

Dr. Alfonso Gutiérrez López
Iniciativa Internacional sobre Inundaciones, IFI
Programa Hidrológico Internacional, PHI UNESCO
Centro de Investigaciones del Agua, CIAQ
ifilacphi@uaq.mx

Eventos extremos en México

Seminario Internacional “Eventos hidrológicos extremos: Análisis y aplicaciones”
Centro Tecnológico de Hidrología Ambiental
Universidad de Talca, Campus Santiago 13 de enero 2012

OBJETIVOS

Contribuir al mejor conocimiento de la modelización y de la regionalización de la precipitación...

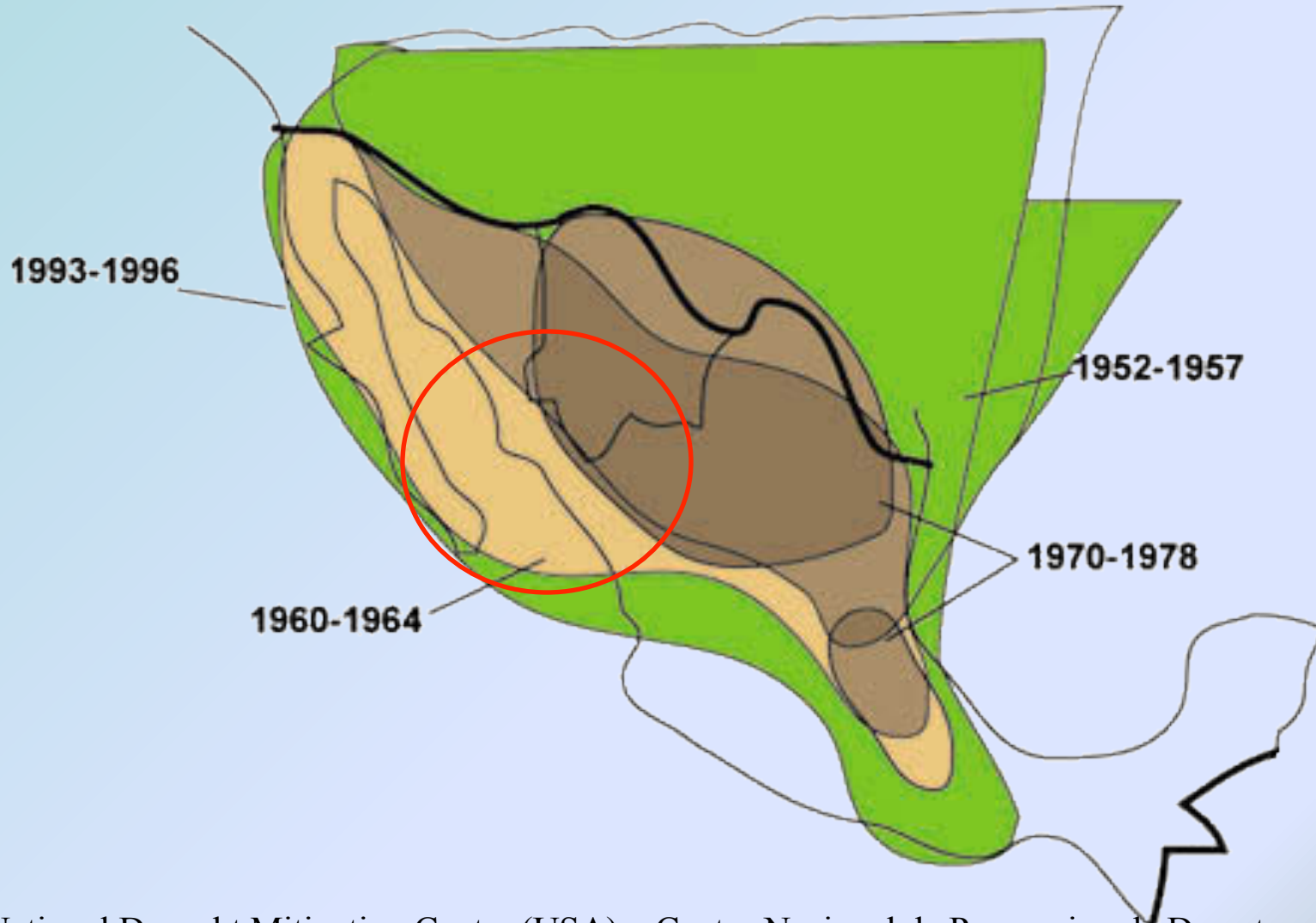
... en particular del conocimiento del riesgo de lluvia extrema y del riesgo de sequía . . .

... aportando los conceptos y las acciones para realizar el manejo de cuencas con enfoque de ordenamiento territorial

DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO



Las sequías más importantes en México
(1930-2006) - déficit hídrico -

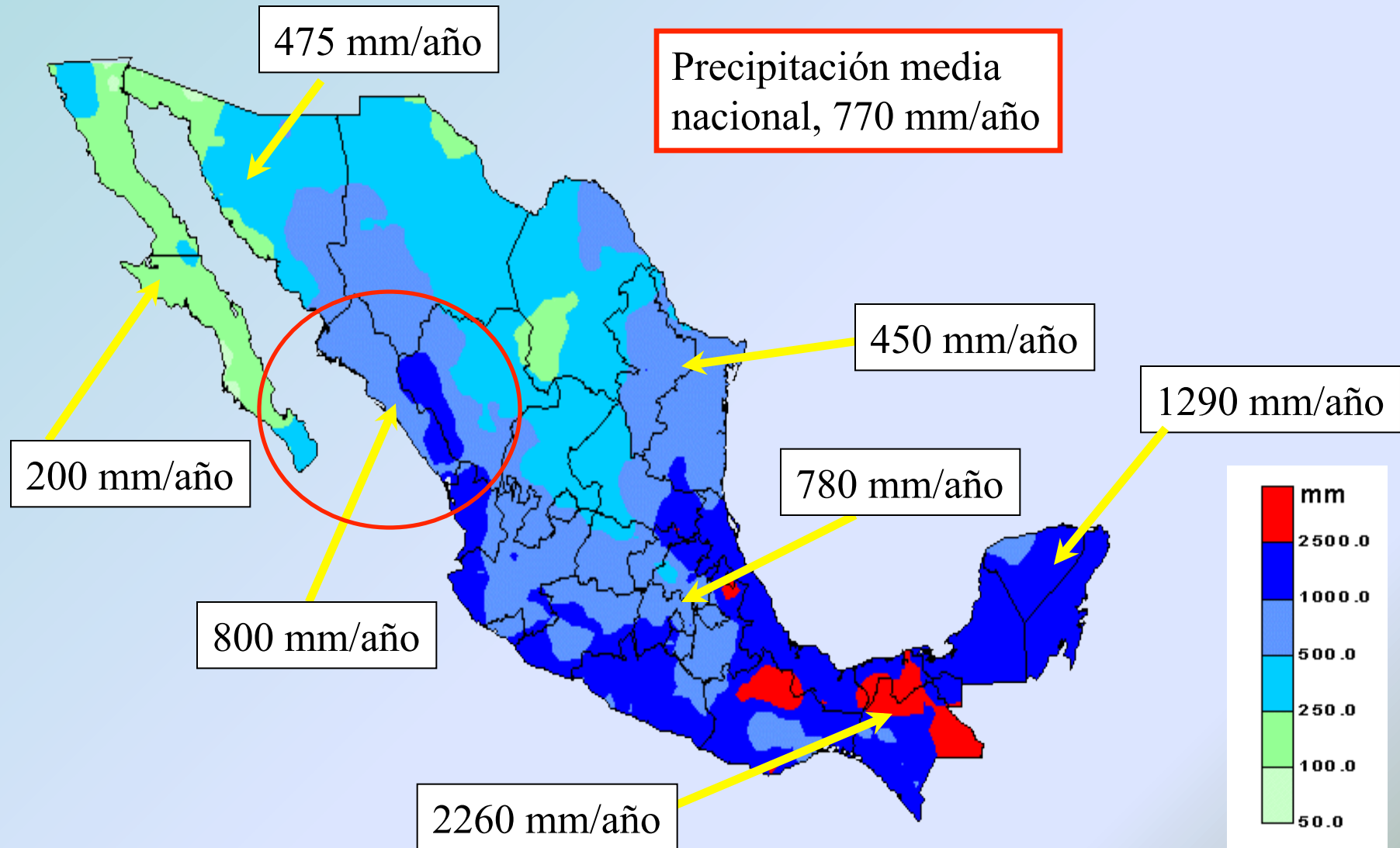


0 200 400 600 km



Pluviometría de México

Precipitación media nacional, 770 mm/año

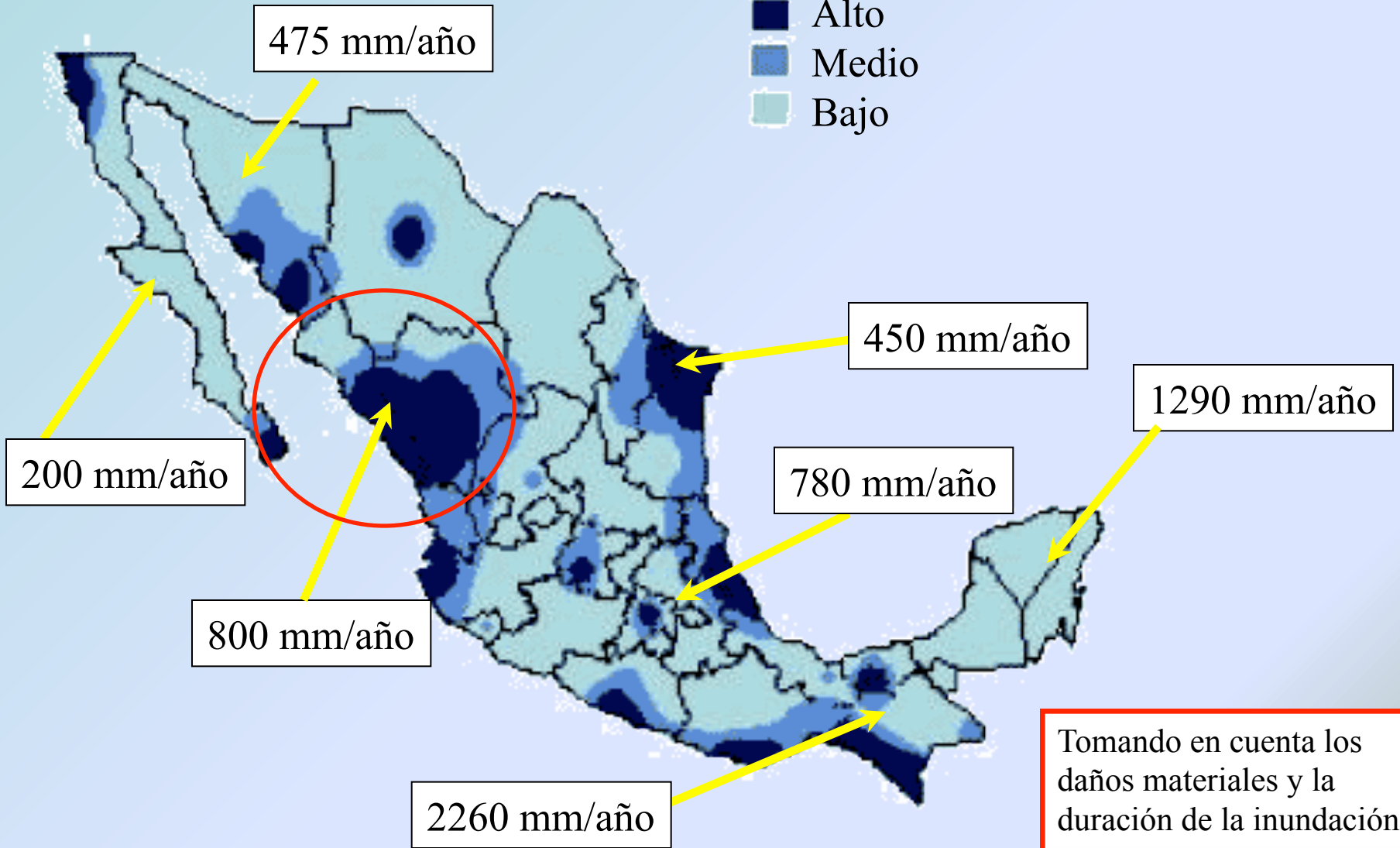


0 200 400 600 km



Riesgo de inundación en México

- Alto
- Medio
- Bajo



0 200 400 600 km



Regiones hidrológicas de México

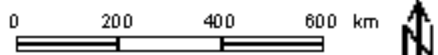
Región hidrológica 10



superficie
aproximada de
80.000 km²

Existen más de 90 estaciones
Climatológicas . . .
. . . con series de datos
históricos aprox. de 30 años

Sinaloa (43 %), Chihuahua (27 %),
Durango (23 %) y Sonora (7 %)

