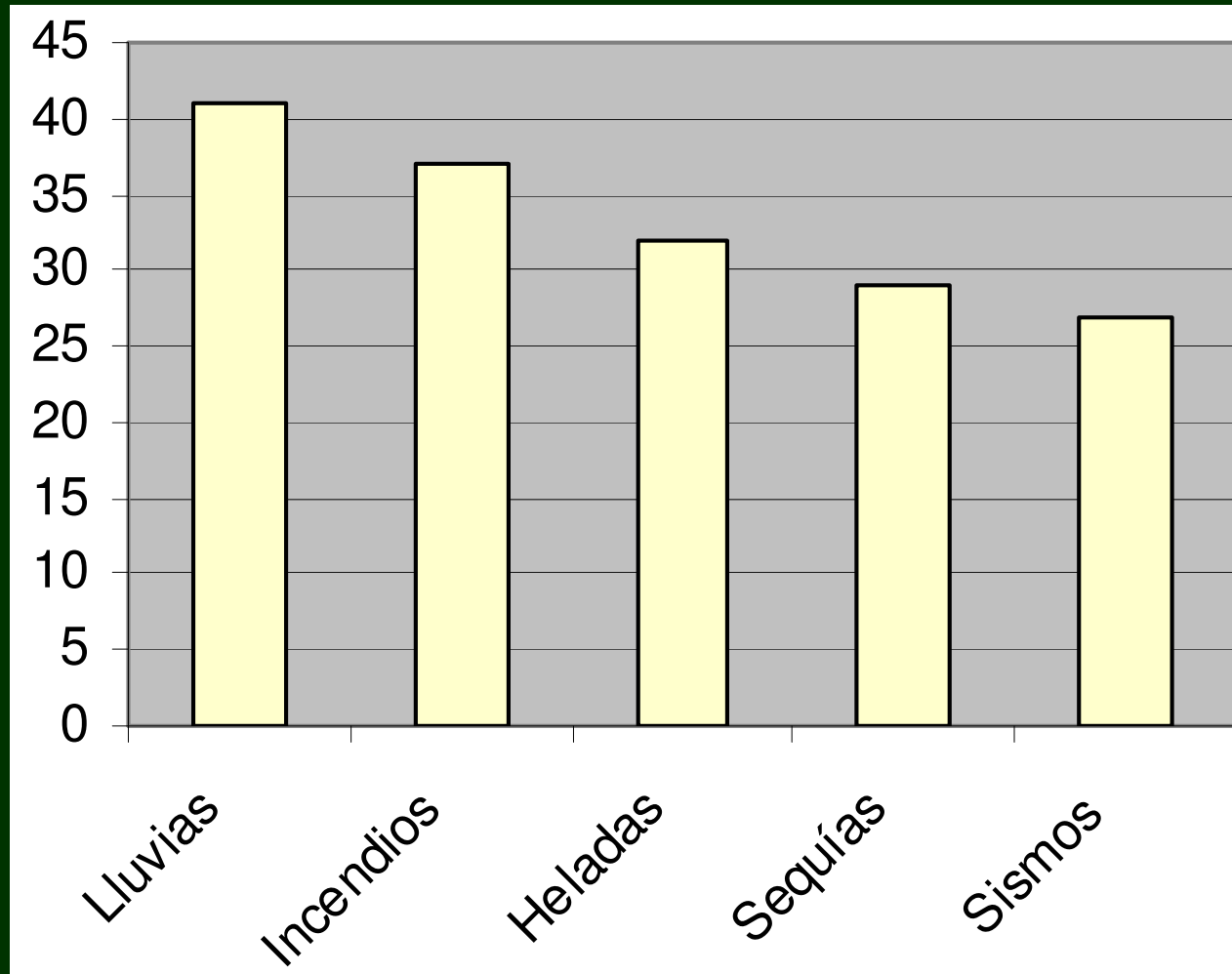
FENÓMENO NATURAL

La Naturaleza se manifiesta viva de diversas maneras: lluvia, mareas, vientos, sismos, terremotos, geísers, volcanes. Algunas expresiones de la naturaleza son diarias y estamos acostumbrados a ellas, y otras nos conmueven profundamente pues ocurren esporádicamente.

Entre las últimas se tienen a los llamados " fenómenos naturales extremos " (Tsunami -maremoto-, lluvias intensas, tornados, huracanes, heladas severas, sequías prolongadas, sismos de grado alto...,)".



PORCENTAJE DEL TERRITORIO NACIONAL EXPUESTO A FENÓMENOS NATURALES (1900-2004)



INUNDACIÓN

*Cuando el agua ocupa temporalmente a una zona de la superficie del terreno con un espesor superior a 25 cm se dice que **existe una inundación**.*

Los daños aumentan cuanto más tiempo se mantiene sobre un lugar y la profundidad es mayor.



Villahermosa, Tabasco.
Octubre 1998.

Tabla 10. Principales desastres naturales, 1980-2008

Año	Acontecimiento	Pérdidas humanas	Daños (millones de dólares)
1980	Inundaciones	3	\$87
1982	Erupciones volcánicas	1,700	\$117.0
	Inundaciones	8	\$114.6
1985	Sismo en ciudad de México ¹	6,000	\$4,104.0
	Inundaciones	43	\$39.46
1987	Frentes fríos	6	\$0.3
1988	Huracán Gilberto	327	\$76.0
	Otros huracanes	417	\$597.6
	Heladas	30	\$0.6
1990	Heladas	52	\$1.3
	Huracán Diana	138	\$80.7
	Inundaciones	200	\$2.5
1991	Inundaciones	5	\$0.7
1992	Frentes fríos	64	\$78.0

1993	Erupciones Popocatepetl	5	\$12.0
	Frentes frios	23	\$95.4
1995	Huracán Ismael	56	\$26.0
	Huracán Opal	14	\$124.7
1996	Heladas	224	\$5.3
1997	Huracán Paulina	228	\$447.8
1998	Lluvias torrenciales	199	\$602.7
2002	Huracán Isidore ²	15	\$950.0
2003	Sismo en Colima	29	\$95.0
2005	Huracán Stan ²	98	\$2,009.0
2005	Huracán Wilma ²	8	\$1,788.0
2007	Inundaciones Tabasco ³	0	\$3,069.8

¹ Cifras oficiales. Otras estimaciones cuantifican más de 10 mil muertos.

² Estimado.

³ Cifra obtenida del tipo de cambio promedio registrado por el Banco de México en el mes de Octubre 2007 (\$10.82).
Fuente: Conapred, Copal y Servicio Sismológico Nacional, 2007 y Segob 2008

FENÓMENO HIDROMETEOROLÓGICO



Es **suceso extraordinario en la atmósfera** que involucra al agua.

Algunos fenómenos hidrometeorológicos son:
Las tormentas de agua, nieve, granizo, las heladas, las sequías, las ondas cálidas y gélidas.

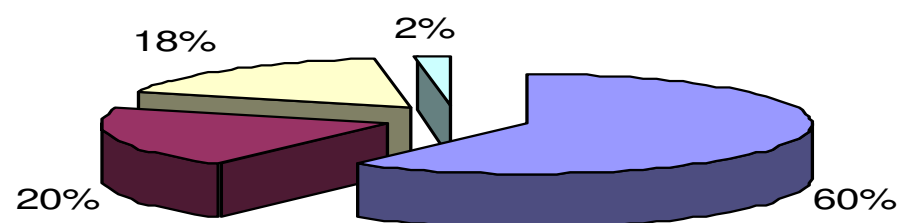
Dicc.-suceso atmosférico acuoso, como la lluvia o la nieve.

ORIGEN DE 102 DESASTRES OCURRIDOS EN MÉXICO DE 1900 A 2004

Tabla 9. Indicadores de desastres en México

Concepto	Total	Concepto	Total
Desastres ocurridos de 1900-2004	102	Población expuesta a fenómenos naturales (millones)	
Origen de los desastres (%)		Sismos	34.5
Hidrometeorológicos	60.0	Ciclones tropicales	11.3
Geológicos	20.0	Pérdidas por desastres naturales (millones de pesos)	
Químico-tecnológicos	18.0	Lluvias y ciclones	41.0
Sanitarios	2.0	Incendios	37.0
Territorio expuesto a fenómenos naturales (%)	20	Heladas	32.0
Lluvias y ciclones	41.0	Sequías	29.0
Incendios	37.0	Sismos	27.0
Heladas	32.0		
Sequías	29.0		
Sismos	27.0		

¹ Promedio sacado al agregar las cifras de 2005 y Tabasco 2007 a los que se tiene datos. (No hay datos del 2006)
Fuente: INEGI, 2008.



■ Hidrometeorológicos ■ Geológicos
■ Químicos-tecnológicos ■ Sanitarios

PREVENCIÓN

A lo largo de la historia, el hombre ha tratado de protegerse de los efectos de los fenómenos naturales que pueden causarle daños, con acciones como

- aprender a detectar signos premonitorios de la inminencia de algunos fenómenos naturales*
- desarrollar medidas para protección o control de ciertos eventos*
- mejorar la resistencia de sus construcciones*
- evitar asentarse en sitios particularmente expuestos a inundaciones*

Con frecuencia sus medidas de protección han sido rebasadas por los efectos del fenómeno natural.

PREVENCIÓN

Prevención: Medidas tomadas con **anticipación** al fenómeno natural para reducir o eliminar su impacto sobre la sociedad y medio ambiente (Material II - IDNDR, 1992).

Las medidas son de **emergencia o definitivas**.

El daño que provocan depende de la **preparación** del hombre y las medidas que realice con anticipación.

Prepararse y anticiparse de ellos es caro; no hacerlo, cuesta más.

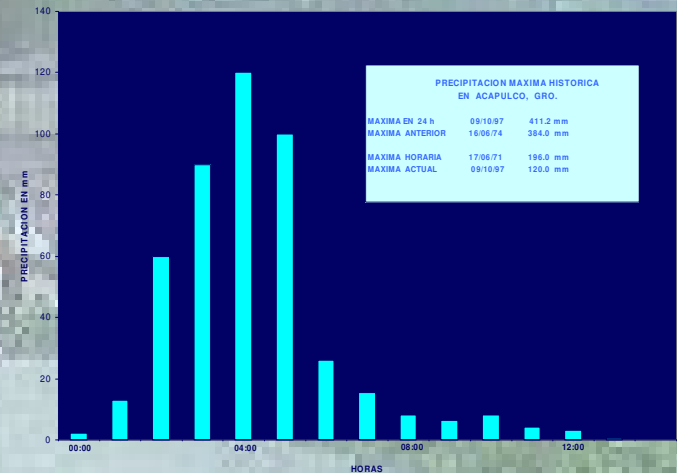
Dicc.- Prevención: preparación y disposición que se hace **anticipadamente** para evitar ó disminuir un daño. Preparar, aparejar y disponer con anticipación lo necesario para un fin.

2. OCURRENCIA Y CARACTERISTICAS DE LAS INUNDACIONES

CICLÓN TROPICAL

***ES UNA PERTURBACIÓN ATMOSFÉRICA DE ÁREA CASI CIRCULAR
CON PRESIONES QUE DISMINUYEN HACIA EL CENTRO DE ELLA.***₃

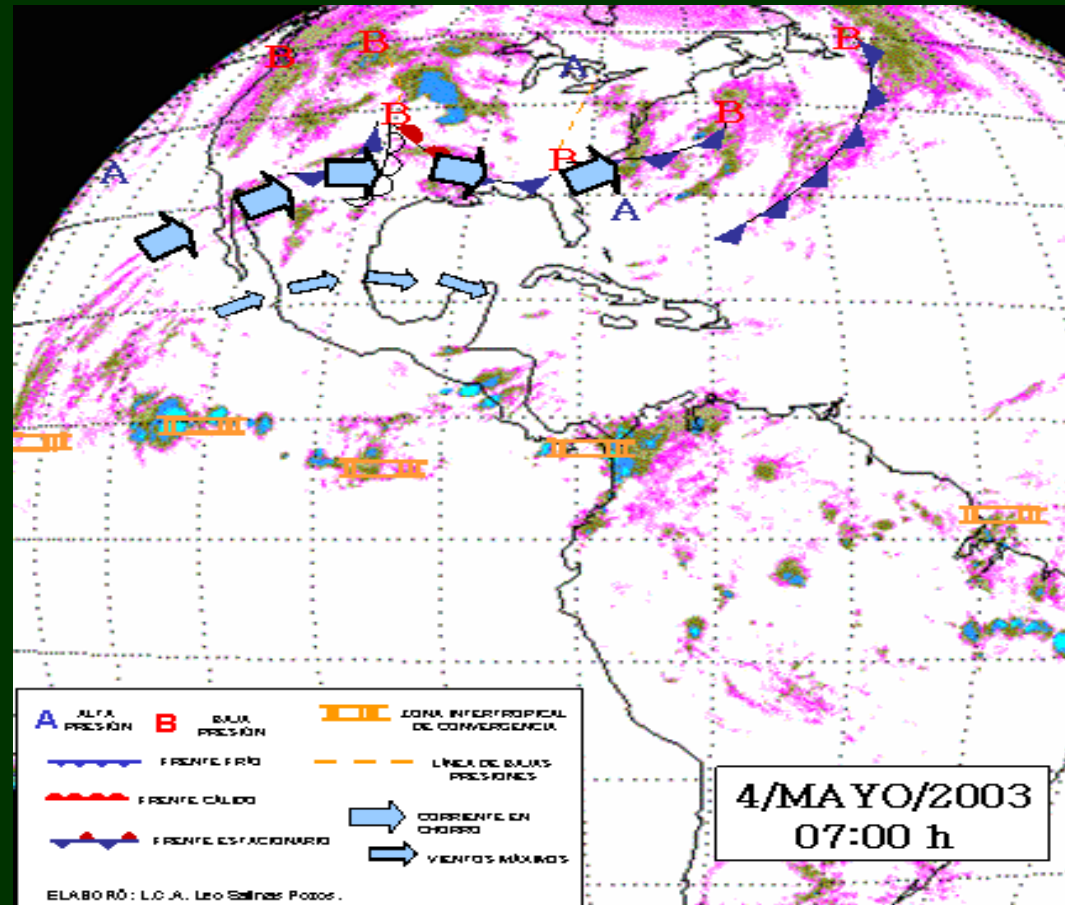
PRECIPITACIONES INTENSAS



Los ciclones tropicales provocan precipitaciones intensas, sobretudo cuando enfrentan perpendicularmente a las de barreras montañosas.

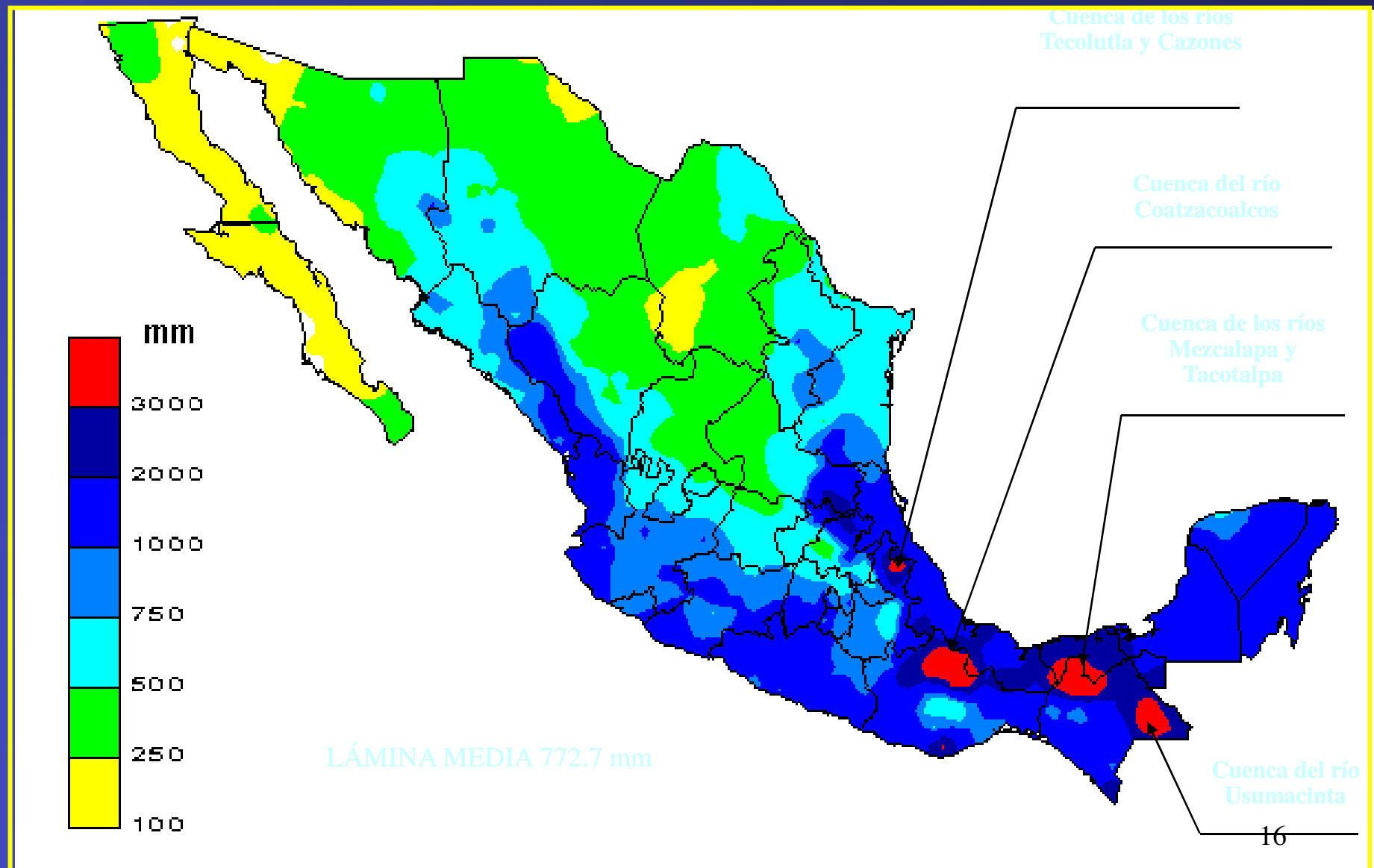
CONDICIONES METEOROLÓGICAS ESPECIALES

*La afluencia de
humedad
proveniente de los
océanos puede
originar
precipitaciones
intensas en tierra*



Fuente: SMN

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL PERIODO 1941 - 1997



Lluvia-escurrimiento



Una parte de la cantidad que llueve:

1) queda retenida en la superficie

2) llena depresiones topográficas

3) se evapora

4) se infiltra

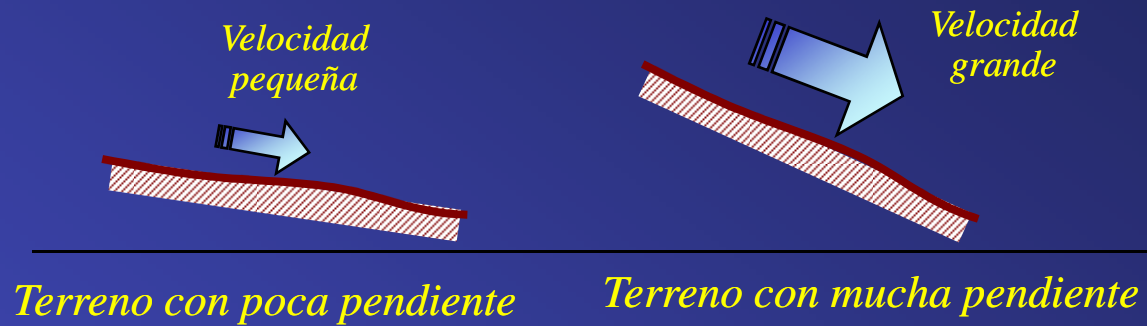
5) fluye sobre la superficie (escurrimiento)

Ciclo hidrológico: proceso global de la circulación constante del agua (en cualquiera de sus tres estados) en la atmósfera y en la tierra.

ESCURRIMIENTO MEDIO ANUAL EN MILLONES DE m³



A mayor velocidad, el agua puede transportar objetos más pesados y erosionar el cauce.



CAUSA:

**LLUVIAS
INTENSAS**

TERRENO INCLINADO
CON CIERTA COBERTURA
VEGETAL

TERRENO INCLINADO
CON ESCASA
COBERTURA VEGETAL

TERRENO CON POCA
INCLINACIÓN

Ciertas condiciones
geológicas y topográficas

Se excede la
capacidad de
conducción de los ríos

**DESBORDAMIENTO
DE RÍOS**

EFECTOS:

Deslizamiento
de taludes

Corrientes de
escombros

Corrientes
de lodo

Inundación rápida
(corrientes fuertes)

Inundación
lenta

Avenidas súbitas

TIPOS DE INUNDACIÓN

1. Inundaciones pluviales (por precipitaciones en cuencas con escasa o nula pendiente).

2. Inundaciones fluviales (por desbordamiento de ríos).

Se deben al escurrimiento formado por

- a) precipitaciones*
- b) obstrucción de cauces*
- c) invasión de cauces*
- d) acción de las mareas*

3. Inundaciones por rotura o la operación incorrecta de obras hidráulicas.

4. Inundación costeras (por el ingreso de agua marina por la marea de tormenta de huracanes).

Inundación pluvial



Cuando las lluvias son intensas, se incrementa el nivel de los ríos.

*Ello puede provocar el desbordamiento de los ríos; si sale un gran volumen de agua, se genera una **inundación pluvial**.*



CLASIFICACIÓN DE ZONAS INUNDABLES

- a) *Zona inundación habitual.* Se forma por lluvia o avenidas de período de retorno de **2 años**.
- b) *Zona inundación frecuente.* Se debe a precipitaciones o avenidas de período de retorno de **5 años**.
- c) *Zona inundación ocasional.* Ocurre por lluvia o avenidas con un período de retorno de **10 años**.
- d) *Zona inundación esporádica.* Se origina por lluvia o avenidas con un período de retorno de **50 años**.
- e) *Zona inundación excepcional.* Se produce por lluvia o avenidas con un período de retorno de **100 años**.
- f) *Zona inundación extraordinaria.* Sucede por precipitaciones o avenidas con un período de retorno de **500 años**.

3. GESTIÓN DE RIESGO

SISTEMA AFECTABLE O ELEMENTOS DE RIESGO

Conjuntos sociales y físicos que están expuestos al fenómeno natural o antropogénico que pueden ser dañados.

Pueden ser las viviendas, bienes materiales de los habitantes, carreteras, vías de ferrocarril, hospitales, centros de actividad económica o entes medioambientales.



AMENAZA

AMENAZA: (Nombre del) Fenómeno natural ó antropogénico que causa daños.

Por ej. Una amenaza es una depresión tropical,

*Las amenazas **suelen encadenarse unas con otras**, incrementando la posibilidad de los causar daños (Costa Rica, Comisión Nacional de Emergencia, 1999).*

1. PELIGRO

PELIGRO: Probabilidad de que uno de los efectos de la amenaza (fenómeno natural ó antropogénico) sea de cierta magnitud en un sitio específico.

Por ej. Las lluvias acumuladas en 5 días de la depresión tropical en la cuenca del río San Juan sean mayores a 300mm.

Las amenazas **suelen encadenarse unas con otras**, incrementando la posibilidad de los causar daños (Costa Rica, Comisión Nacional de Emergencia, 1999).

2. VULNERABILIDAD

***Suceptibilidad de que el elemento de riesgo sea dañado
Si se presenta una amenaza de determinada intensidad.***

Por ej. Los daños a las viviendas en el poblado la Unión es \$10,000,000 cuando la depresión tropical genera lluvias de más de 250mm en la cuenca del río Hondo.

Para tener una mejor percepción del costo de los daños se suele plantear en forma relativa, al dividir el costo de los daños entre el costo total del elemento de riesgo.

Por ej. Si el costo total de las viviendas del poblado la Unión es de \$40,000,000, cuando ocurra una depresión tropical genera lluvias de más de 250mm en la cuenca del río Hondo, se perdería el 25% del costo total de las viviendas.

Dicc.- Suceptibilidad de un elemento sea dañado

2. VULNERABILIDAD

La magnitud del daño de un tipo de bien en caso de ocurrir una amenaza de cierta magnitud en determinado sitio.

Por ej. Los daños a las viviendas en el poblado la Unión es \$10,000,000 cuando la depresión tropical genera lluvias de más de 250mm en la cuenca del río Hondo.

Para tener una mejor percepción del costo de los daños se suele plantear en forma relativa, al dividir el costo de los daños entre el costo total del elemento de riesgo.

Por ej. Si el costo total de las viviendas del poblado la Unión es de \$40,000,000, cuando ocurra una depresión tropical genera lluvias de más de 250mm en la cuenca del río Hondo, se perdería el 25% del costo total de las viviendas.

Dicc.- Suceptibilidad de un elemento sea dañado

VULNERABILIDAD

Cuanto más grande es este porcentaje se dice que es más vulnerable.

Si es pequeño tal porcentaje se dice que es menos vulnerable.

Por ello se entiende como índice de vulnerabilidad a la proporción en que puede dañarse cierto elemento de riesgo cuando ocurre un fenómeno natural ó antropogénico de cierta intensidad en un a determinado sitio.

$$V = I_v C$$

C Costo del total del elemento de riesgo

I_v Índice de vulnerabilidad (entre 0 y 1)

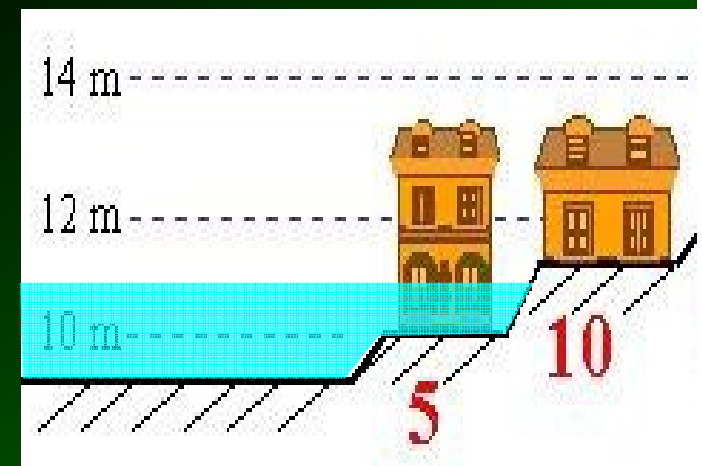
Dicc.- Suceptibilidad de un elemento sea dañado

FUNCIÓN DE VULNERABILIDAD

Puede ser el daño que sufre una vivienda en electrodomésticos, ropa, muebles, tiene un valor de \$25,000.

Además la vivienda sufre daños estructurales de \$55,000, \$65,000, \$75,000, y \$85,000 si la profundidad de la inundación en ella es de 1, 2, 3 o más de 3 m respectivamente.

Profundidad de la inundación (m)	Costo de daño Por vivienda (\$)
0 – 1	55,000
1.1 – 2	65,000
2.1 – 3	75,000
>3	85,000



Costo de daños en una vivienda en función de la profundidad de inundación en ella.

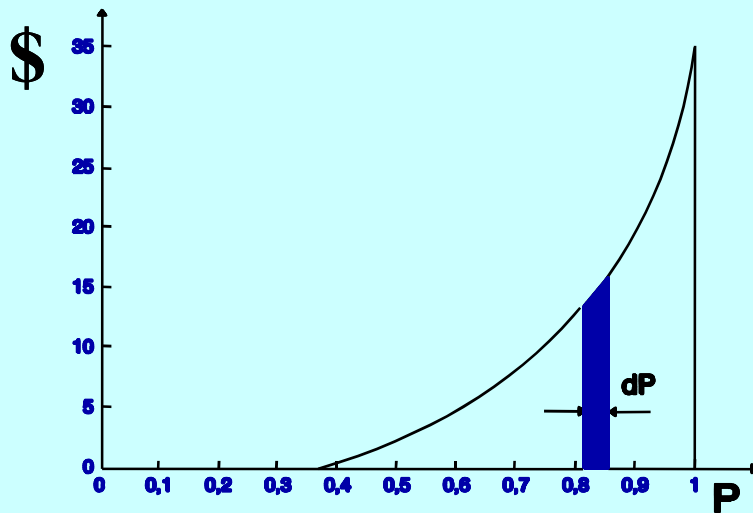
3.RIESGO

Valor esperado de pérdidas humanas, personas heridas, propiedad dañada e interrupción de actividades económicas debido a fenómenos naturales o antropogénicos (Material II - IDNDR, 1992)

(Dicc.- Contingencia o proximidad de un daño)

RIESGO

Determinación del *costo esperado de daños*



Esperanza matemática
ó valor esperado

$$E[f(x)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) p(x) dx$$

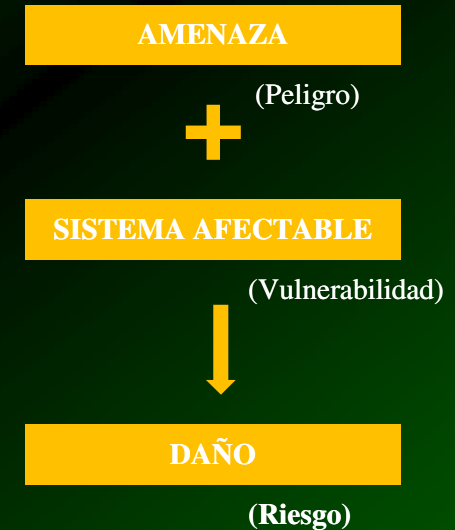
Tr	P	$\Delta P/2$	Costo	$C_i + C_{i+1}$	$\Delta P/2 (C_i + C_{i+1})$
2	0.5		C_1		
		0.15		$C_1 + C_2$	$0.15 (C_1 + C_2)$
5	0.8		C_2		
		0.05		$C_2 + C_3$	$0.05 (C_2 + C_3)$
10	0.9		C_3		
		0.04		$C_3 + C_4$	$0.04 (C_3 + C_4)$
50	0.98		C_4		
		0.005		$C_4 + C_5$	$0.005 (C_4 + C_5)$
100	0.99		C_5		
		0.004		$C_5 + C_6$	$0.004 (C_5 + C_6)$
500	0.998		C_6		
SUMA					

RIESGO DE INUNDACIONES

*Se refiere a las **pérdidas esperadas** de cierto **sistema expuesto** debido a una inundación de cierta magnitud.*

Las pérdidas pueden referirse a

- vidas humanas
- viviendas
- alguna clase de bienes materiales de los habitantes
- infraestructura civil
- Suspensión de actividades económicas



$$R = f(P, V)$$



4. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE INUNDACIONES

Ejemplo:
Amenaza: Inundaciones pluviales

Acciones de prevención

Causa: lluvias intensas por cierta condición meteorológica

Efecto: fuertes escurrimientos en los ríos y desbordamientos

Tipo superficie	Intensidad			
	Tr=10	Tr=50	Tr=100	Tr=200
Cuenca sin deterioro	mínimo	regular	medio	alto
Cuenca poca deforestación	regular	medio	alto	fuerte
Cuenca intermedia deforestación	medio	alto	fuerte	grave
Cuenca desforestada	alto	fuerte	grave	severo

Acciones de mitigación

Inundaciones

Áreas vulnerables

Daños

Acciones para reestablecer la normalidad

MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE DAÑOS POR INUNDACIONES

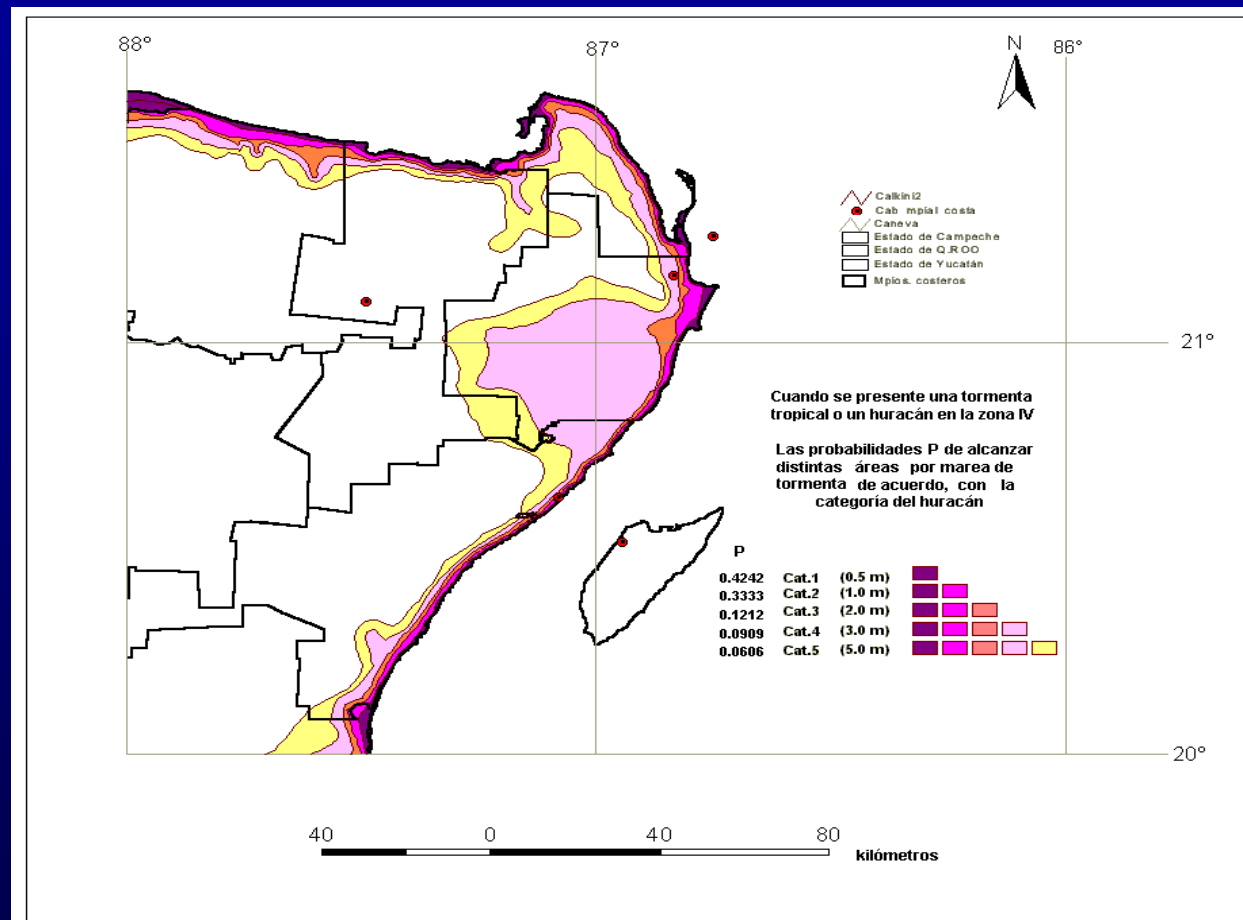
Medidas estructurales

- * Construcción de obras de protección
- * Presas
- * Reforestación
- * Canales de desvío

Medidas institucionales (no estructurales)

- * Reglamentos sobre el uso del suelo
- * Informar y explicar a la población para que sepa que hacer al respecto
- * Capacitación técnica

MEDIDAS INSTITUCIONALES (no estructurales, normativas)



Mapa de peligro de inundación por marea de tormenta

MEDIDAS INSTITUCIONALES (no estructurales)

SIAT-CT 2005



ALERTA ROJA
PELIGRO MÁXIMO
ACERCAMIENTO - AFECTACIÓN
ALEJAMIENTO - AFECTACIÓN

ALERTA NARANJA
PELIGRO ALTO
ACERCAMIENTO - ALARMA
ALEJAMIENTO - ALARMA

ALERTA AMARILLA
PELIGRO MODERADO
ACERCAMIENTO - PREPARACIÓN
ALEJAMIENTO - SEGUIMIENTO

ALERTA VERDE
PELIGRO BAJO
ACERCAMIENTO - PREVENCIÓN
ALEJAMIENTO - VIGILANCIA

ALERTA AZUL
PELIGRO MÍNIMO
ACERCAMIENTO - AVISO
ALEJAMIENTO - AVISO



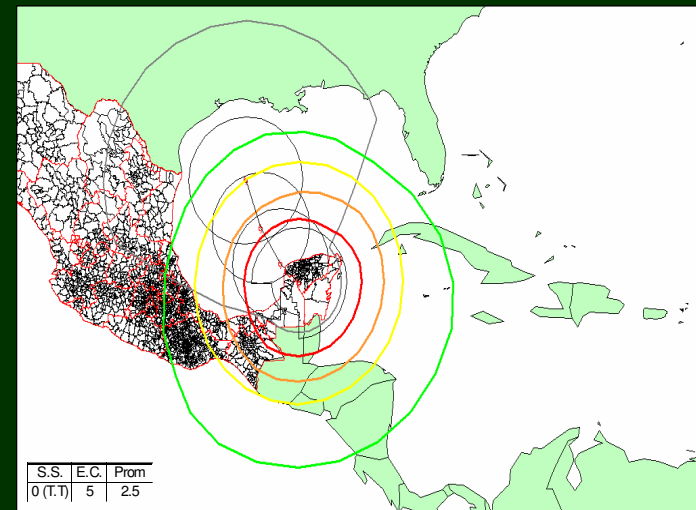

Tabla de Acercamiento / Parte delantera del ciclón

Ponderación de Escalas	0a100km	100a150km	150a200km	200a250km	250a300km	300a350km	350a400km	400a500km	500a750km	mayora 750km
0a0.99	Blue	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
1a1.99	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Red
2a2.99	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange	Red
3a3.99	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange	Red
4a4.99	Blue	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Red
5	Blue	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Orange	Orange	Red

Tabla de Alejamiento / Parte trasera del ciclón

Ponderación de Escalas	0a100km	100a150km	150a200km	200a250km	250a300km	300a350km	350a400km	400a500km	500a750km	mayora 750km
0a0.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
1a1.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
2a2.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
3a3.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
4a4.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
5	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue

Alertas por Isidore, 2002

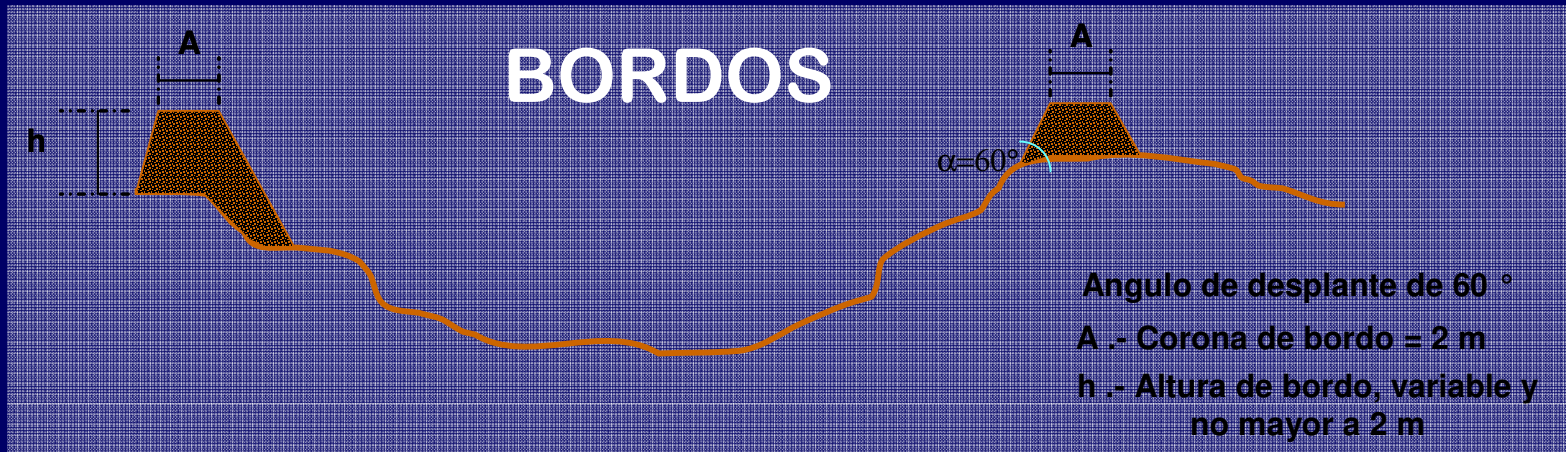


MEDIDAS ESTRUCTURALES (obras)



Bordos en el río Carrizal (2000)

MEDIDAS ESTRUCTURALES (obras)



AMPLIACIÓN DE LA SECCIÓN



PREVENCIÓN DE INUNDACIONES



5. PROPUESTA DE OBRAS Y SU REVISIÓN HIDRÁULICA INTEGRAL

MODELOS FÍSICOS Y MATEMÁTICOS



- Representación aproximada de la realidad (incluyen los aspectos y relaciones más importantes)
- Modelos distorsionados
- Cualitativos o cuantitativos
- Usos de los modelos: diseño, *análisis de operación*, entrenamiento,...

¿Como plantearlos, elaborarlos, calibrarlos utilizarlos?⁴⁴

MODELOS FÍSICOS

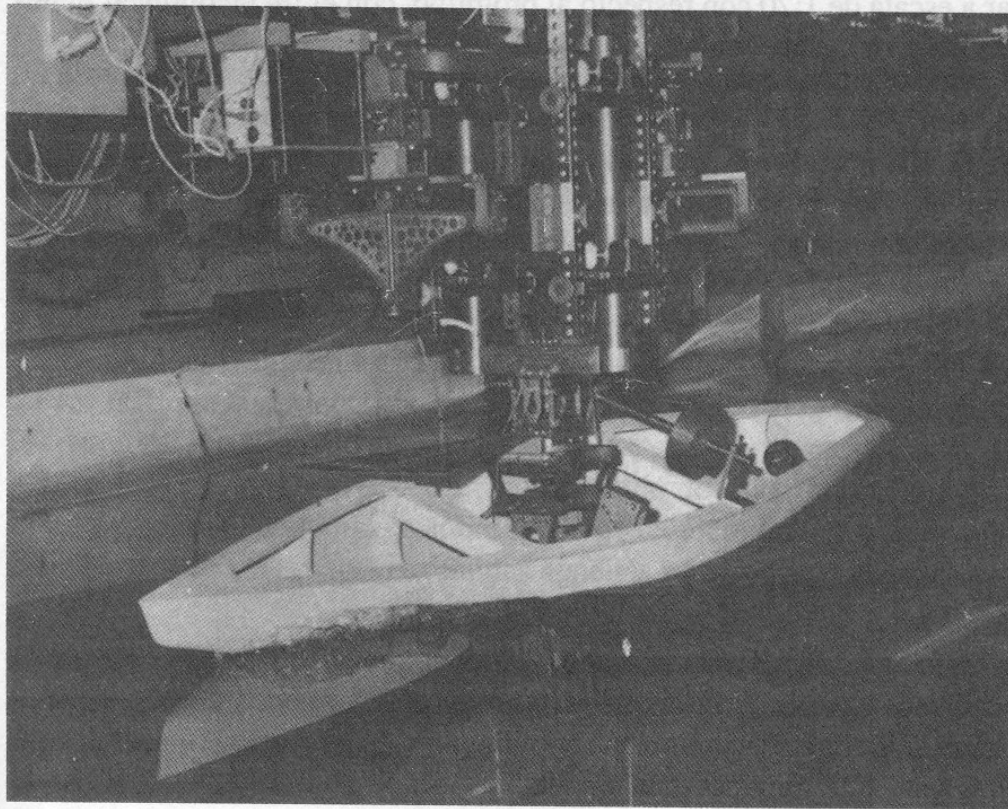


Figura 8.9

Prueba de un modelo del *Heart of America*, participante en la Copa América, dentro de un tanque de remolque. Desafortunadamente este bote de vela no fue el vencedor. (Cortesía de Davidson Laboratories, Stevens Institute of Technology).

Prueba de un modelo del *Heart of América*, participante en la Copa América, dentro de un tanque de remolque. Desafortunadamente este bote no fue el vencedor. (Cortesía de Davidson Laboratories, Stevens Institute of Technology).

MODELOS FÍSICOS REDUCIDOS

Los modelos físicos a escala reducida, llamados simplemente modelos hidráulicos, deben ser semejantes al prototipo, para lo cual debe satisfacerse las leyes de similitud Geométrica, Cinemática y Dinámica, que en conjunto relacionan magnitudes físicas homólogas definidas entre ambos sistemas.

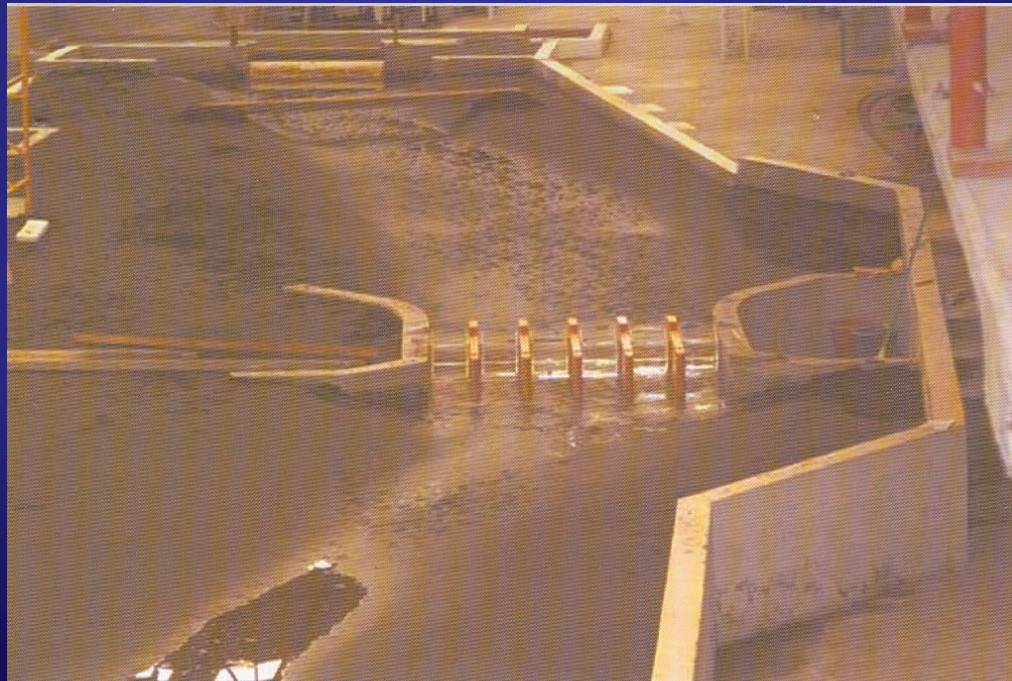
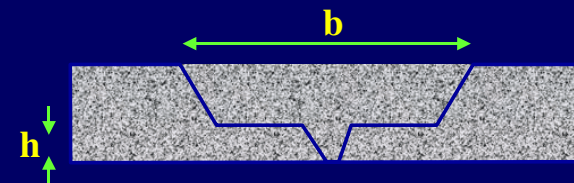


Figura 1. Compuertas, escala 1:40, sobre el río La Sierra.