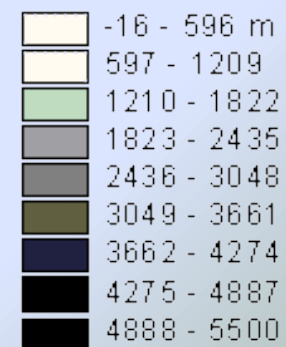


Fisiografía de México



Sierra Madre Occidental

Altitude





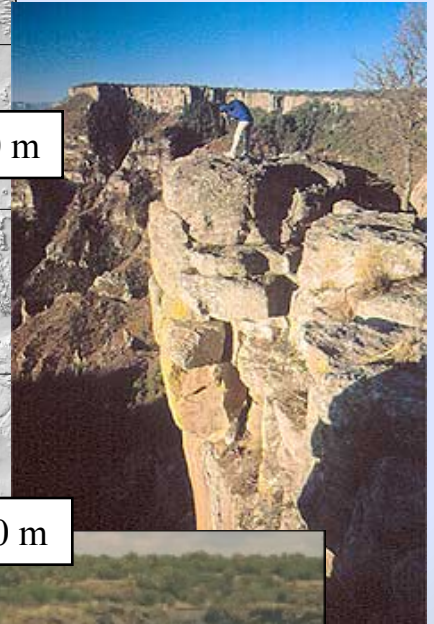




Urique, 1.000 m



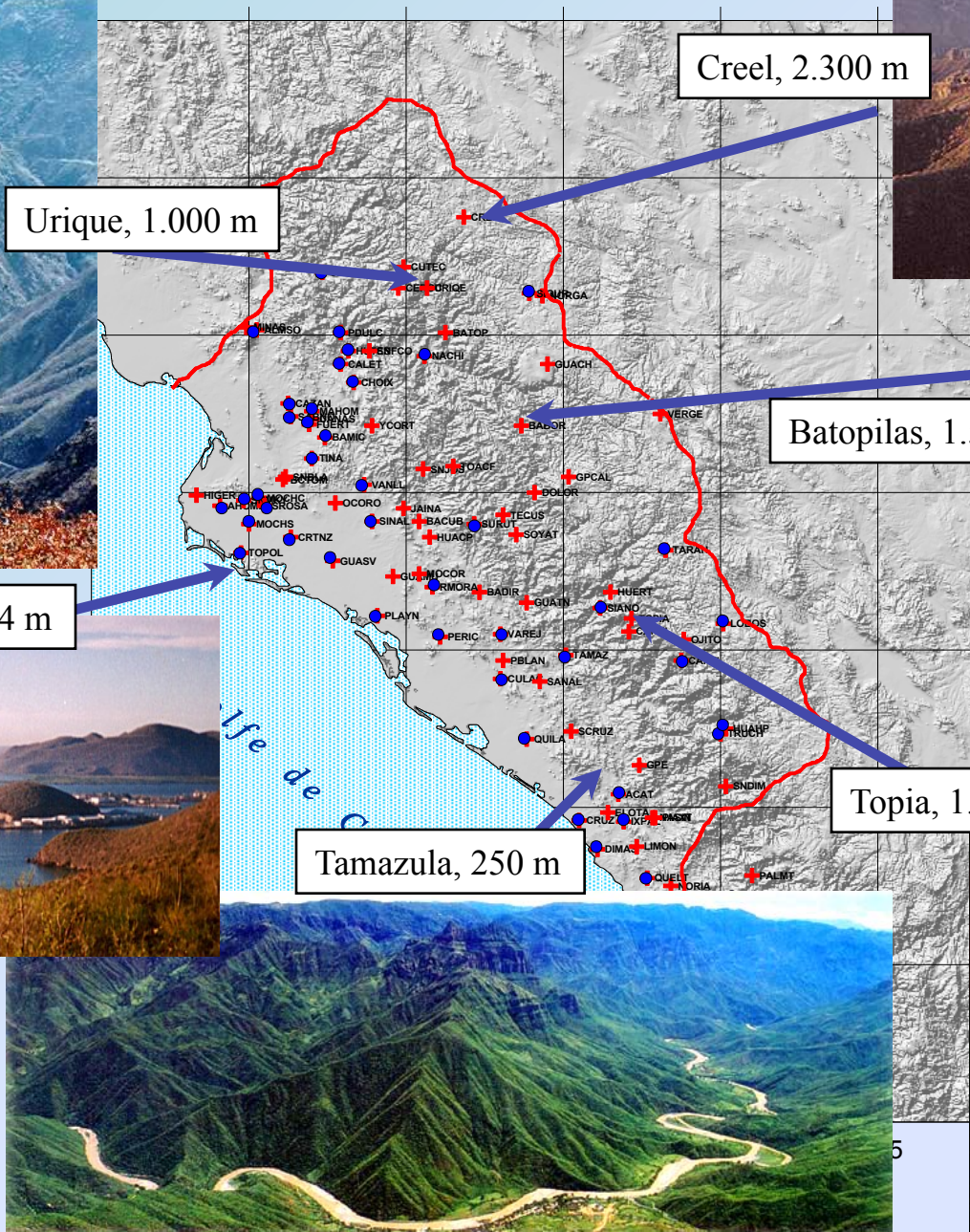
Creel, 2.300 m



Batopilas, 1.500 m



Topolobampo, 34 m



Tamazula, 250 m

Topia, 1.600 m



Huracán Isis, Sept.98