Modelo físico a escala 1:100



Representación de una geometría de la obra de control



$b \backslash h$	0 m	2.4 m	3.2 m
80 m	MOD 4	MOD 7	MOD 10
90 m	MOD 3	MOD 6	MOD 9
100 m	MOD 2	MOD 5	MOD 8



Verificación de las obras propuestas



Obra de estrechamiento en el río Carrizal



Prototipo



Modelo

FLUJO UNIDIMENSIONAL

Ecuaciones diferenciales de movimiento

$$\frac{\partial (A v)}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

$$g \frac{\partial y}{\partial x} + g \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial t} + S_f = 0$$

Ecuaciones de diferencias finitas propuestas

$$A_{i,j} U_{i,j+1} - A_{i+1,j} V_{i+1,j+1} = \frac{\Delta X_i}{4 \Delta t} (B_{i+1,j} + B_{i,j}) (Y_{i+1,j+1} + Y_{i,j+1} - Y_{i+1,j} - Y_{i,j})$$

$$\frac{\theta}{\Delta X_i} (Y_{i+1,j+1} - Y_{i,j+1}) + \frac{1-\theta}{\Delta X_i} (Y_{i+1,j} - Y_{i,j}) = \frac{V_{i+1,j+1} + U_{i,j+1}}{\Delta X_i} (U_{i,j} - V_{i+1,j}) +$$

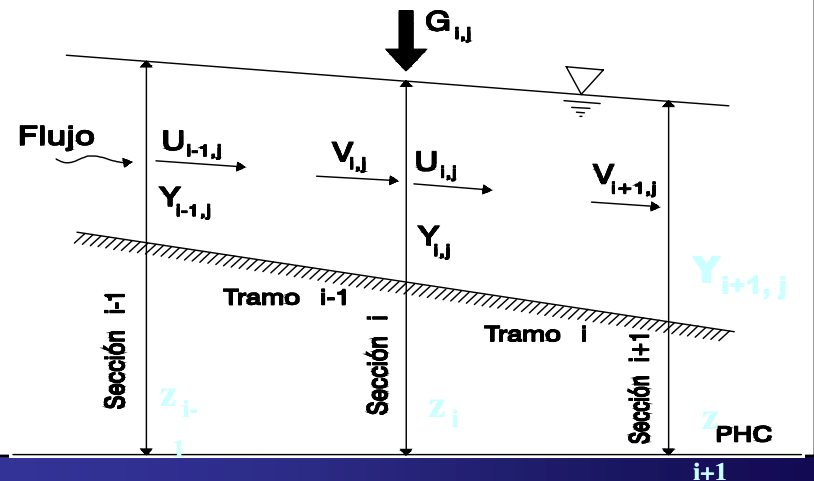
$$+ \frac{1}{2g\Delta t} (U_{i,j} + V_{i+1,j} - U_{i,j+1} - V_{i+1,j+1}) + \frac{1}{4} \frac{n^2}{r_{i,j}^{4/3}} |U_{i,j} + V_{i+1,j}| (U_{i,j+1} + V_{i+1,j+1}) - \frac{z_{i+1} - z_i}{\Delta X_i}$$

MODELOS MATEMÁTICOS

ECUACIONES PRINCIPALES DEL MODELO MATEMÁTICO

$$U_{i,j+1} = P_{i,j} Y_{i+1,j+1} + Q_{i,j} Y_{i,j+1} + R_{i,j}$$

$$V_{i+1,j} = S_{i,j} Y_{i+1,j+1} - T_{i,j} Y_{i,j+1} + W_{i,j}$$



Se aplica entre cada volumen de control (sección):

$$A_{i,j} V_{i,j+1} + \theta G_{i,j+1} + (1-\theta) G_{i,j} = A_{i,j} U_{i,j+1}$$

Se forma un sistema de ecuaciones tridiagonal (las incógnitas son las elevaciones de agua):

$$T_{i-1,j} Y_{i-1,j+1} + (Q_{i,j} - S_{i-1,j}) Y_{i,j+1} + P_{i,j} Y_{i+1,j+1} = W_{i-1,j} - R_{i,j} + \frac{1}{A_{i,j}} (\theta G_{i,j+1} + (1-\theta) G_{i,j})$$

METODOLOGÍA DE MODELADO

- ❖ **Establecer los límites y objetivos del modelo**
- ❖ **Seleccionar la precisión requerida**
- ❖ **Plantear las hipótesis básicas**
- ❖ **Identificar variables de interés**
- ❖ **Escoger y buscar datos**
- ❖ **Formular el modelo (proponer las ecuaciones de conservación y de su dominio de aplicación)**

METODOLOGÍA DE MODELADO

Se requieren estudios específicos de ingeniería y de investigación para realizar análisis más apegados a los efectos reales de los fenómenos naturales. A partir de ellos:

Se formulan propuestas (estructurales) para reducir los daños provocados por inundaciones y proteger a la población

Se evalúa su factibilidad mediante la formulación e implantación de un modelo de simulación de ríos y llanuras que represente el comportamiento del agua en diferentes escenarios.

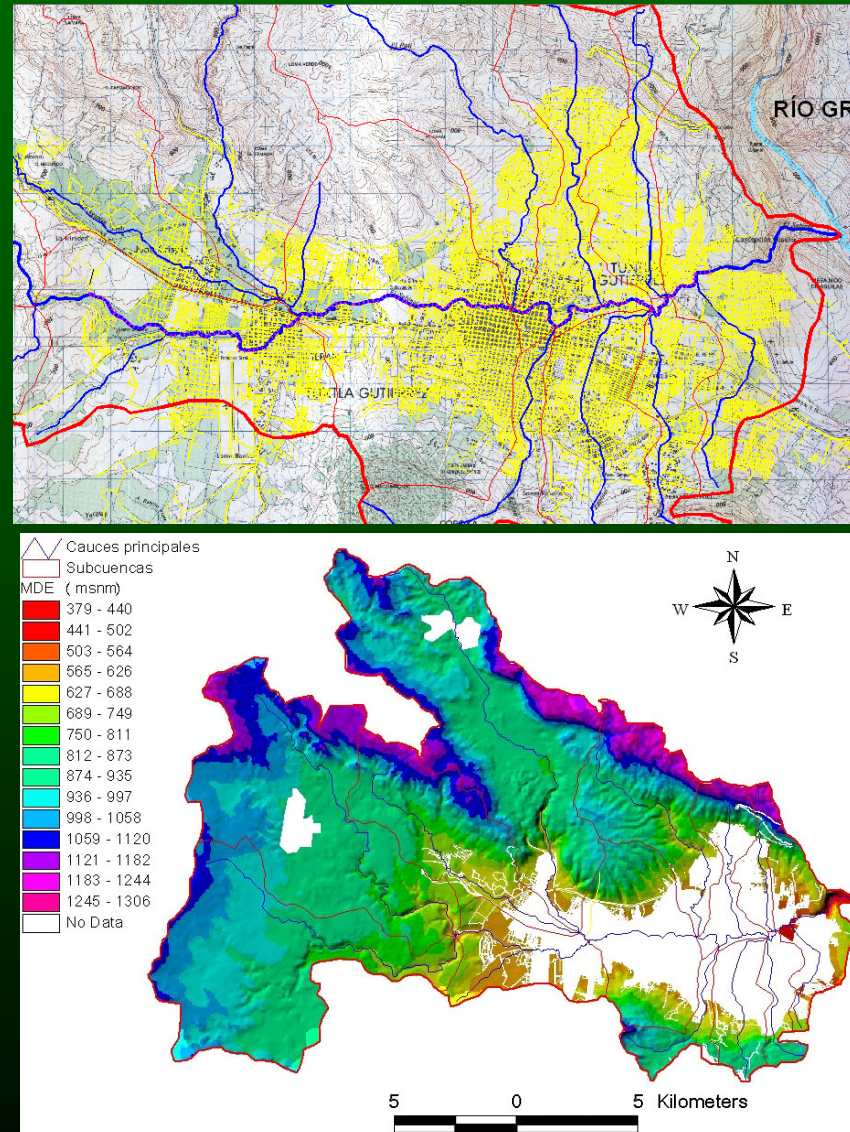
Estimación de flujos de agua a partir de la lluvia

Zona urbana:

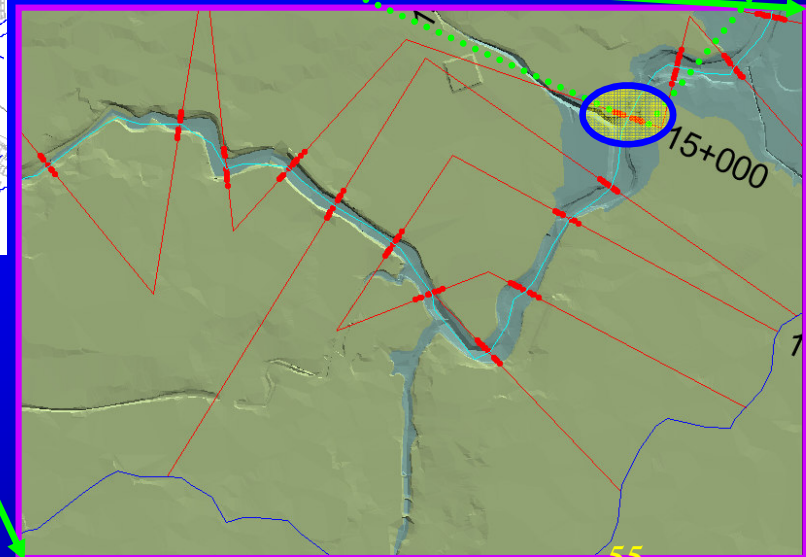
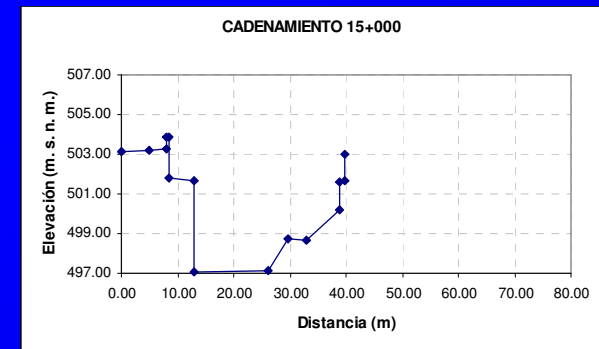
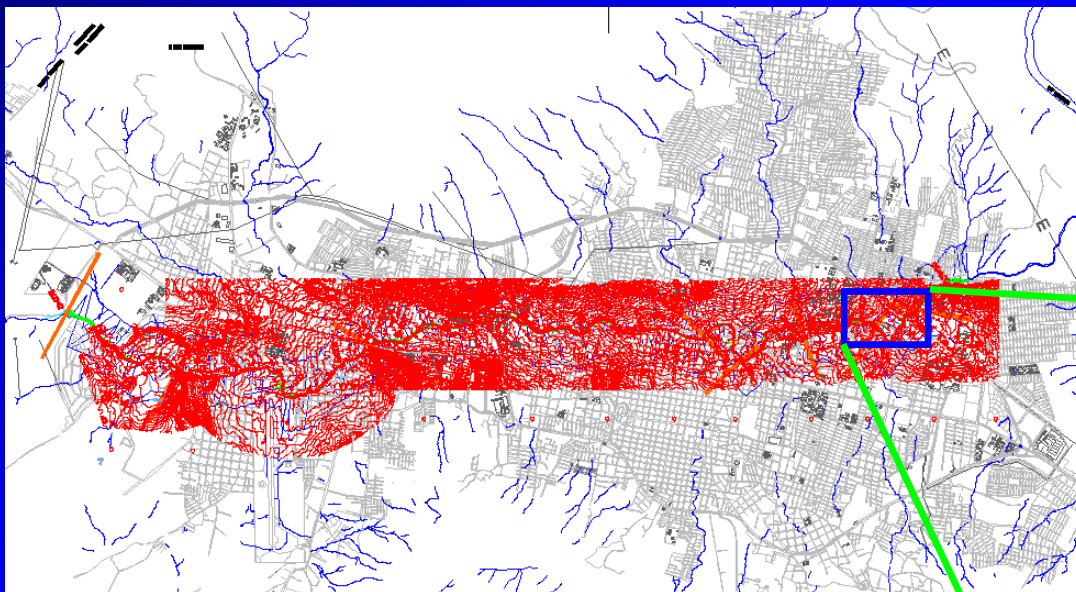
Tuxtla Gutiérrez tiene un área de 141.61 km² (40 %) y 503,302 habitantes.

Cuenca hidrológica:

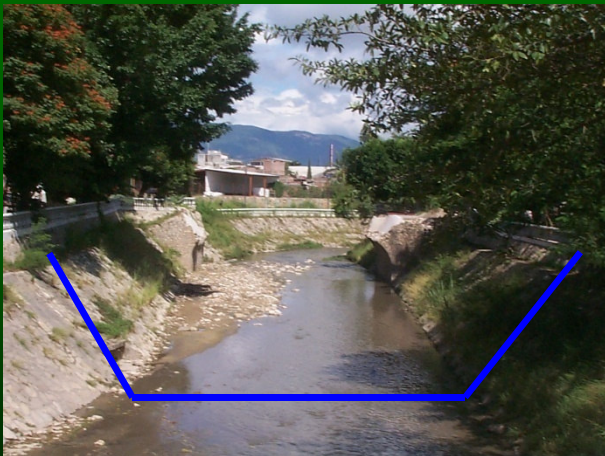
Área: 358 km²



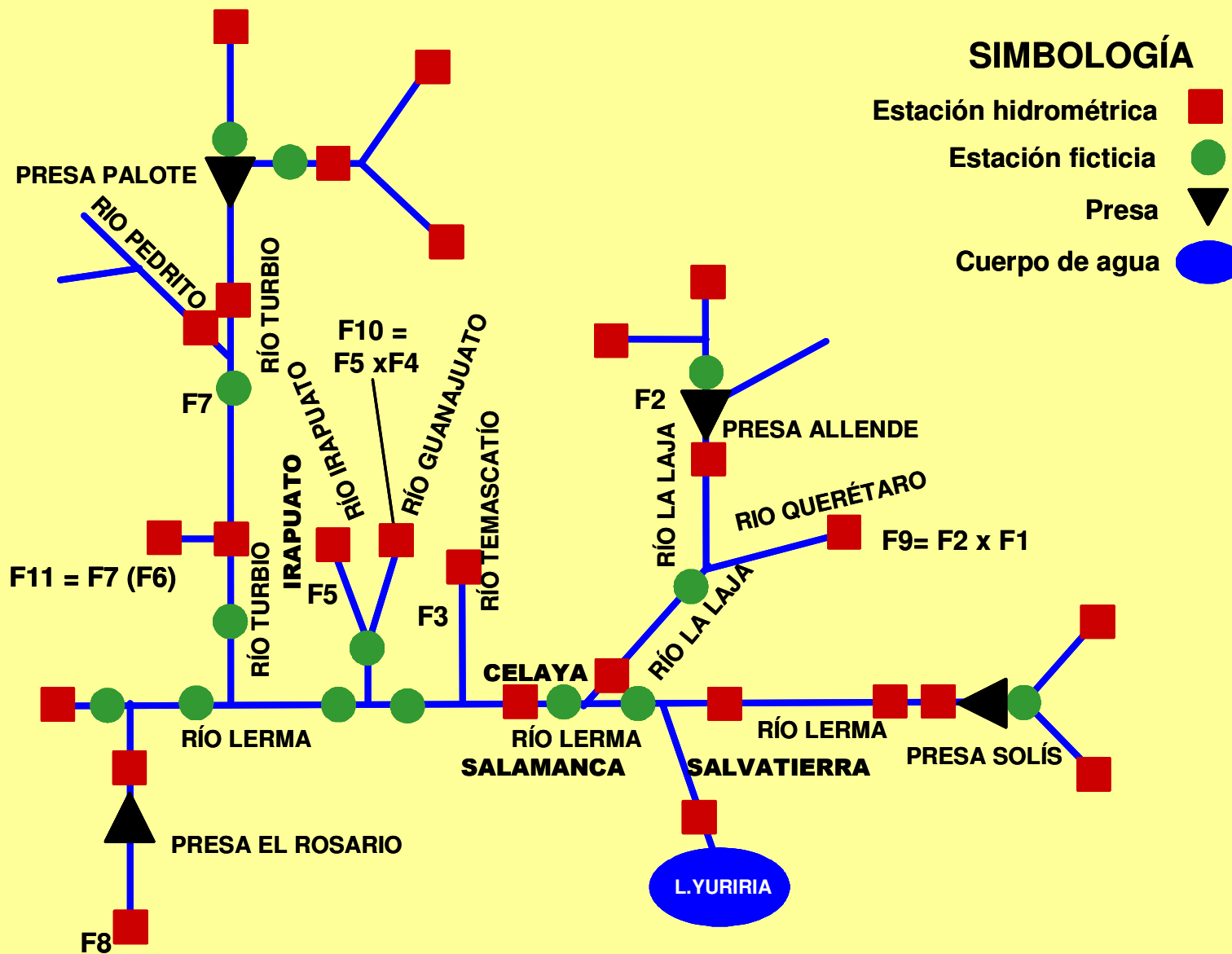
Forma del cauce y topografía zona aledaña



Cauce del río Sabinal

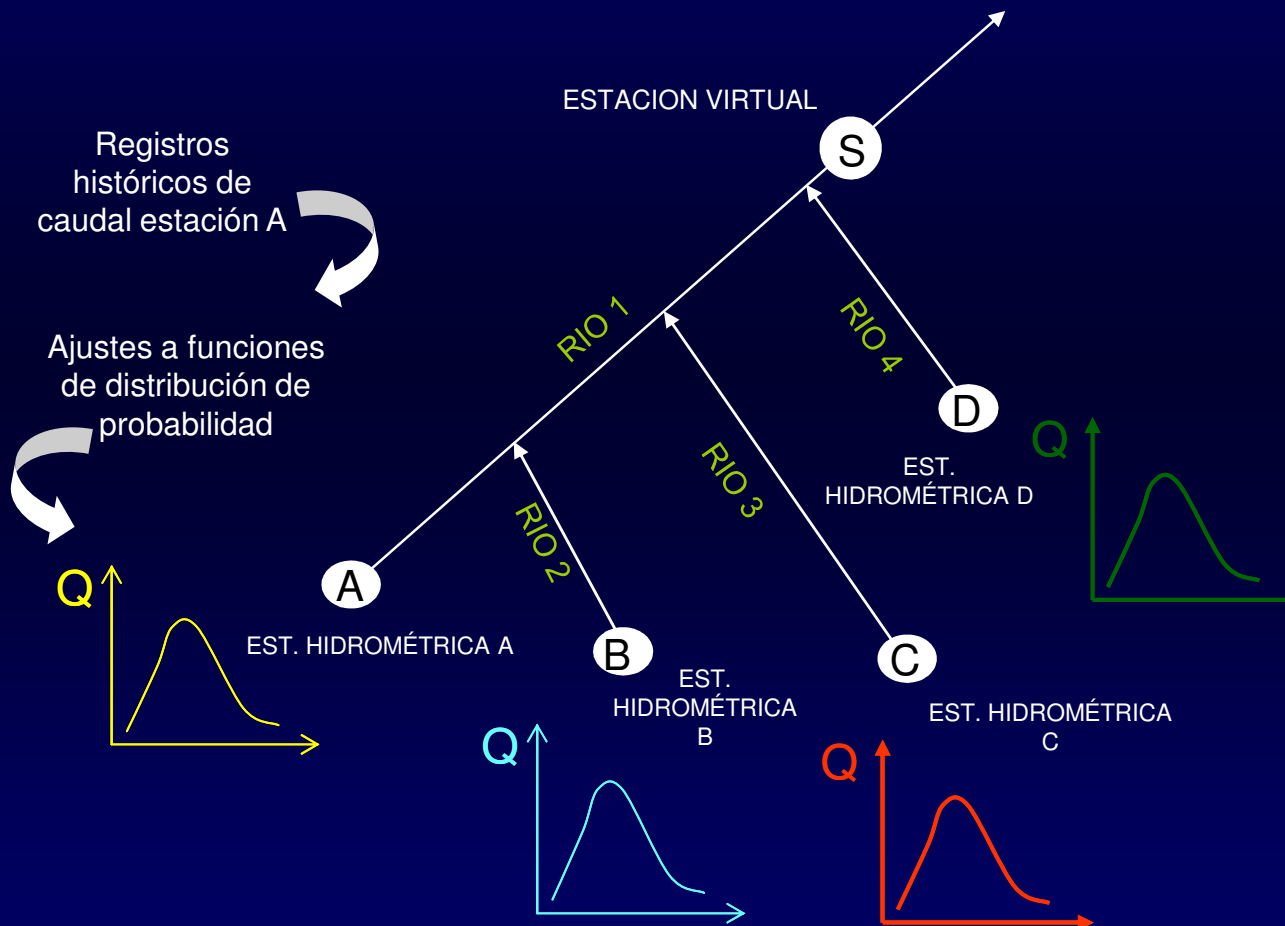


ESQUEMA SIMPLIFICADO DE LA ZONA DE ESTUDIO



Hidrograma obtenido

$$Q_S = F_A Q_A + F_B Q_B + F_C Q_C + F_D Q_D$$



Para calcular la **aportación simultánea de los escurrimientos en la cuenca media del río Lerma** se empleó el procedimiento de factores de simultaneidad propuesto por Domínguez (2000)

AJUSTE A FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

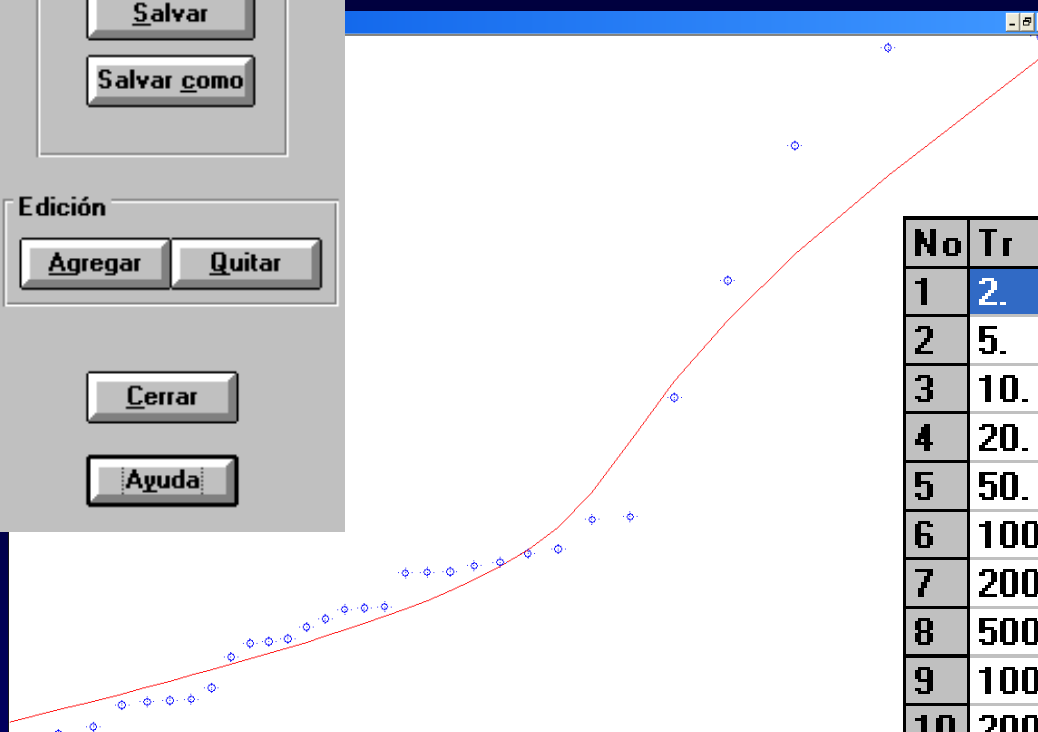
Editor de datos

C:\VAMECHE.TXT
No. de datos: 30

i	Dato
1	30.88
2	15.9
3	120.15
4	122.01
5	25.5
6	10.75
7	40.26
8	38.12
9	36.42
10	64.4
11	25.9
12	31.05
13	104.52
14	18.16
15	30.61
16	29.14
17	16.09
18	45.39
19	27.8
20	23.04

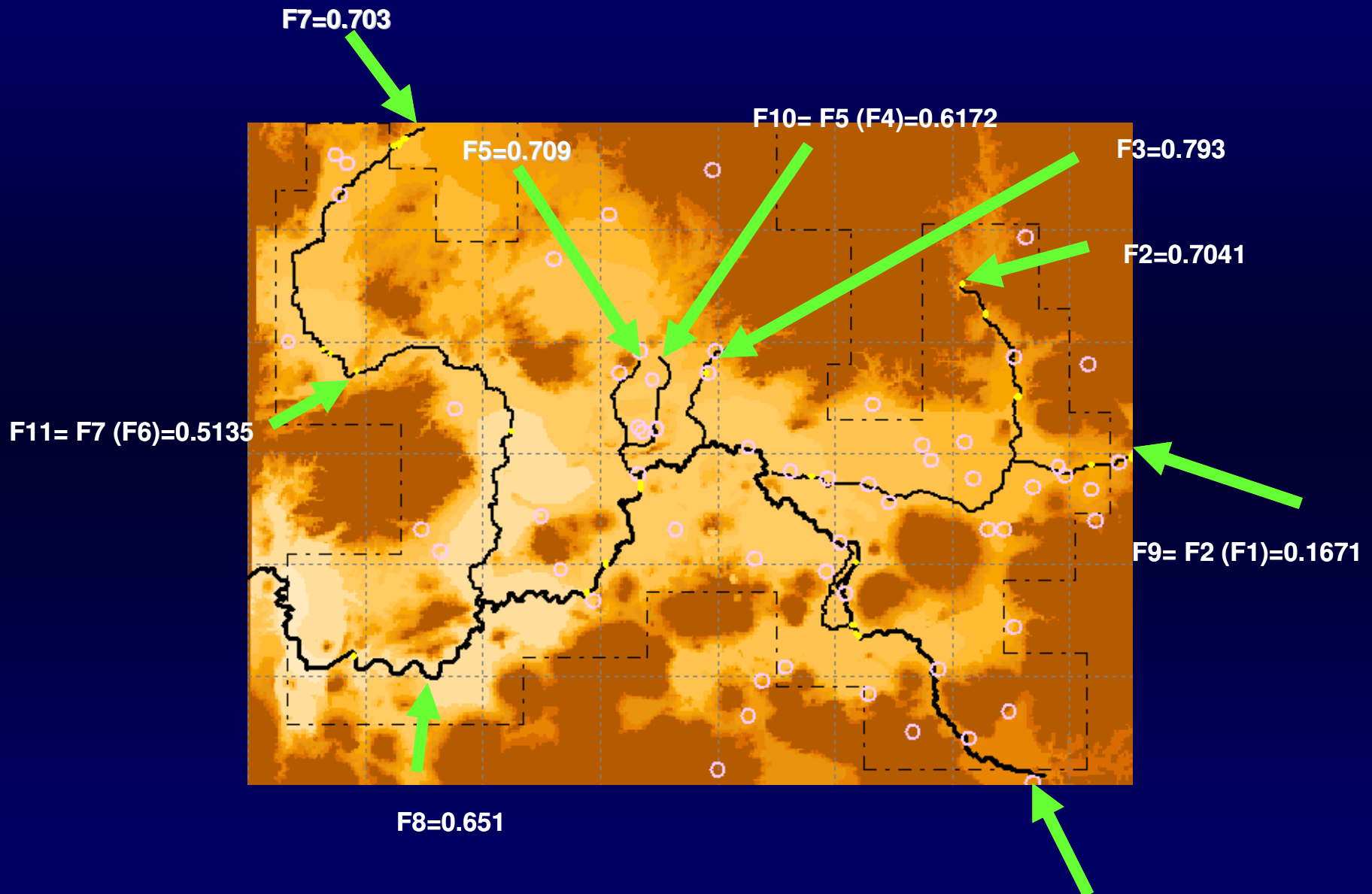
Archivo

Edición

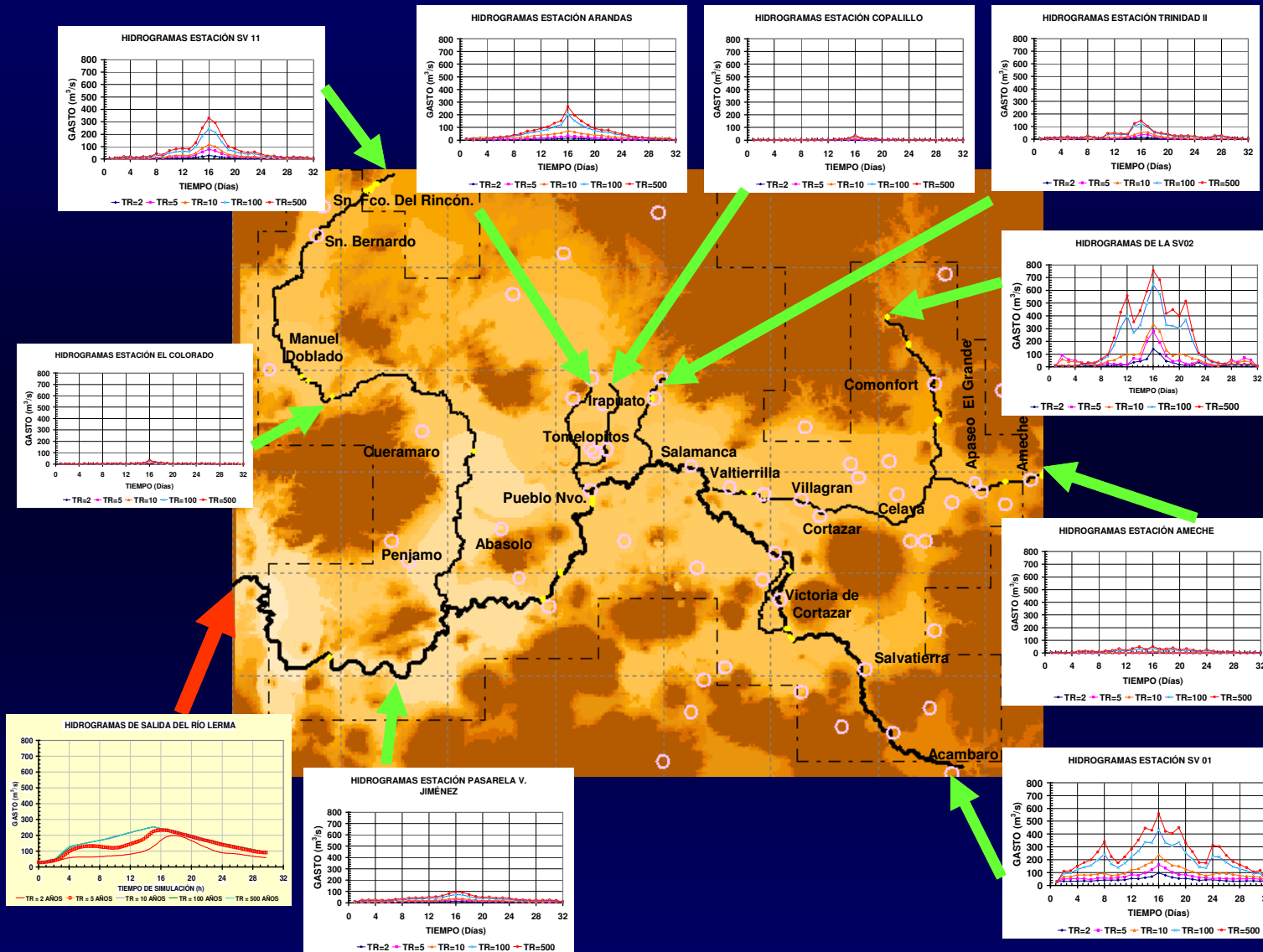


No	Tr	Dato cal
1	2.	28.35
2	5.	53.72
3	10.	84.93
4	20.	106.15
5	50.	130.5
6	100.	147.97
7	200.	165.1
8	500.	187.47
9	1000.	204.4
10	2000.	221.33
11	5000.	243.22
12	10000.	260.93

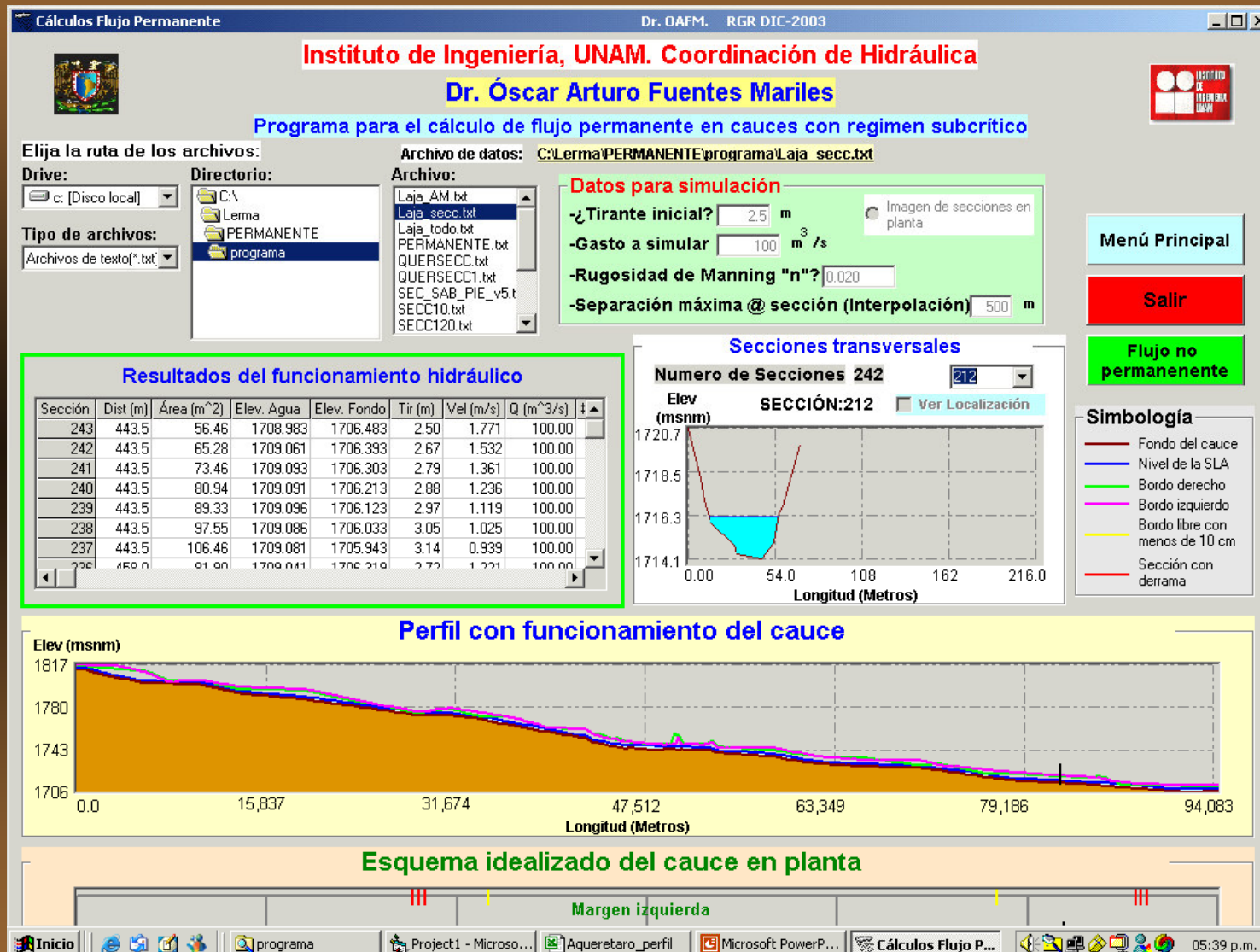
FACTORES DE SIMULTANEIDAD



SIMULTANEIDAD DE EVENTOS EN EL SISTEMA



FLUJO PERMANENTE



CAPACIDAD DE CONDUCCIÓN

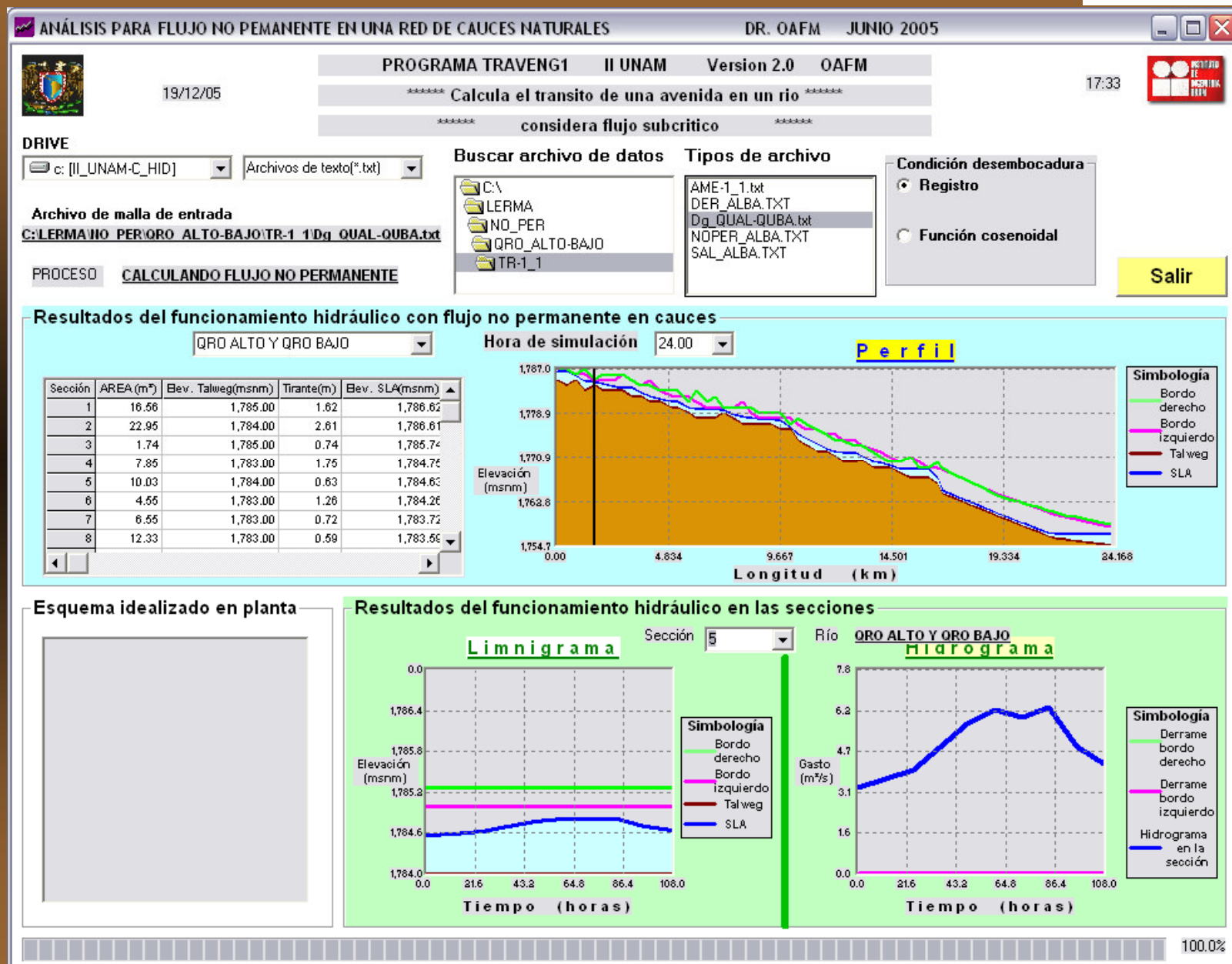
TR = 10 AÑOS

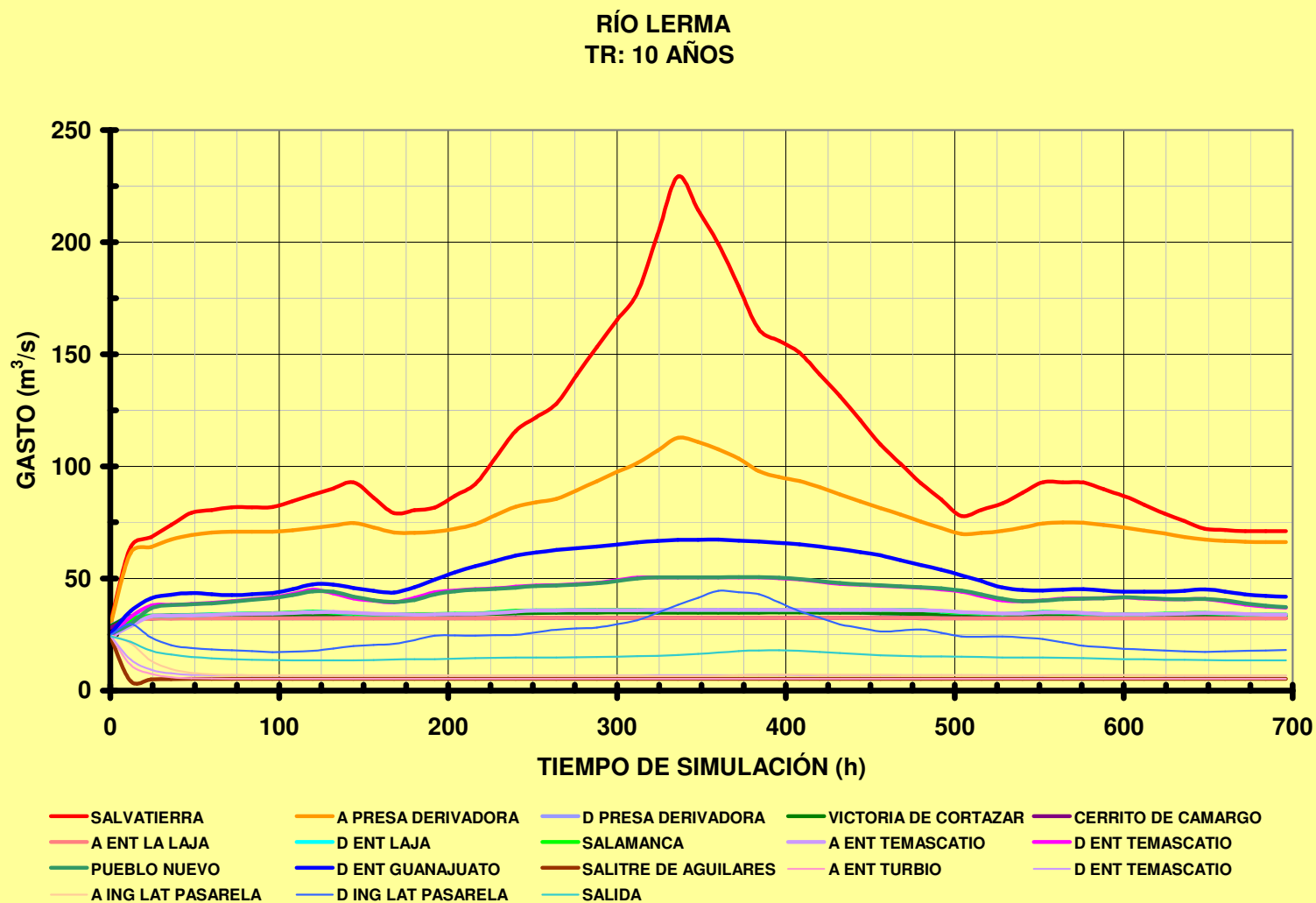
SISTEMA	CAPACIDAD (m ³ /s)
1	100.00
2	45.00
3	55.00
4	25.00
5	240.00