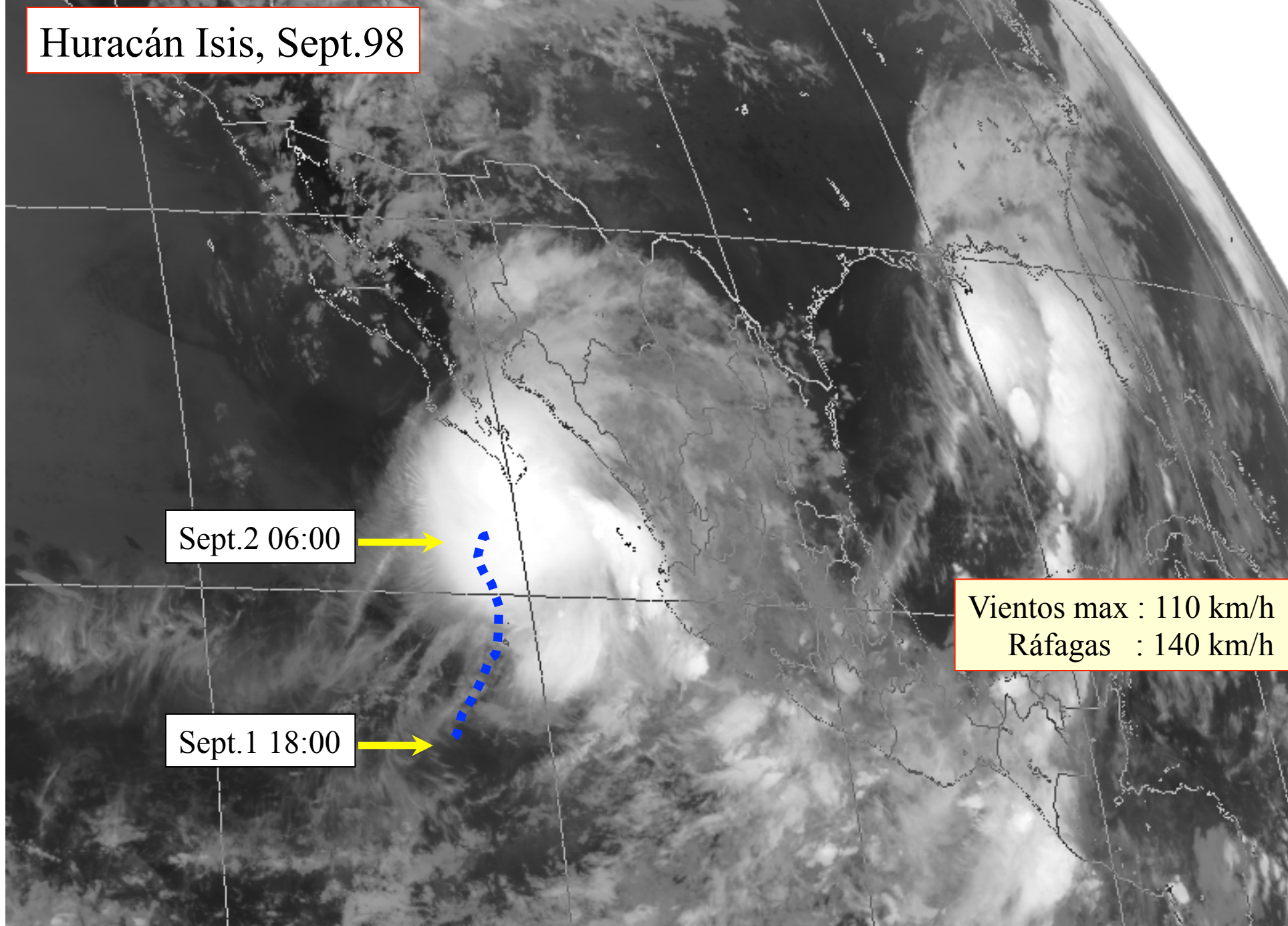
Sept.2 06:00



Sept.1 18:00



Vientos max : 110 km/h
Ráfagas : 140 km/h



Huracán Isis, Sept.98

Higuera : 266 mm / 24 h
Guasave : 243 mm / 24 h

Guamuchil : 200 mm / 24 h
Pericos : 225 mm / 24 h

Sept.2 18:00

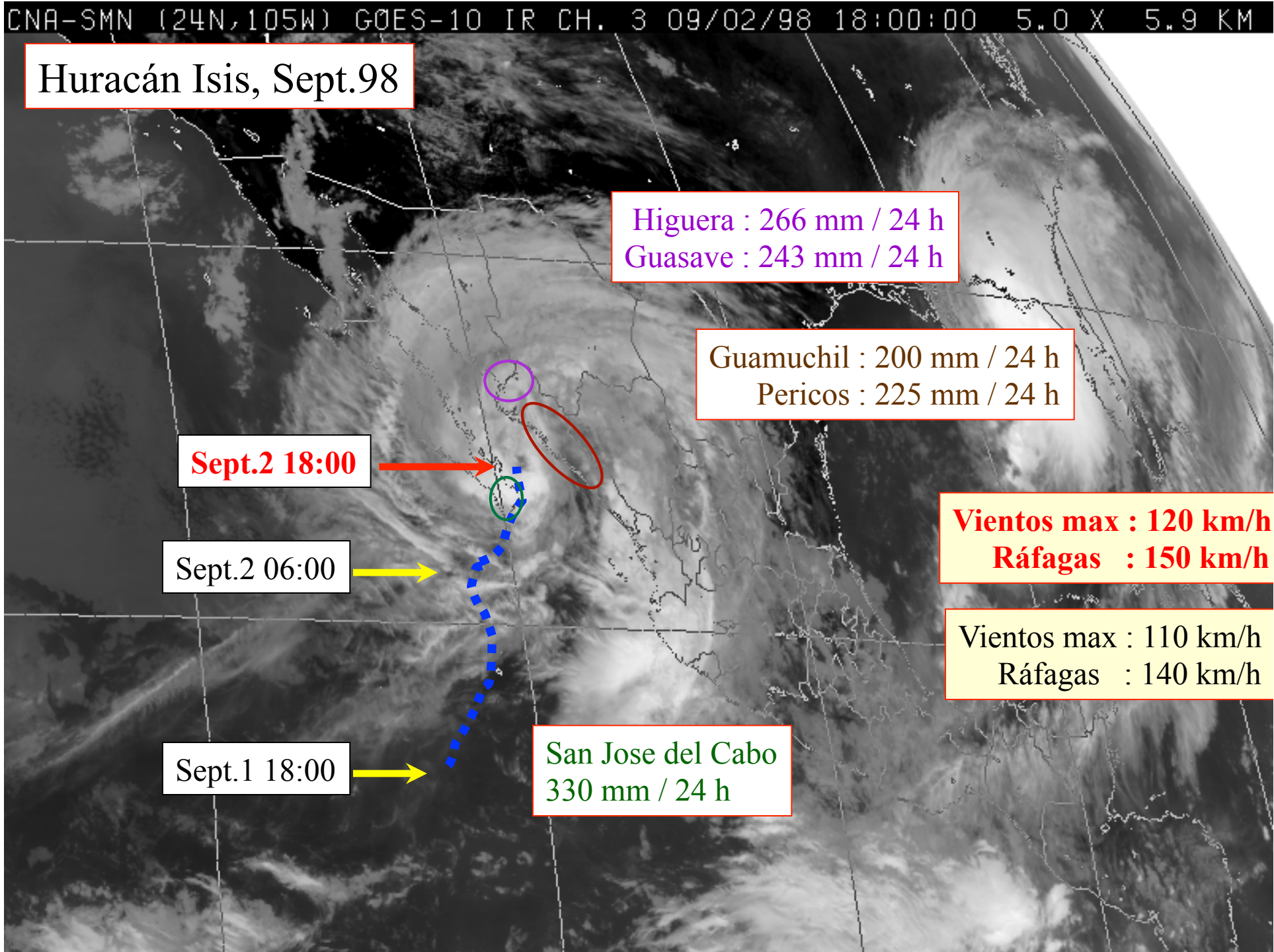
Sept.2 06:00

Sept.1 18:00

Vientos max : 120 km/h