FLUJO NO PERMANENTE

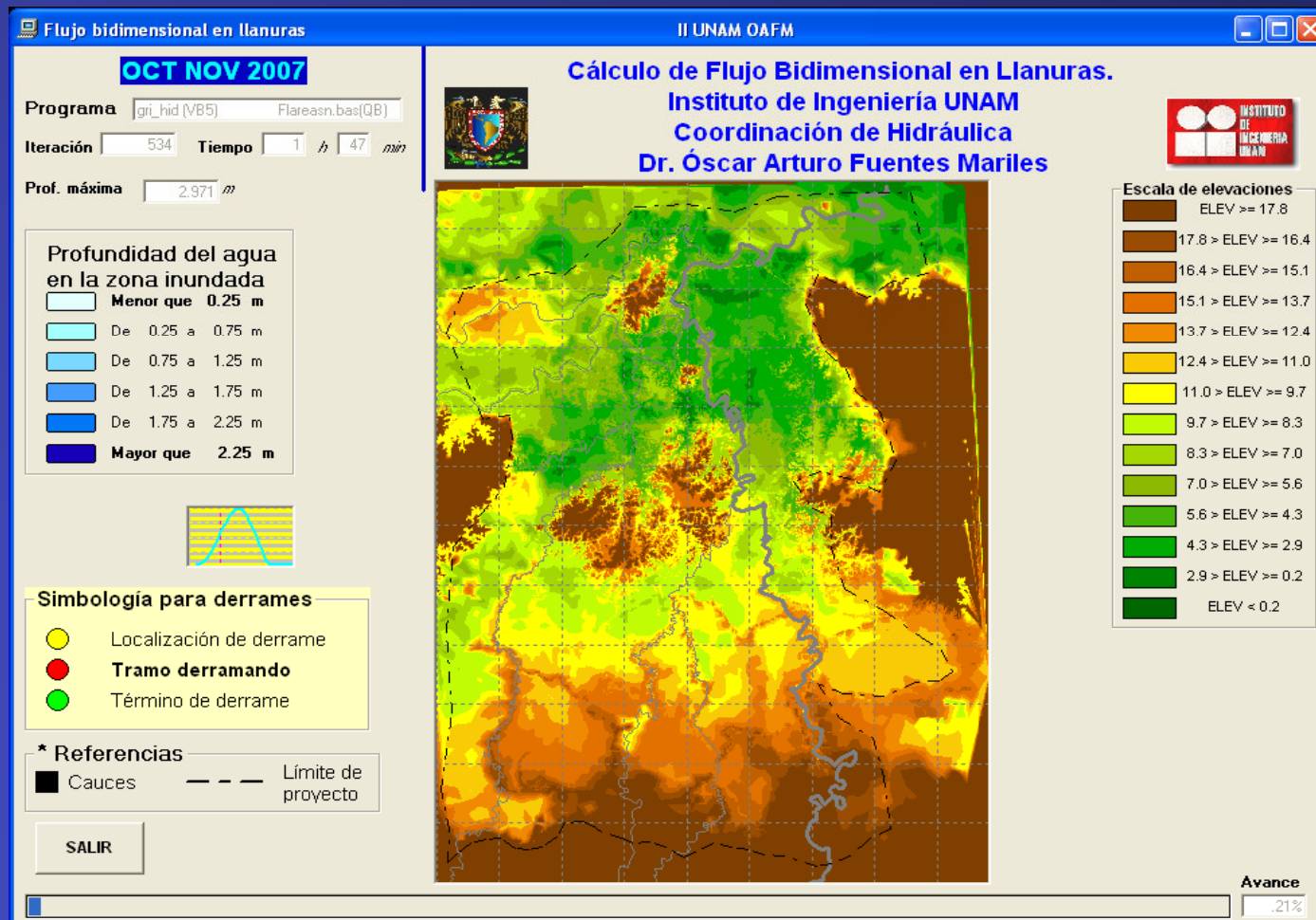


INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM





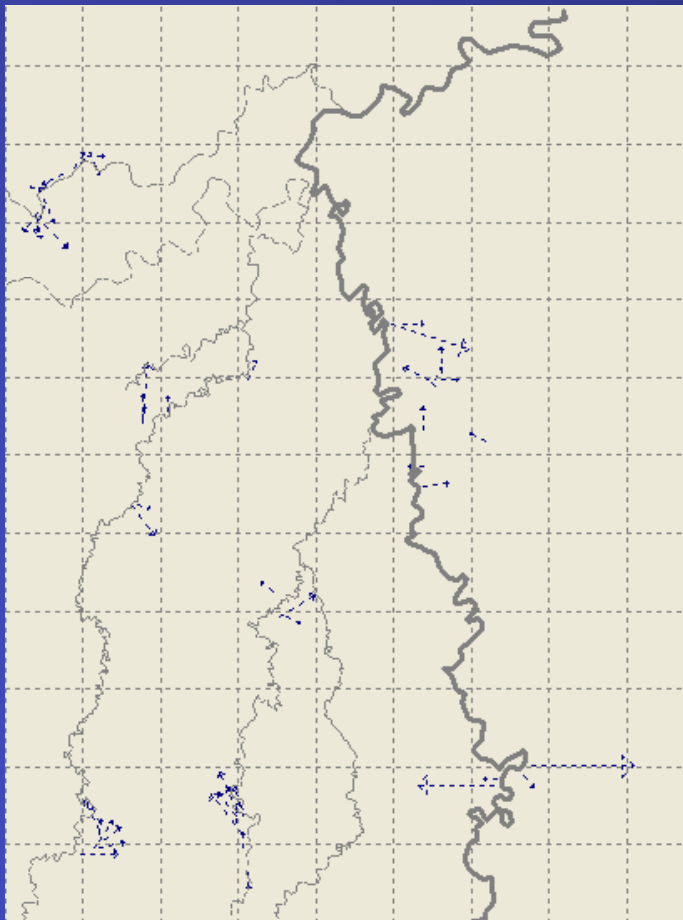
MODELO MATEMÁTICO



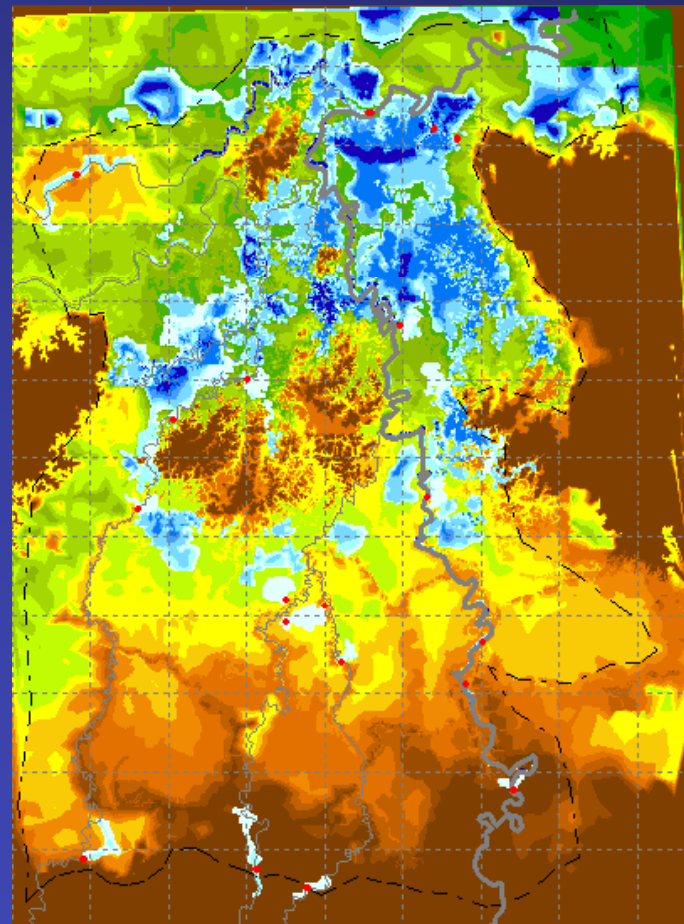


FLUJO BIDIMENSIONAL SIN CALIBRACIÓN

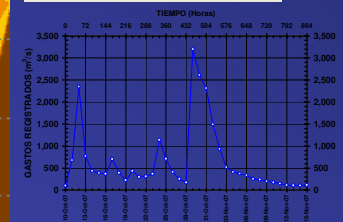
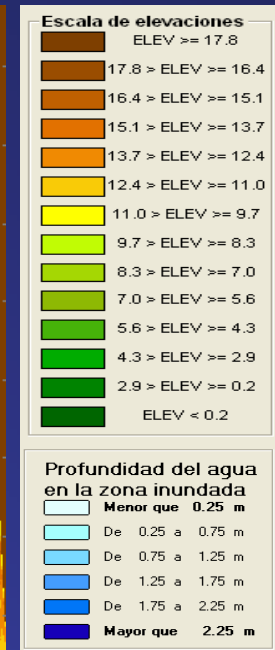
SIMULACIÓN 3
VECTORES DE VELOCIDAD



SIMULACIÓN 3
LAGUNAS EN LA ELEVACIÓN 5.0 msnm



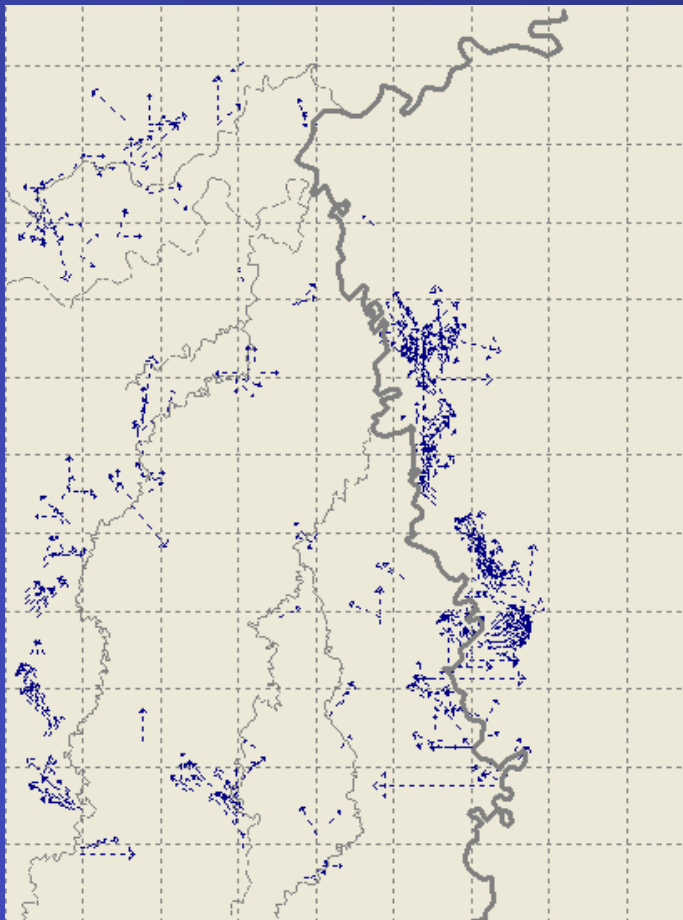
DIA 0
(0 HORAS DE SIMULACIÓN)



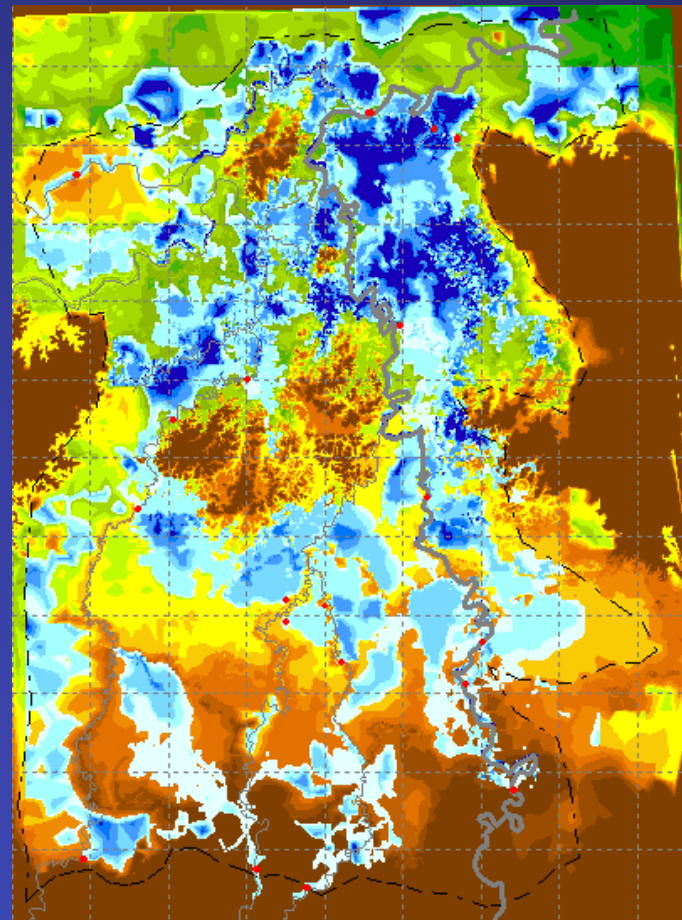


FLUJO BIDIMENSIONAL SIN CALIBRACIÓN

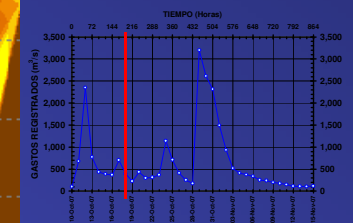
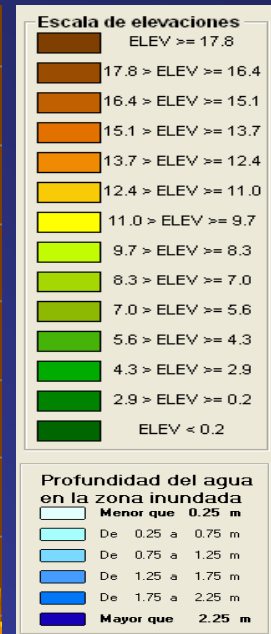
SIMULACIÓN 3
VECTORES DE VELOCIDAD



SIMULACIÓN 3
LAGUNAS EN LA ELEVACIÓN 5 msnm



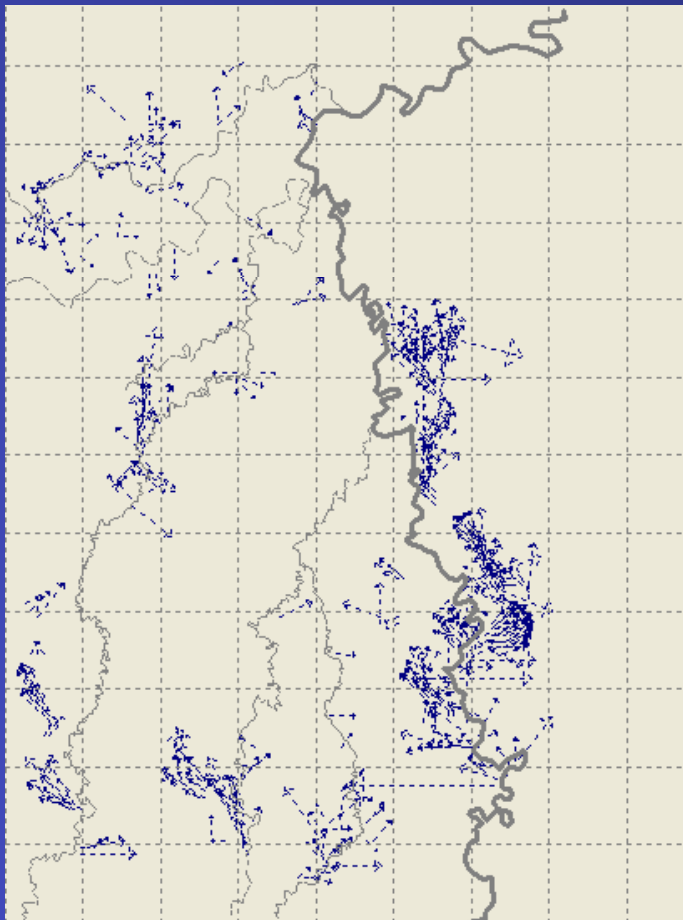
DIA 7
(168 HORAS DE SIMULACIÓN)



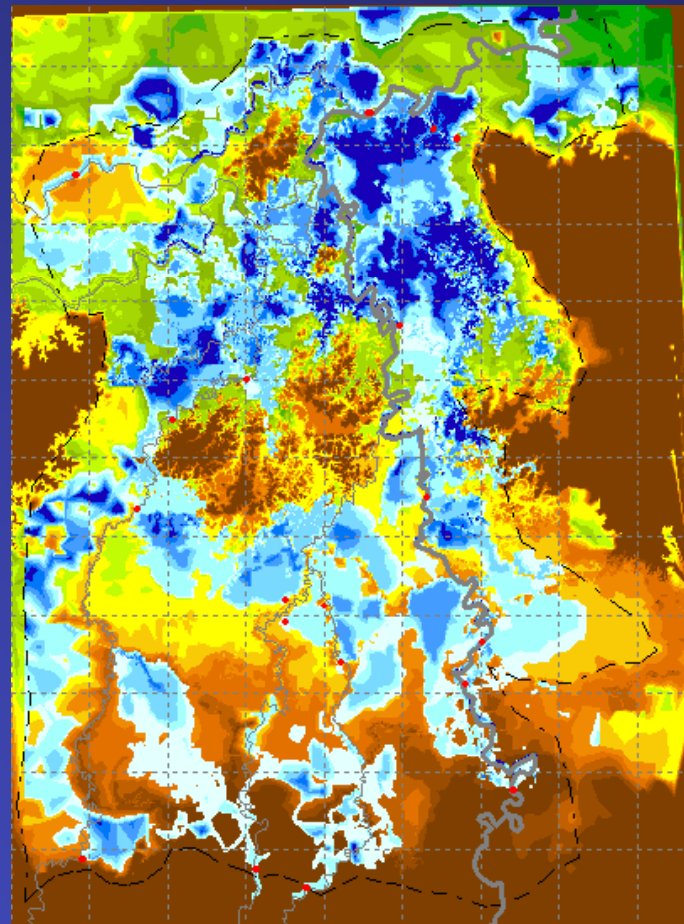


FLUJO BIDIMENSIONAL SIN CALIBRACIÓN

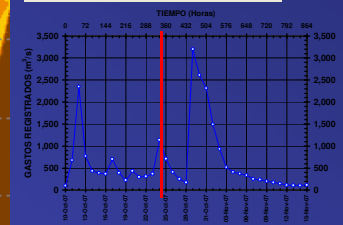
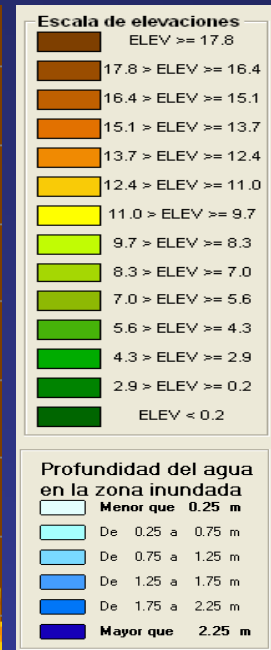
SIMULACIÓN 3
VECTORES DE VELOCIDAD



SIMULACIÓN 3
LAGUNAS EN LA ELEVACIÓN 5 msnm



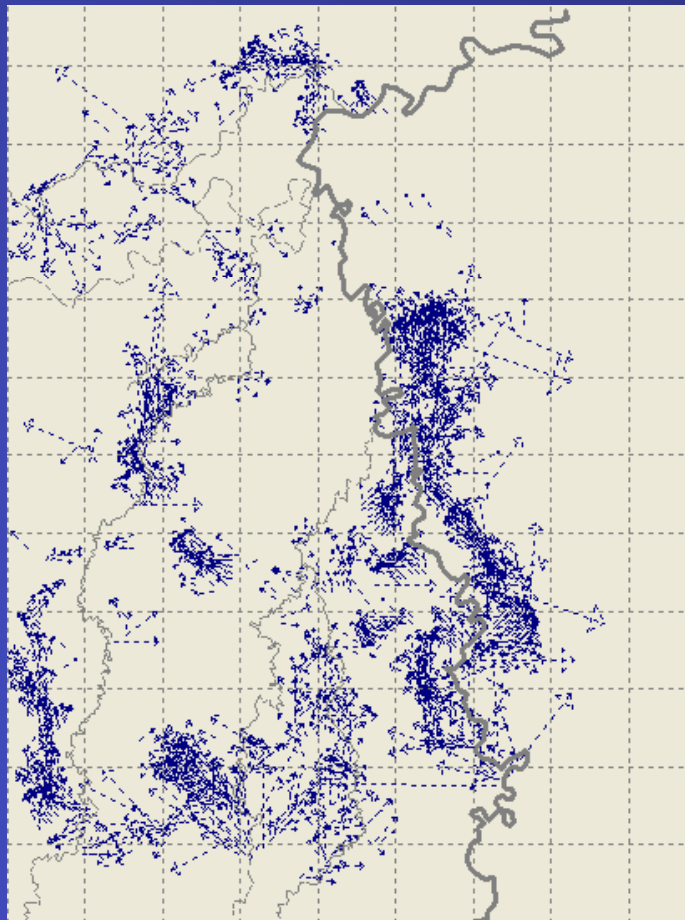
DÍA 14
(336 HORAS DE SIMULACIÓN)



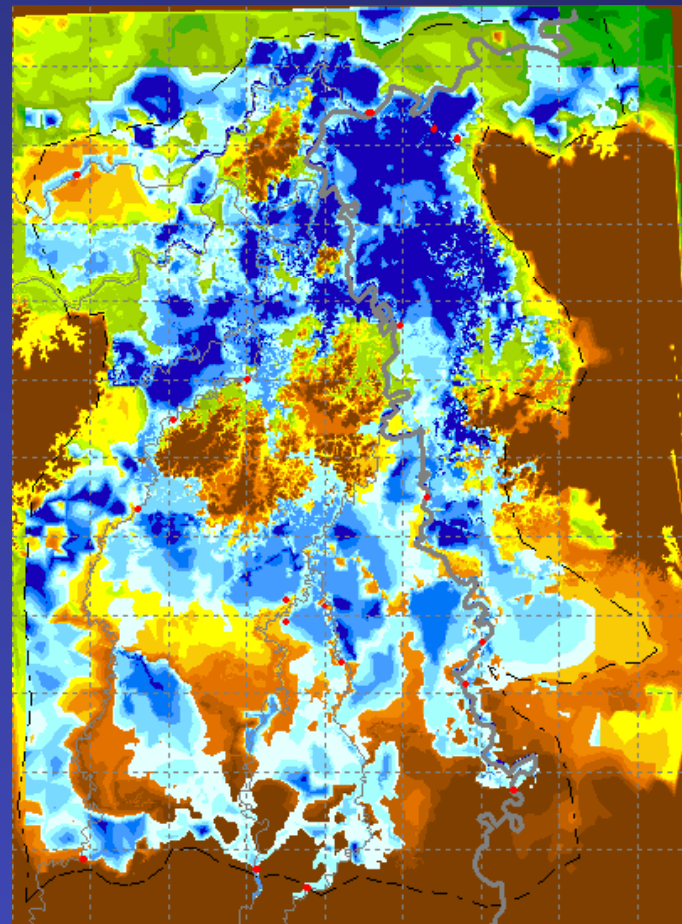


FLUJO BIDIMENSIONAL SIN CALIBRACIÓN

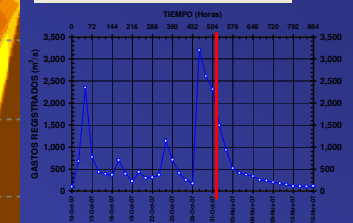
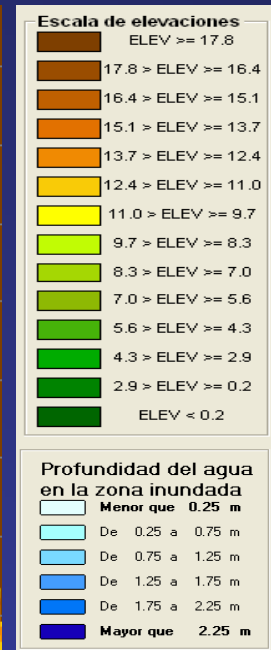
SIMULACIÓN 3
VECTORES DE VELOCIDAD



SIMULACIÓN 3
LAGUNAS EN LA ELEVACIÓN 5 msnm



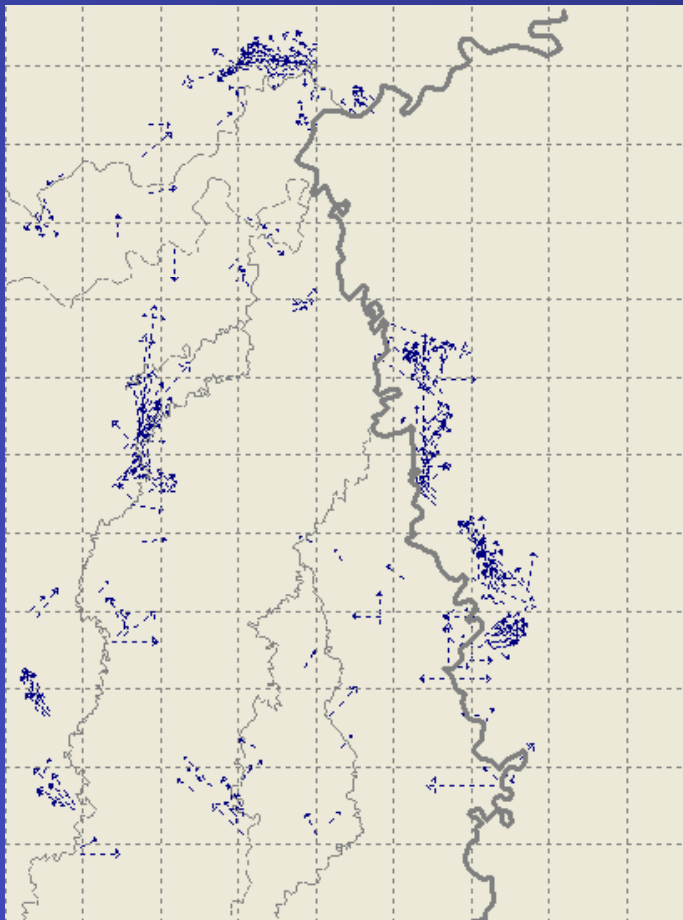
DÍA 21
(504 HORAS DE SIMULACIÓN)



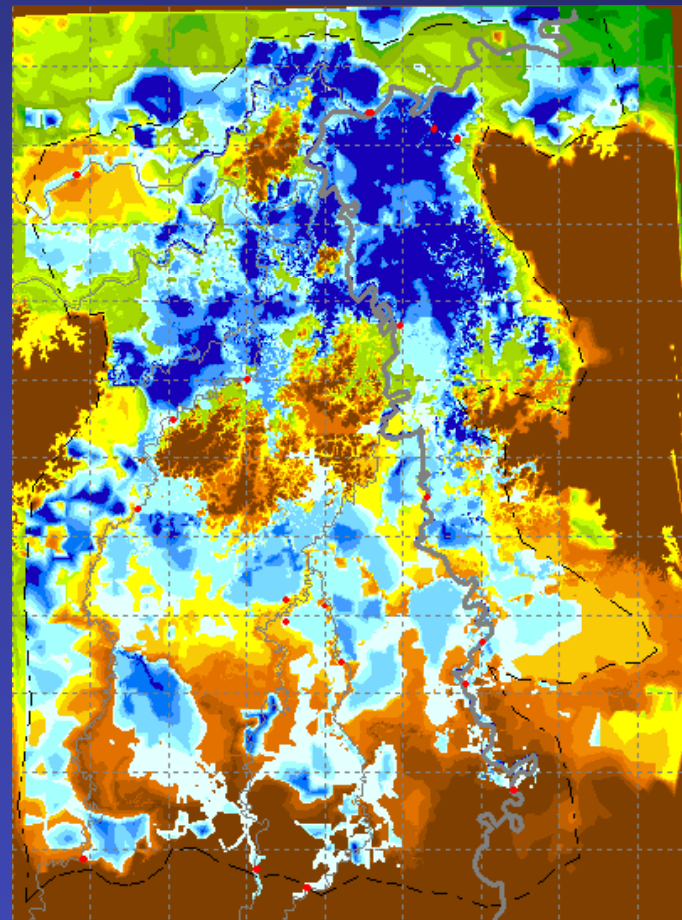


FLUJO BIDIMENSIONAL SIN CALIBRACIÓN

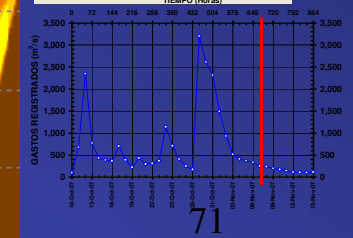
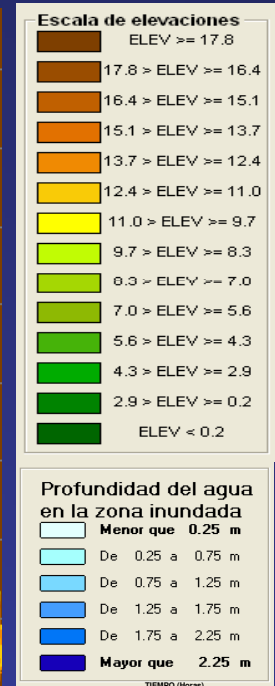
SIMULACIÓN 3
VECTORES DE VELOCIDAD



SIMULACIÓN 3
LAGUNAS EN LA ELEVACIÓN 5 msnm



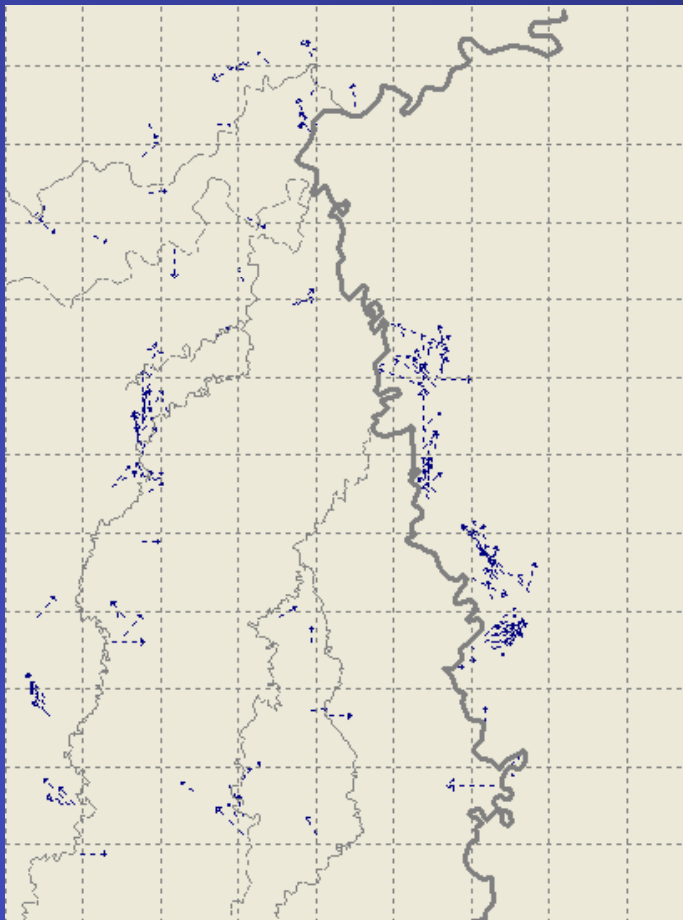
DÍA 28
(672 HORAS DE SIMULACIÓN)



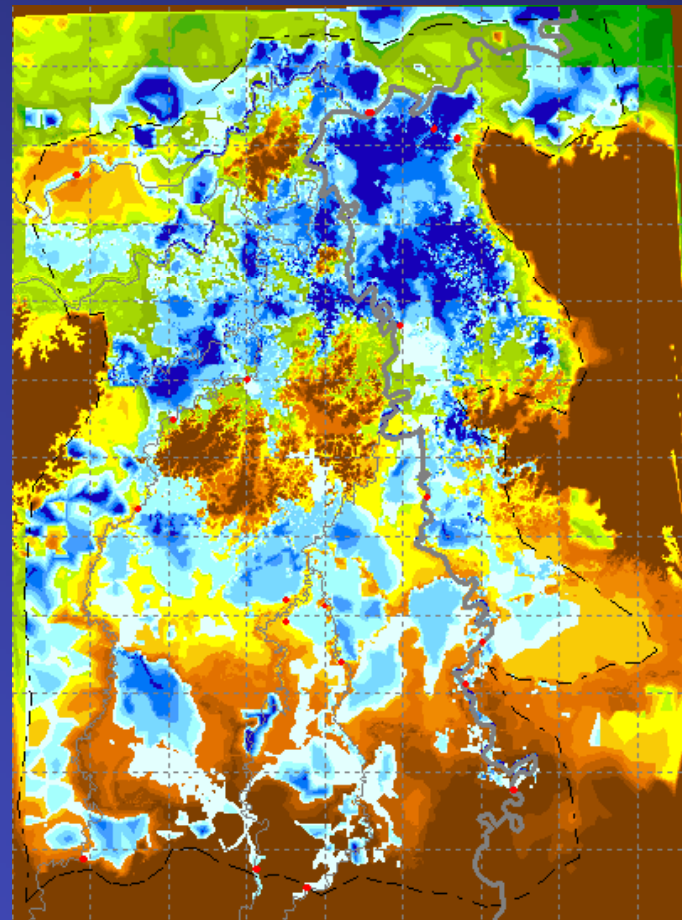


FLUJO BIDIMENSIONAL SIN CALIBRACIÓN

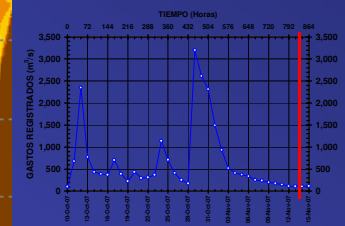
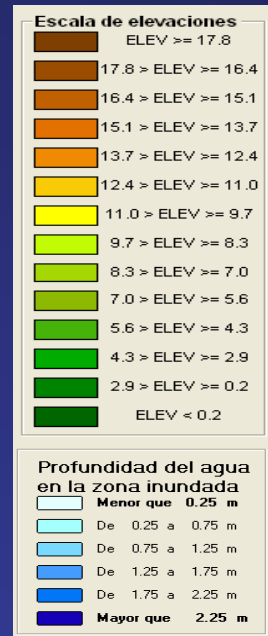
SIMULACIÓN 3
VECTORES DE VELOCIDAD



SIMULACIÓN 3
LAGUNAS EN LA ELEVACIÓN 5 msnm



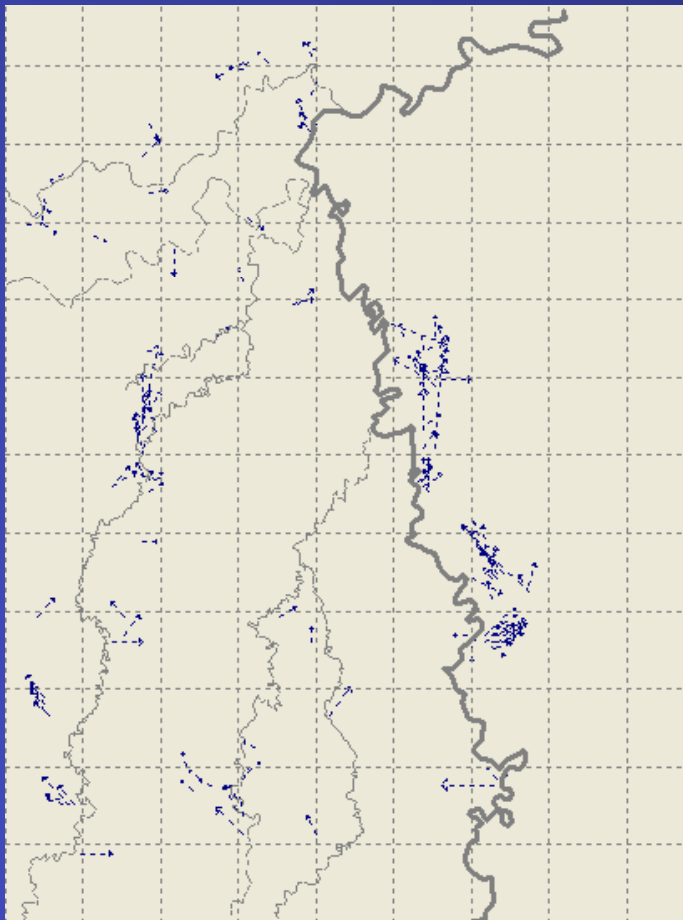
DÍA 35
(840 HORAS DE SIMULACIÓN)



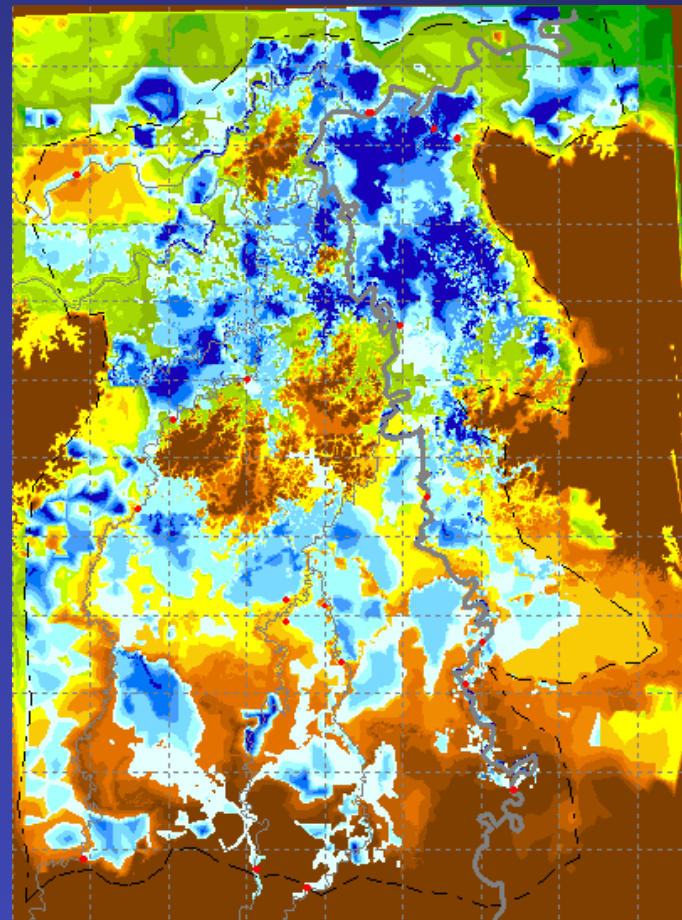


FLUJO BIDIMENSIONAL SIN CALIBRACIÓN

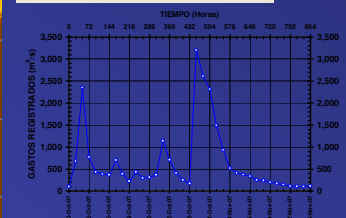
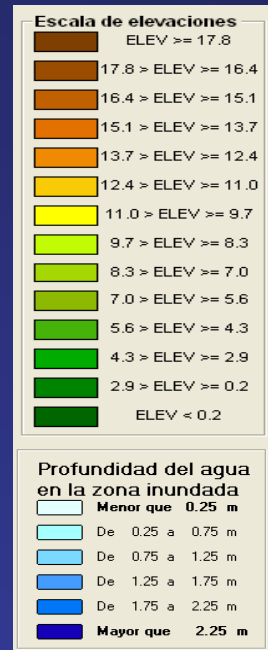
SIMULACIÓN 3
VECTORES DE VELOCIDAD



SIMULACIÓN 3
LAGUNAS EN LA ELEVACIÓN 5 msnm



DÍA 36
(864 HORAS DE SIMULACIÓN)



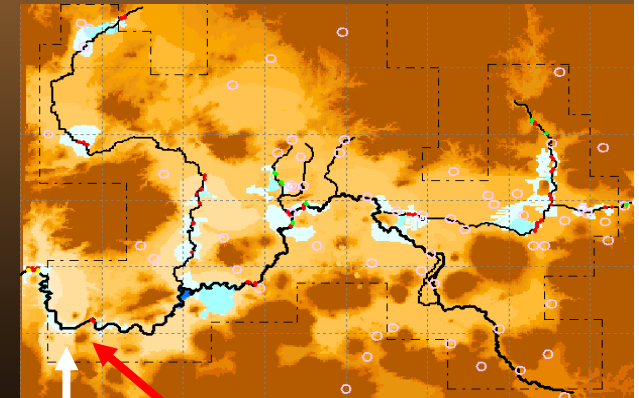
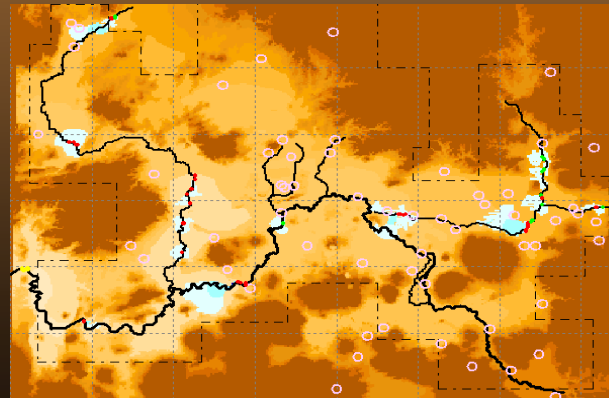
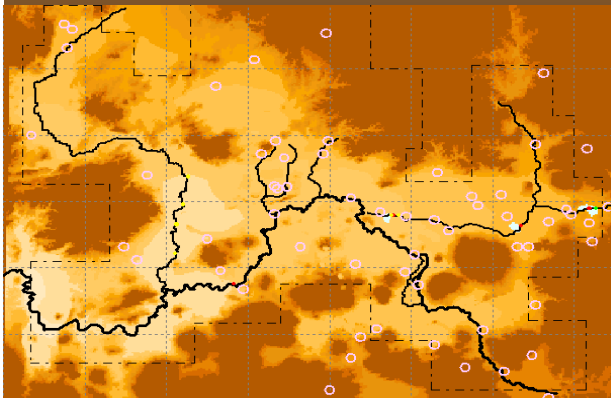
Tiempo de simulación 382 horas [15.9 días]

[VER VIDEO](#)

Tr=2 años

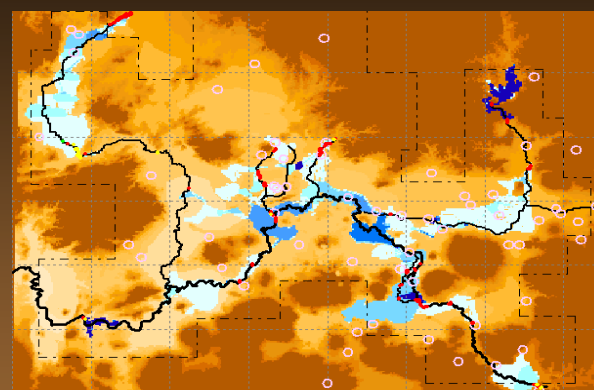
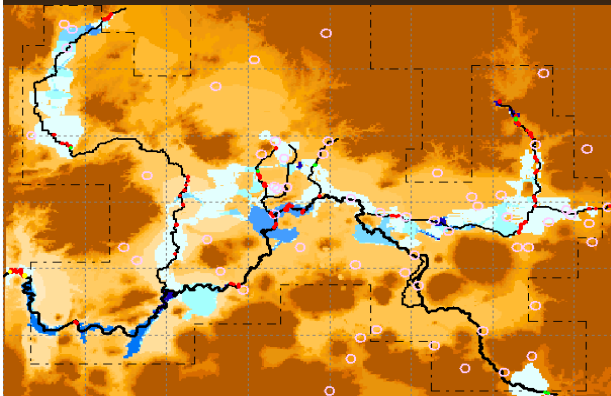
Tr=5 años

Tr=10 años



Tr=100 años

Tr=500 años

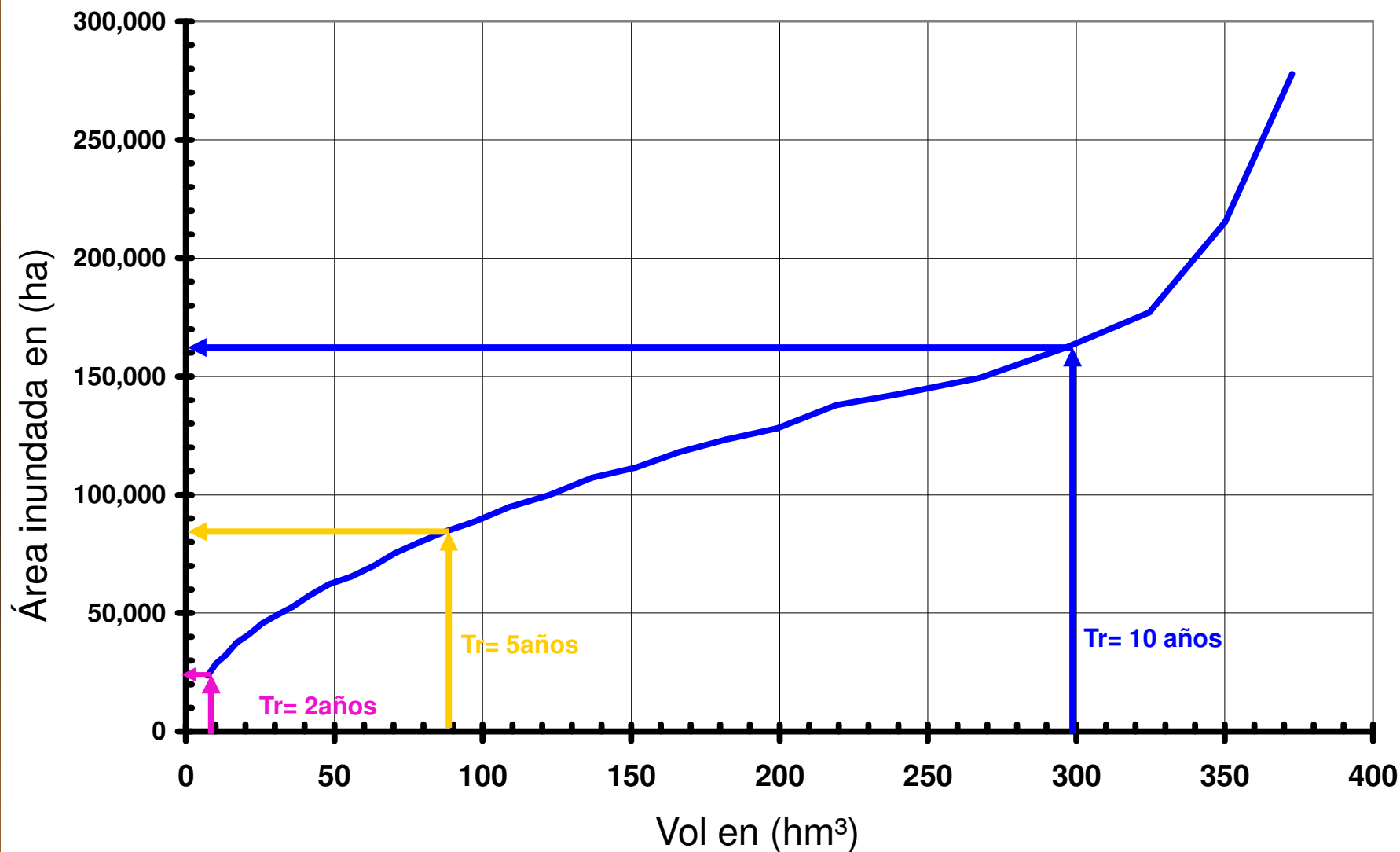


$Q_m = 270.9 \text{ m}^3/\text{s}$
14/Sep/2003

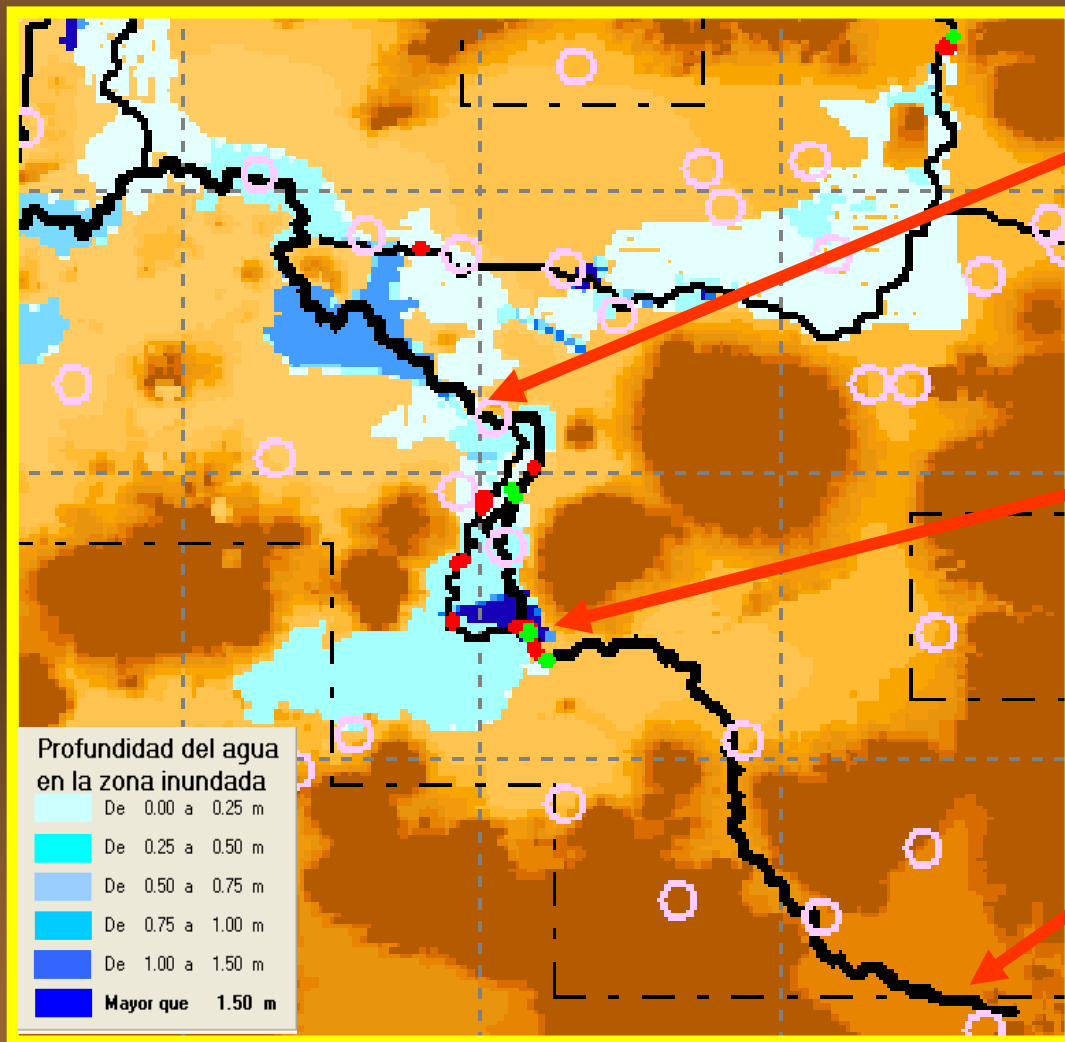
$Q_e = 251.6 \text{ m}^3/\text{s}$

Profundidad del agua
en la zona inundada

De 0.00 a 0.25 m
De 0.25 a 0.50 m
De 0.50 a 0.75 m
De 0.75 a 1.00 m
De 1.00 a 1.50 m
Mayor que 1.50 m