Ráfagas : 150 km/h

Vientos max : 110 km/h
Ráfagas : 140 km/h

San Jose del Cabo
330 mm / 24 h



Huracán Isis, Sept.98

Sept.3 18:00

Higuera : 266 mm / 24 h
Guasave : 243 mm / 24 h

Sept.3 00:00

Guamuchil : 200 mm / 24 h
Pericos : 225 mm / 24 h

Sept.2 18:00

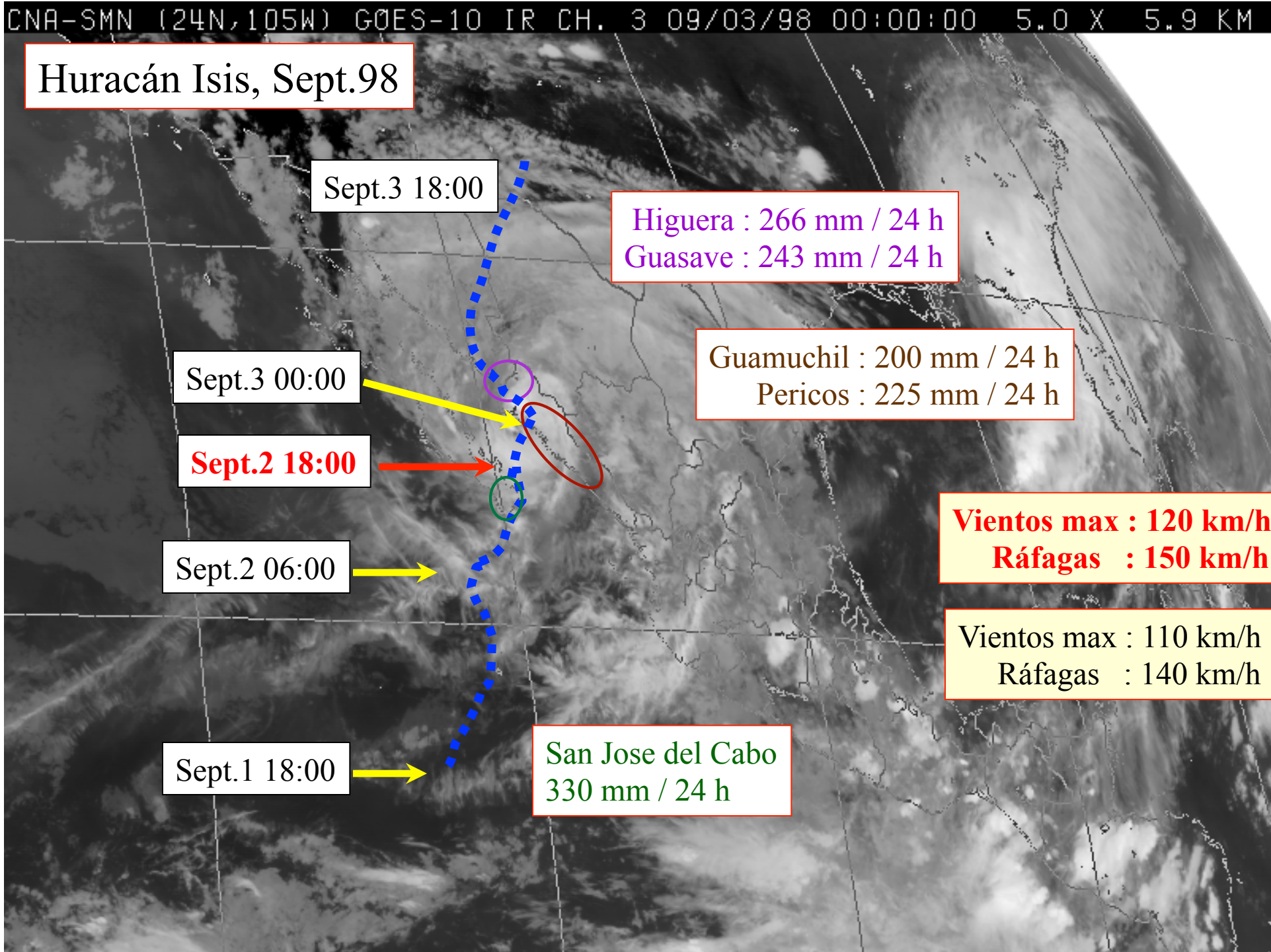
**Vientos max : 120 km/h
Ráfagas : 150 km/h**

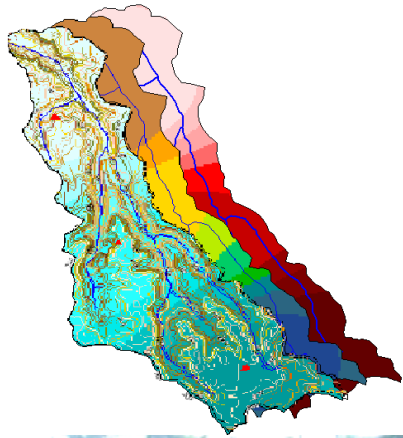
Sept.2 06:00

Vientos max : 110 km/h
Ráfagas : 140 km/h

Sept.1 18:00

San Jose del Cabo
330 mm / 24 h



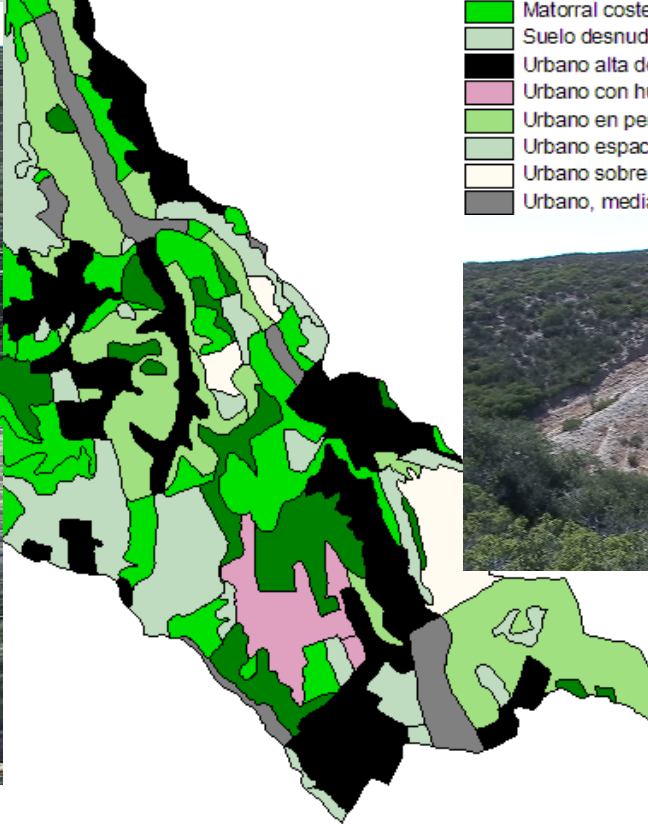


RESTAURACIÓN INTEGRAL DE LA CUENCA HIDROLÓGICA DEL CAÑÓN DE LOS LAURELES



Ambiental

USO DE SUELO Y VEGETACION 2004



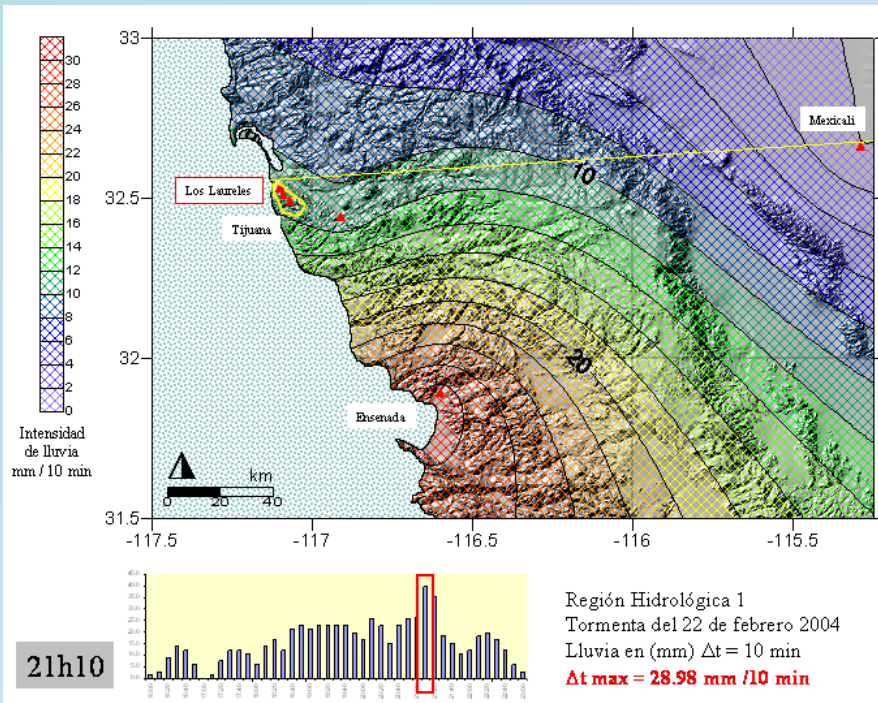
Uso del suelo y vegetación

- Chaparral costero
- Matorral costero
- Matorral costero con vegetación secundaria