Río Lerma





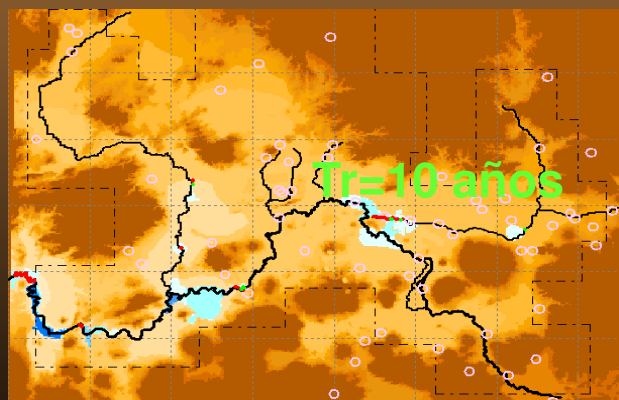
Angulo de desplante de 60 °

A .- Corona de bordo = 2 m

h .- Altura de bordo, variable y no mayor a 2 m

Altura B.I. (m)	Altura B.D. (m)	DIST (m)	AREA BI (m ²)	VOL BI (m ³)	AREA BD (m ²)	VOL BD (m ³)	SECCION
0.5	0	99.8633	1.14	114.28	0	0	110
0.75	0	98.933	1.82	180.53	0	0	111
0	0	199.598	0	0	0	0	112
0.75	1	399.989	1.82	729.88	2.58	1030.91	113
1	1.5	402.888	2.58	1038.38	4.30	1732.03	114
1	1	394.485	2.58	1016.73	2.58	1016.73	115
1.5	1	397.168	4.30	1707.44	2.58	1023.64	116
1.5	2	390.578	4.30	1679.11	6.31	2464.31	117
1.75	2	403.411	5.27	2125.22	6.31	2545.28	118
2	2	380.137	6.31	2398.44	6.31	2398.44	119
1.5	1.75	583.072	4.30	2506.65	5.27	3071.70	120
2	1.75	399.365	6.31	2519.75	5.27	2103.91	121
2	1.5	373.751	6.31	2358.14	4.30	1606.77	122
0.75	0	399.381	1.82	728.77	0	0	123
1.5	0	404.825	4.30	1740.36	0	0	124
1.5	1.25	396.804	4.30	1705.88	3.40	1349.97	125
1	1	393.627	2.58	1014.51	2.58	1014.51	126
0.5	0	389.547	1.14	445.77	0	0	127

Flujo bidimensional (406 horas [16.9 días])

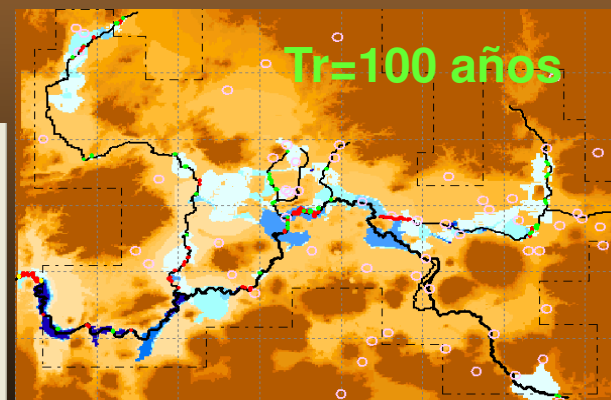


**% DERRAMADO
34.76%**

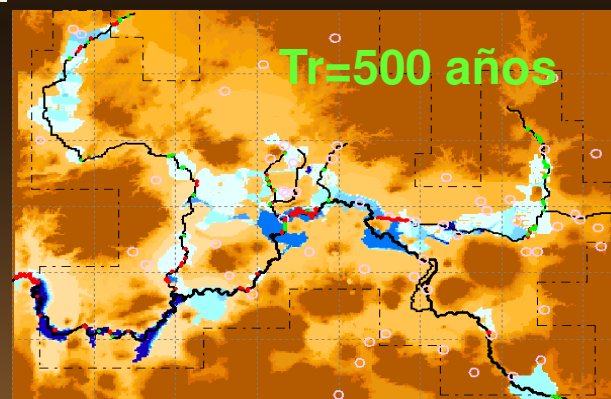
Profundidad del agua
en la zona inundada

- De 0.00 a 0.25 m
- De 0.25 a 0.50 m
- De 0.50 a 0.75 m
- De 0.75 a 1.00 m
- De 1.00 a 1.50 m
- Mayor que 1.50 m

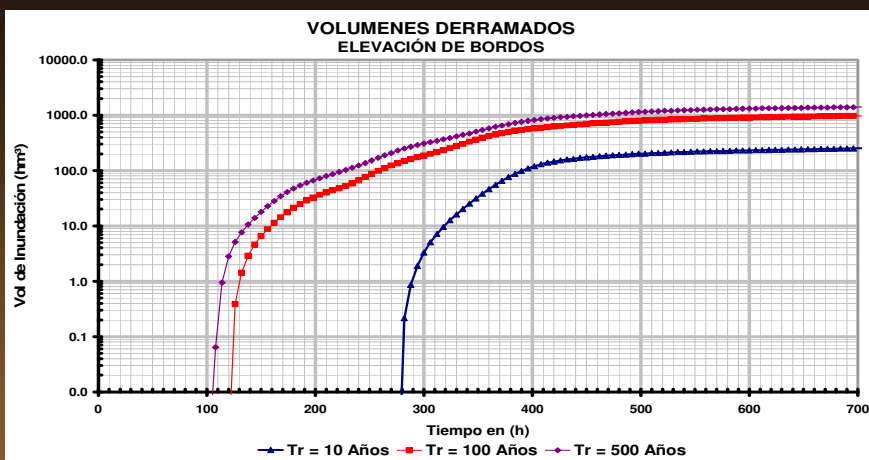
VER VIDEO



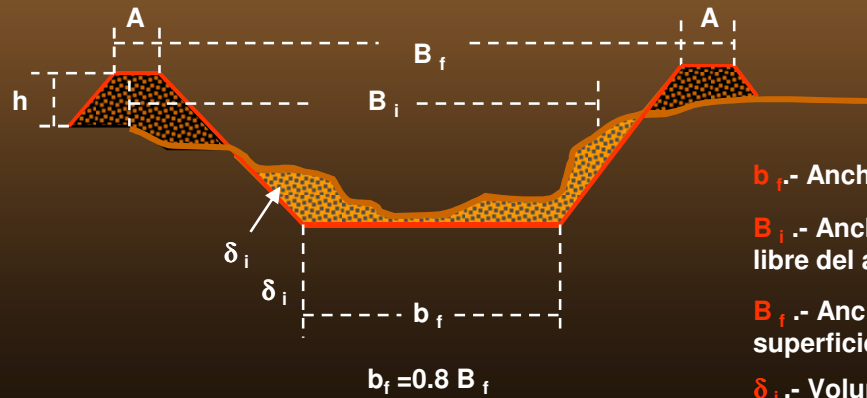
**% DERRAMADO
69.28%**



**% DERRAMADO
78.87%**



Elevación de bordos



b_f .- Ancho de plantilla

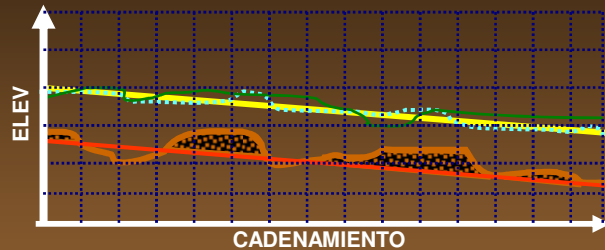
B_i .- Ancho de sección actual en la superficie libre del agua para $Q_{\text{máx}}$ de ésta.

B_f .- Ancho de sección modificada en la superficie libre del agua para $Q_{\text{máx}}$ de ésta.

δ_i .- Volumen de material retirado.

h .- Altura de Bordo

A .- Ancho de la Corona del bordo = 2 m



— Bordo Izquierdo.

.... Bordo Derecho.

— Talweg.

— Trazo de la línea del la pendiente de las secciones ampliadas.

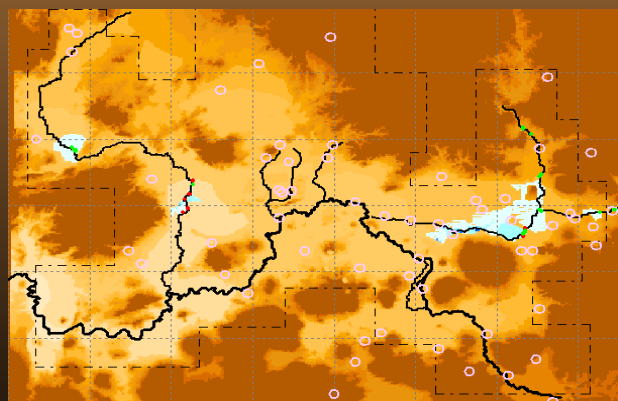
— Altura de bordos no mayor a 2 m

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES MODIFICADAS

FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO AMPLIACIÓN DE CAUCE

Flujo bidimensional
(382 horas [16.9 días])

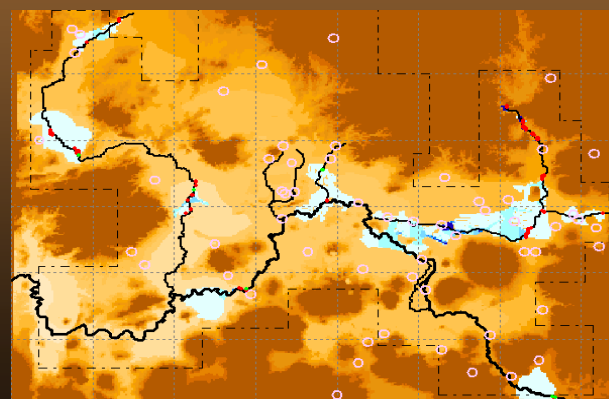
Tr=10 años



VER VIDEO

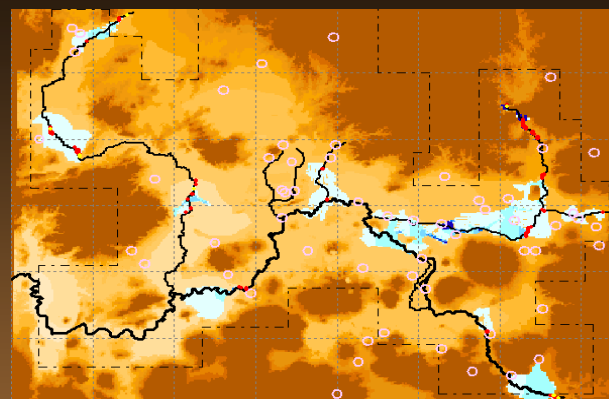
**% DERRAMADO
4.78%**

Tr=100 años

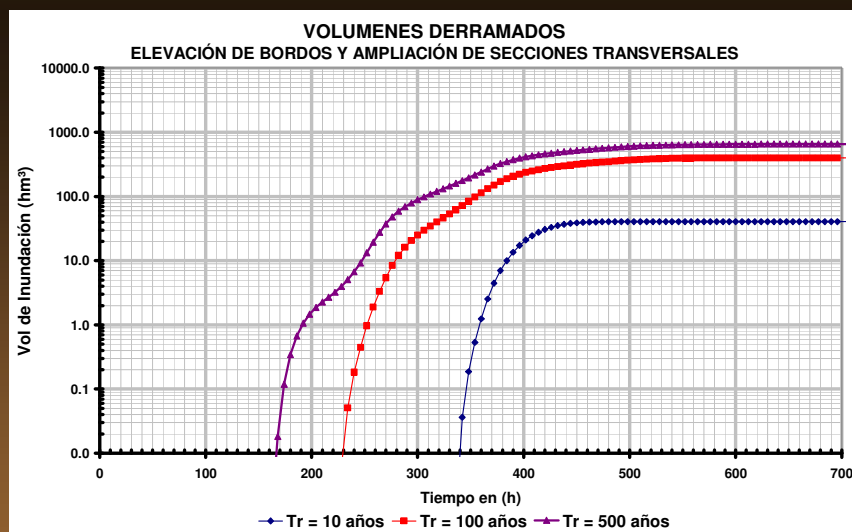


**% DERRAMADO
22.69%**

Tr=500 años



**% DERRAMADO
30.51%**



Profundidad del agua
en la zona inundada

- De 0.00 a 0.25 m
- De 0.25 a 0.50 m
- De 0.50 a 0.75 m
- De 0.75 a 1.00 m
- De 1.00 a 1.50 m
- Mayor que 1.50 m

Ampliación de secciones

PERIODO DE RETORNO (TR) en años	% DE VOLUMEN DERRAMADO				
	CONDICIONES ACTUALES	ELEVACIÓN DE BORDOS	AMPLIACIÓN DE SECCIONES	ELEV. BORDOS + AMP. SECCIONES	CANAL DE DESVÍO
2	2.57				
5	17.75				
10	37.88	34.76	4.78	5.46	37.69
100	70.41	69.28	22.69	27.63	70.49
500	77.44	78.87	30.51	35.87	77.45

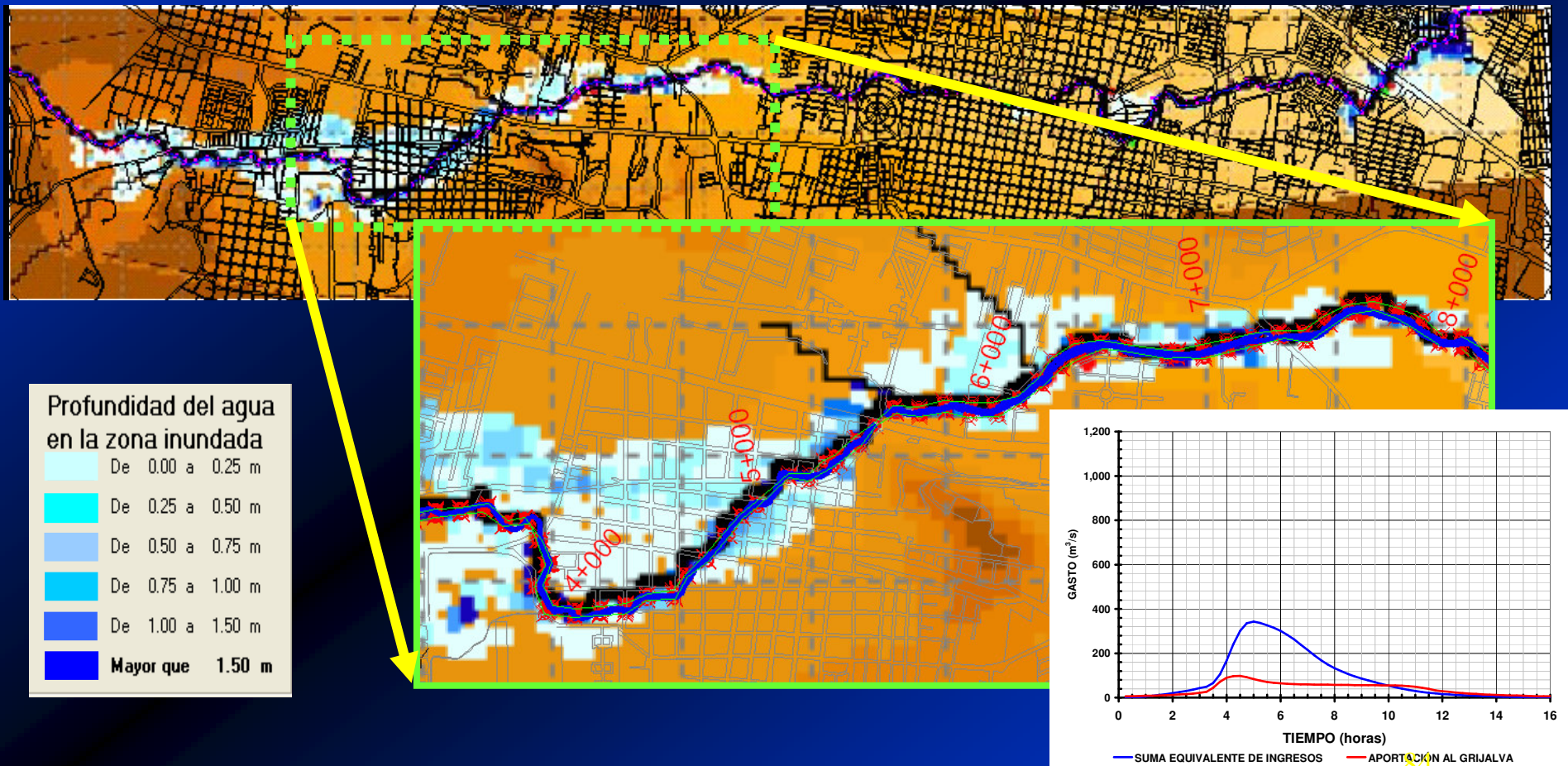
Concepto	Canal	Bordo	Ampliación secciones	Diques encauzamiento +Desazolve
Área (m ²)	64.5	64.5	2.57	
Longitud (Km.)	45.5	39	694.656	
Volumen (m ³)	2'934,750	2'515,500	357053.184	163.2 X 10 ⁶
Costo (\$)	\$49,303,800	\$42,260,400	\$13,175,262	\$610,617,945

1/Tr	Condiciones actuales	Canal de desvío	Bordos	Ampliación	Ampl+desazolve
0.002	850	850	866	394	394
0.01	625	626	615	245	201
0.1	324	322	297	47	41
0.2	115	114	106	17	15
0.5	25	25	23	4	3

Daño en millones de pesos

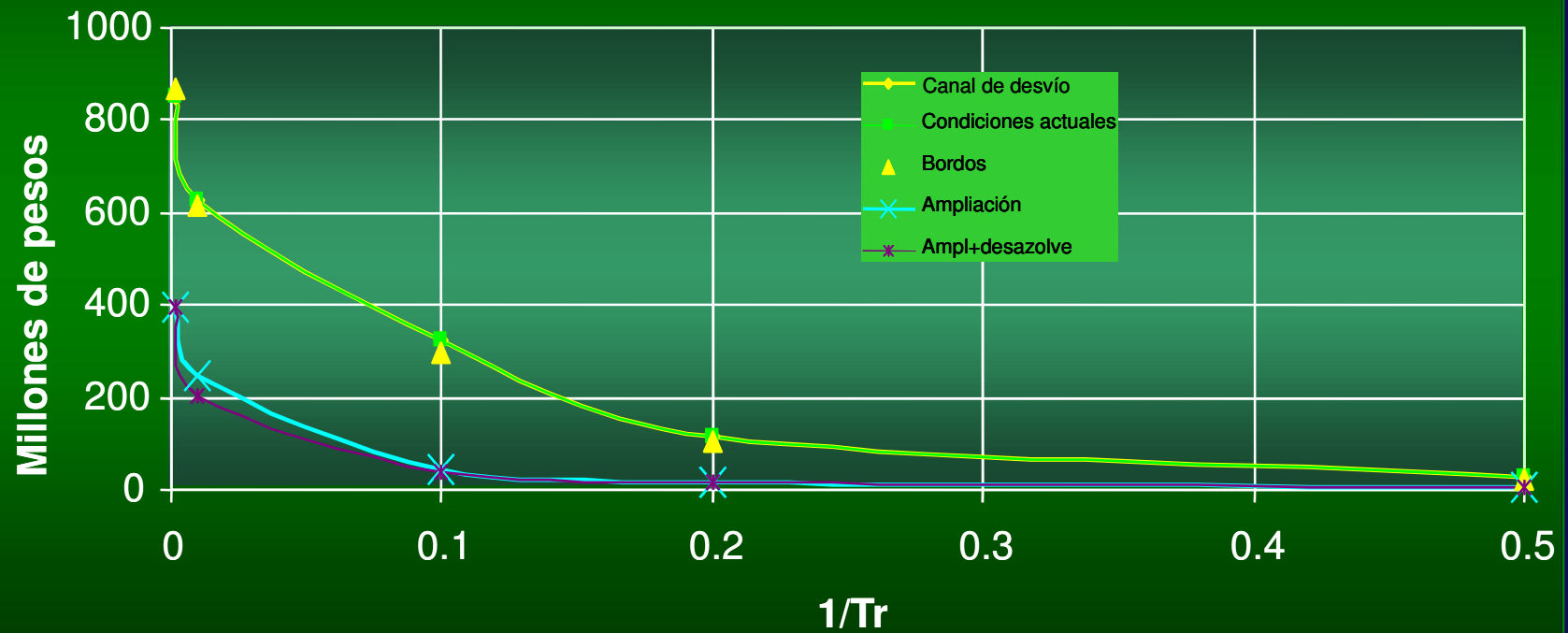
Inundaciones estimadas

TR = 10 AÑOS



CALCULO DE COSTOS

Esperanza de daños



6. UNA MEDIDA INSTITUCIONAL CONTRA INUNDACIONES

Sobretudo para las **zonas de mayor riesgo** ...

... aunque se construyan las obras para un periodo de retorno grande, siempre existe cierta probabilidad de ser excedidas...

Existen distintas versiones y niveles de aviso para advertir de los daños que pueda ocasionar en plazo corto un evento hidrometeorológico extremo.

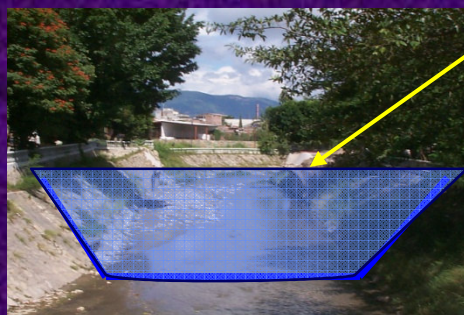
**SISTEMA DE ALERTA
HIDROMETEOROLÓGICA TEMPRANA**

SISTEMA DE ALERTA HIDROMETEOROLÓGICA TEMPRANA

Consiste en un conjunto de actividades para ANTICIPAR la ocurrencia de un acontecimiento que puede generar daños a la población y para REDUCIR sus efectos negativos.