- Suelo desnudo
- Urbano alta densidad, naves industriales áreas selladas
- Urbano con huertos abundantes
- Urbano en pendientes, baja densidad
- Urbano espacios abiertos
- Urbano sobre suelo desnudos en cortes recientes
- Urbano, media densidad, plano

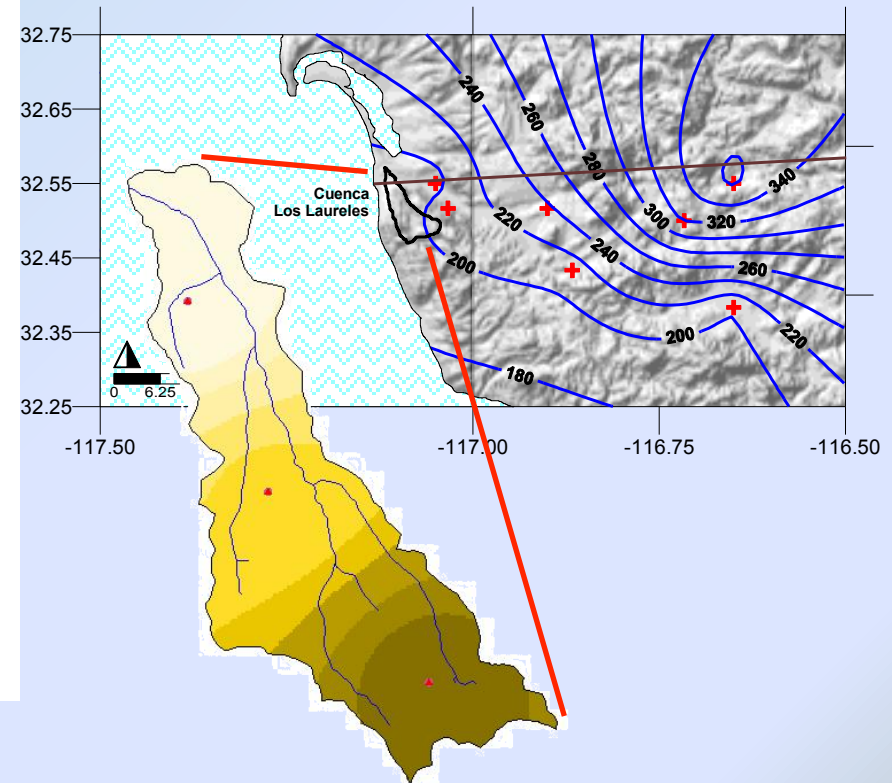


Análisis hidrológico

ANÁLISIS REGIONAL DE LLUVIA



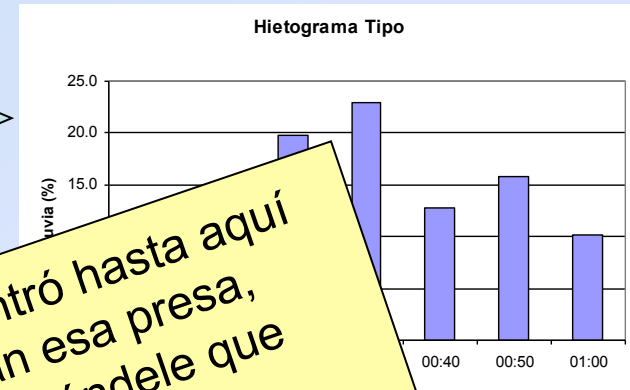
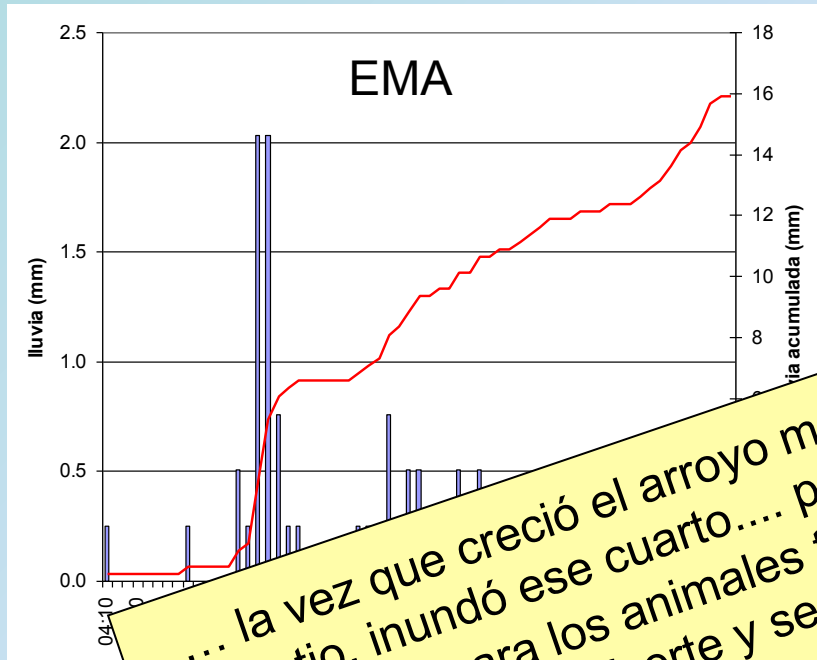
ANÁLISIS LOCAL DE LLUVIA