1 : 00 P.M.



3 : 00 P.M.

Se estima a la 1:10 PM

Se estima a la 1:12 PM

Se estima a la 1:13 PM



4 : 00 P.M.



5 : 00 P.M.⁸⁸

SISTEMA DE ALERTA HIDROMETEOROLÓGICA TEMPRANA

ELABORACIÓN DEL PLAN OPERATIVO
DE EMERGENCIA CONTRA INUNDACIONES

COMUNICACIÓN A LA POBLACIÓN SOBRE LAS
ZONAS DE RIESGO Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN

FUNCIONAMIENTO DEL CONJUNTO
ELECTRÓNICO-HIDROLÓGICO
DE ALERTA TEMPRANA

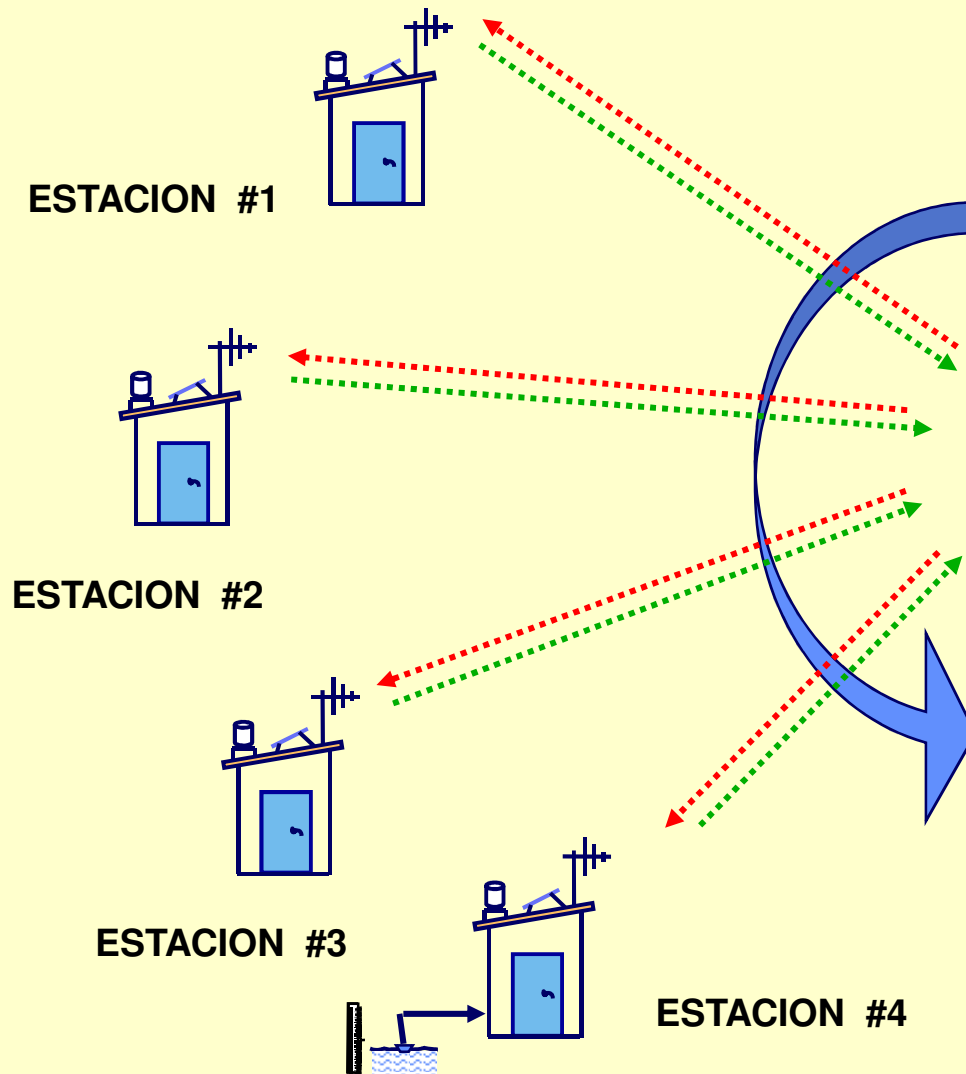
PUESTA EN MARCHA DEL PLAN
DE EMERGENCIA CONTRA INUNDACIONES



Objetivo :

1 **Observar**, frecuente y permanente , los fenómenos meteorológicos y los efectos en lluvias o escurrimientos en una zona para **detectar** **anticipadamente** un evento de peligro y poner en **operación** un **plan de emergencia** preestablecido para disminuir sus daños. 2 3

Operación del Sistema: Interrogación de las estaciones



A intervalos regulares (10 min.) la central inicia un ciclo de interrogación.

A cada estación, sucesivamente, se le solicita que envíe sus datos acumulados durante el intervalo anterior.

La telemetría es mediante radio-módem digital.

CENTRO DE REGISTRO
Y PROCESAMIENTO

CENAPRED

NIVELES DE ALERTA PARA EL SISTEMA DE ALERTA HIDROMETEOROLÓGICA

1er. NIVEL DE ALERTA

**DÍAS
(ESTATAL)**



Se pronostican lluvias con 2 a 1 día de anticipación.

Se usan imágenes de satélite, de radares y boletines del Servicio Meteorológico Nacional.



NUEVO LEÓN

Rangos de Alertamiento

Distancia en kilómetros de la costa a las bandas
20 Kms por hora velocidad promedio
Tiempo (hrs.)

Fenómeno	Intensidad Vientos (Kms/hora)	Detección	1000 a 500	500 a 350	350 a 200	200 a 150	150 a 100	Menos de 100
			72 - 36 hr	36 a 24 hr	24 a 12 hr	12 a 6 hrs	Menos de 6	0 (impacto)
Depresión	< 60	Aviso	Alerta	Alerta	Alerta	Alerta	Emergencia	Alarma
Tormenta Tropical	< 120	Aviso	Alerta	Alerta	Alerta	Alerta	Emergencia	Alarma
Huracán Nivel 1	< 155	Aviso	Alerta	Alerta	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma
Huracán Nivel 2	< 180	Aviso	Alerta	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma	Alarma
Huracán Nivel 3	< 210	Aviso	Alerta	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma	Alarma
Huracán Nivel 4	< 250	Aviso	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma	Alarma	Alarma
Huracán Nivel 5	> 250	Aviso	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma	Alarma	Alarma

CENAPRED

NIVELES DE ALERTA PARA EL SISTEMA DE ALERTA HIDROMETEOROLÓGICA

2o. NIVEL DE ALERTA

**HORAS
(MUNICIPAL)**



Se pronostican lluvias con menos de 24 horas de anticipación.

Se usa la información del radar y boletines del Servicio Meteorológico Nacional



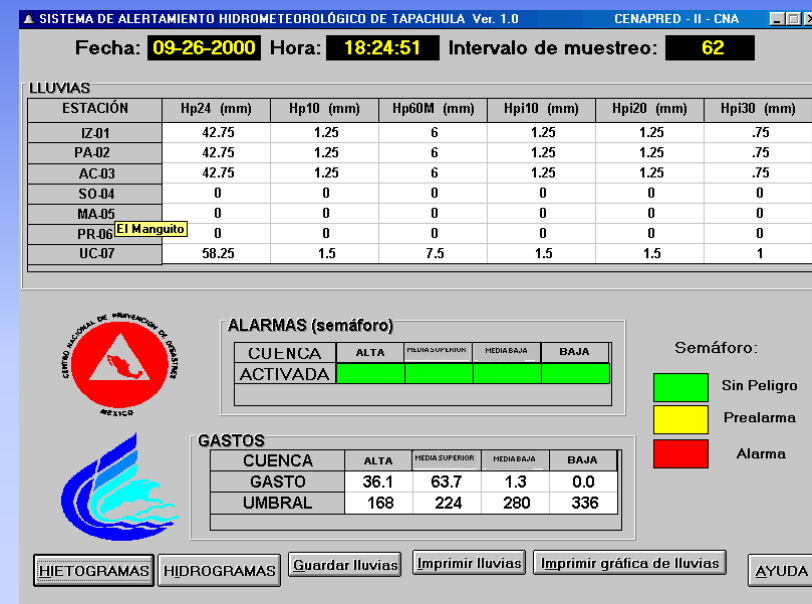
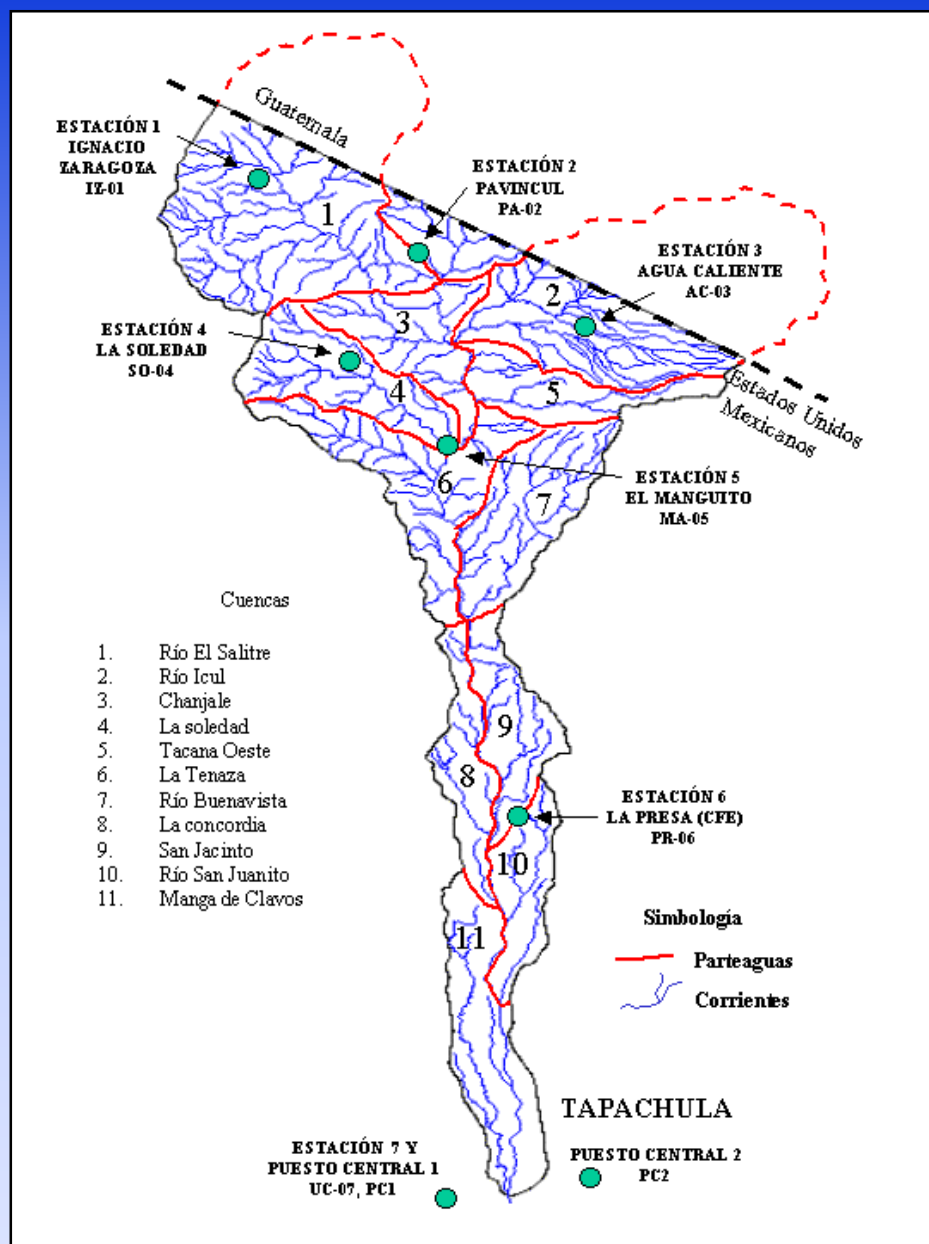
Rangos de Alertamiento

Distancia en kilómetros de la costa a las bandas
20 Kms por hora velocidad promedio
Tiempo (hrs.)

Fenómeno	Intensidad Vientos (Kms/hora)	Detección	1000 a 500	500 a 350	350 a 200	200 a 150	150 a 100	Menos de 100
			72 - 36 hr	36 a 24 hr	24 a 12 hr	12 a 6 hrs	Menos de 6	0 (impacto)
Depresión	< 60	Aviso	Alerta	Alerta	Alerta	Alerta	Emergencia	Alarma
Tormenta Tropical	< 120	Aviso	Alerta	Alerta	Alerta	Alerta	Emergencia	Alarma
Huracán Nivel 1	< 155	Aviso	Alerta	Alerta	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma
Huracán Nivel 2	< 180	Aviso	Alerta	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma	Alarma
Huracán Nivel 3	< 210	Aviso	Alerta	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma	Alarma
Huracán Nivel 4	< 250	Aviso	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma	Alarma	Alarma
Huracán Nivel 5	> 250	Aviso	Alerta	Emergencia	Emergencia	Alarma	Alarma	Alarma

CENAPRED

93 INSTITUTO
DE
INGENIERIA
UNAM



Estación pluviométrica (1)



Figura 1

Fig 1. Cuenca y poblado de Motozintla, Chis.

Fig 2. Estación pluviométrica del sistema de alertamiento de Motozintla, Chis.



Figura 2

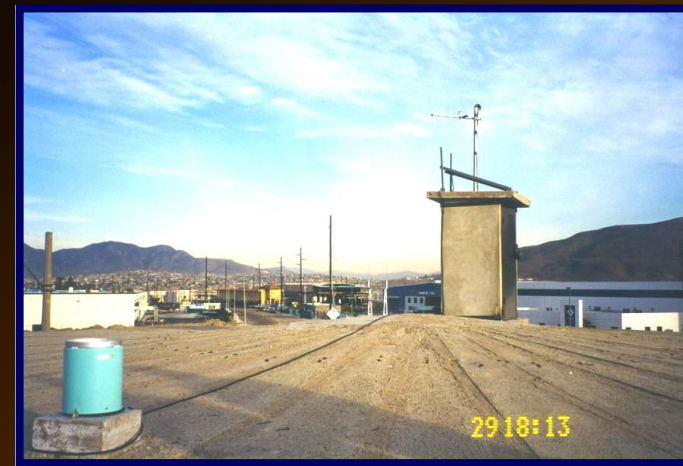
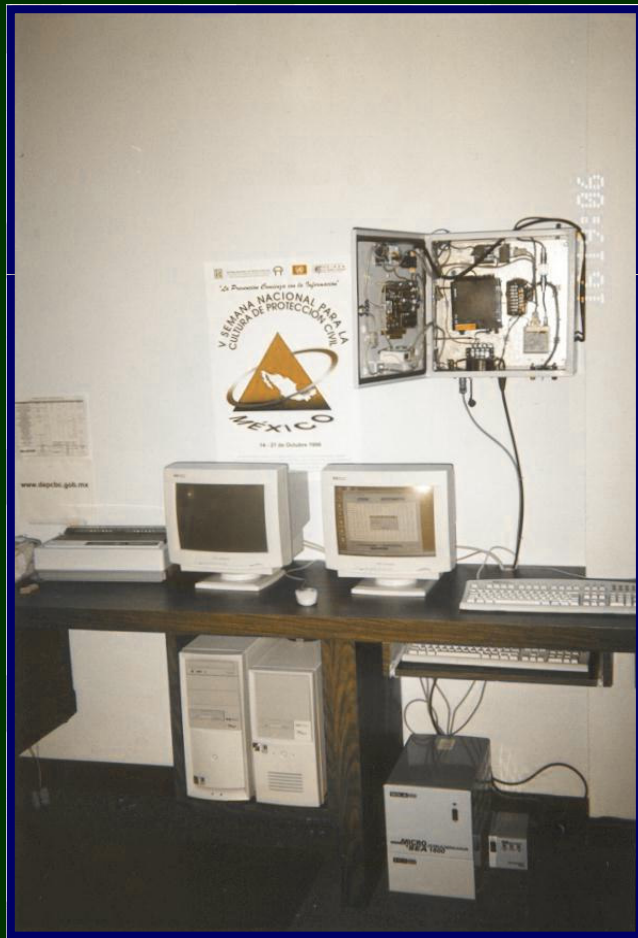


Figura 3

Fig 3. Estación pluviométrica del sistema de alertamiento de Tijuana, BCN

ESTACIÓN CENTRAL DE REGISTRO Y PROCESAMIENTO

Puesto en Protección Civil Estatal
de Tijuana, BCN.



Vista del módulo de recepción
de datos de telemetría.
Tapachula, Chis.



Pantalla principal de la computadora hidráulica

Barra de identificación del sistema

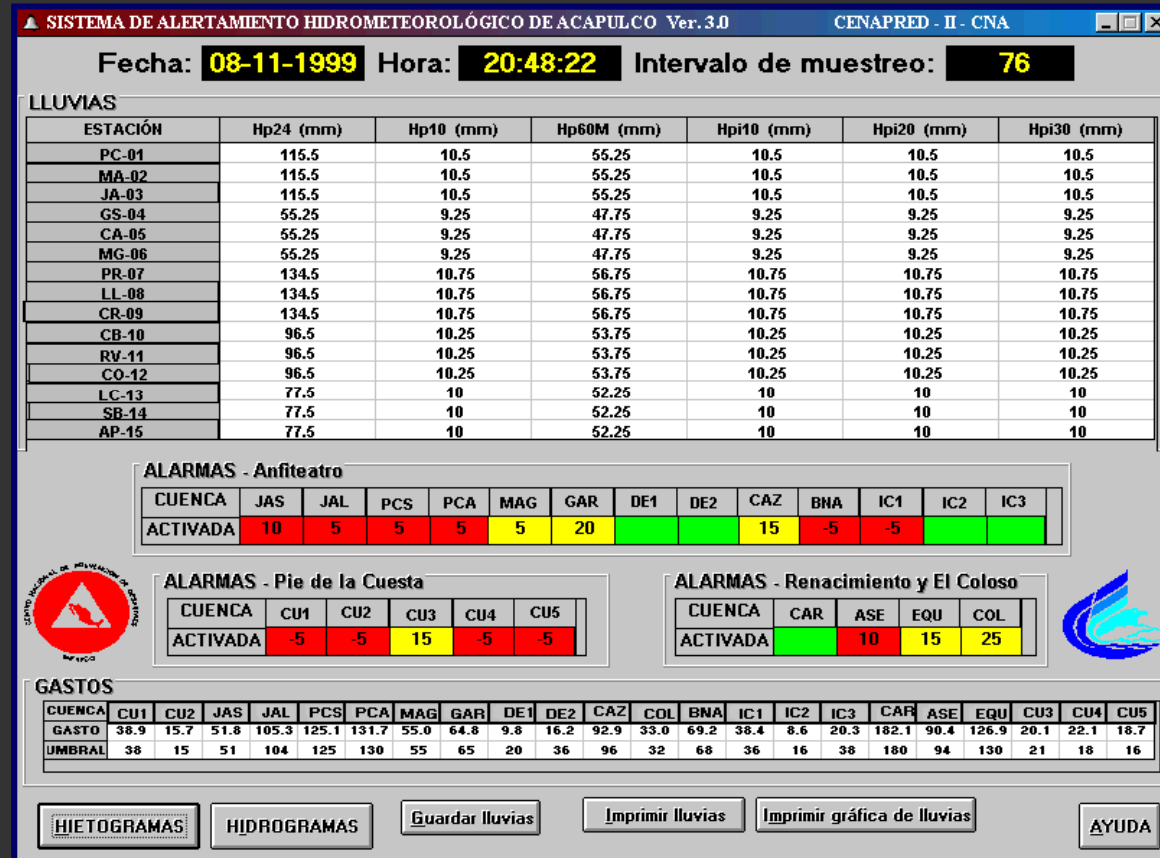
Fecha, hora e intervalo de muestreo

Tabla de precipitaciones acumuladas en todas las estaciones (*)

Barras de alarmas con semáforos y tiempos de predicción para cada subcuenca

Tabla de gastos y umbrales

Cuadro de comandos



(*)

Precipitaciones acumuladas (en mm):

Hp24 en la últimas 24 horas (a partir de las 08:00)
HP10 en los últimos 10 minutos
HP60M en la última hora
HP10M en los últimos 10 minutos

Hpi10 en el intervalo t-10 minutos
Hpi20 en el intervalo t-20 minutos
Hpi30 en el intervalo t-30 minutos

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- *Una manera de reducir los riesgos de origen hidrometeorológico consiste en **disminuir la vulnerabilidad***
- *Es posible disminuir las condiciones inseguras frente a inundaciones y crecidas con **medidas estructurales e institucionales**.*
- ***Evitar la construcción de viviendas y actividades humanas en lugares que son puntos naturales de evacuación de aguas o de frecuente inundación.***

- *Medidas de mitigación tales como manejo de cuencas, reforzamiento bordos, ampliación de colectores de aguas lluvias **disminuyen los riesgos de inundación***
- *Las **medidas de la Protección Civil permiten optimar la respuesta y la rehabilitación**, para que estas sean rápidas, oportunas y eficientes para una mejor y expedita normalización de las actividades.*

*Los procesos meteorológicos extremos que inciden en la generación de riesgos hidrometeorológicos se pueden pronosticar con un grado de acierto, por lo que las **acciones de prevención oportunas** y bien organizadas reducen los daños en forma apreciable.*

•

Se requiere de información de detalle de las viviendas, sobre todo de su ubicación y elevaciones de desplante, en las zonas susceptibles a ser inundadas.

Los mapas de riesgo son de gran ayuda para los especialistas encargados de la protección a los habitantes de las zonas que sufren daños por inundaciones.

Los mapas de riesgo deben ser tomados en cuenta AL establecer reglamentos sobre uso de suelo y en caso de construir viviendas en esos sitios, acondicionarlas para que no se presenten daños de consideración en ellas.

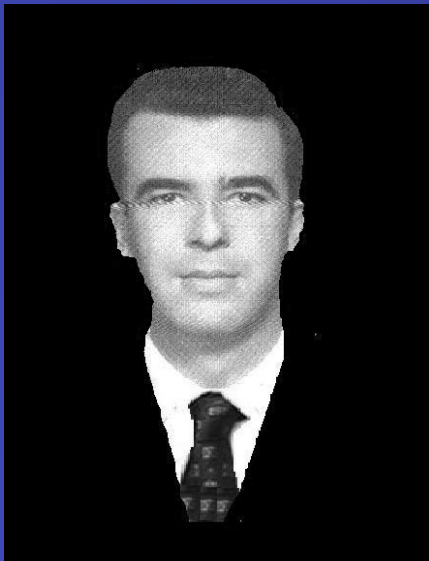
CONCLUSIONES

- ❖ Se requiere de métodos hidrológicos que se basaron en hidrogramas donde se estimó el gasto de pico y el volumen.
- ❖ Para abarcar una zona amplia de inundación ,se usaron “factores de simultaneidad”.
- ❖ Los modelos hidráulicos se apoyan en la información de la topografía del terreno y de las secciones transversales de los ríos.

En ocasiones para ningún escenario las obras se justifican de acuerdo con su relación beneficio-costos pero existen daños no cuantificables que en la medida que se incorporen en los cálculos podrían hacerlas competitivas en relación al daño evitado.

Antes de terminar, no puedo pasar por alto en este curso

*Gran respeto
agradecimiento y
admiración para el
Ing. Maza.*



Fin

Muchas gracias