LOS FENÓMENOS REGISTRADOS EN LA PRESA ABELARDO L. R. SON REPRESENTATIVOS E INFLUYEN DE MANERA SIMILAR EN LA CUENCA DEL CAÑÓN DE LOS LAURELES

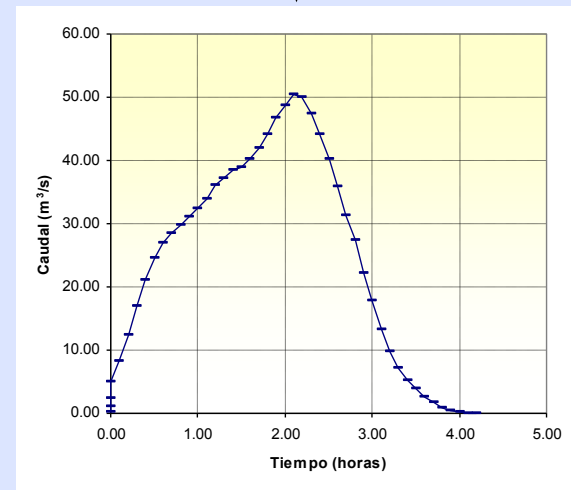
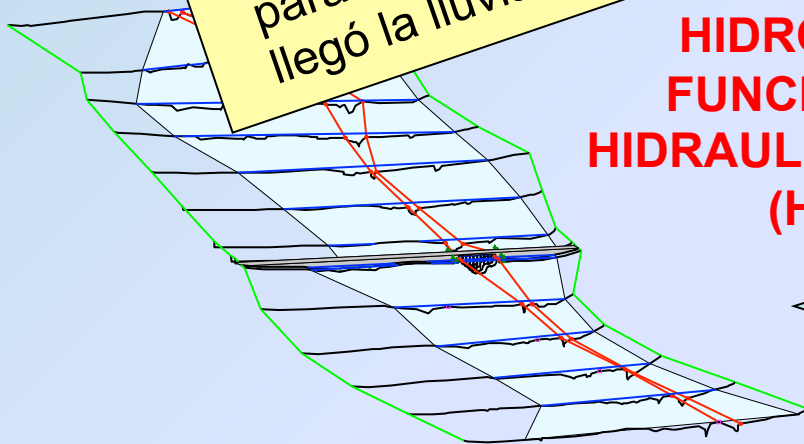
Análisis hidrológico

SELECCIÓN DE TORMENTAS Y DE HIETOGRAMAS TIPO

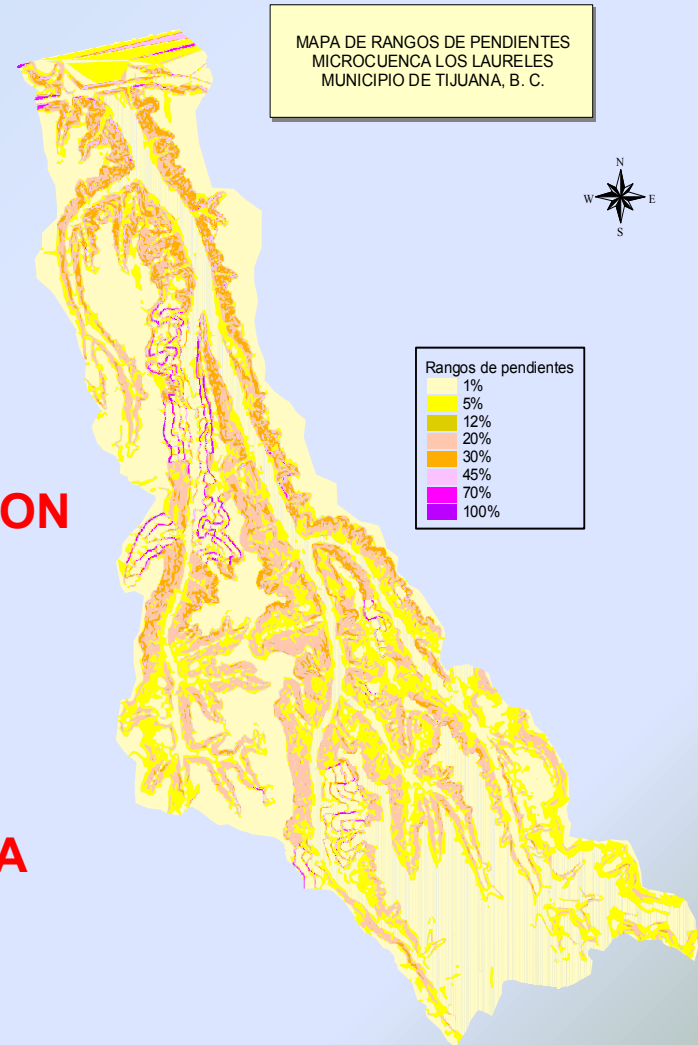
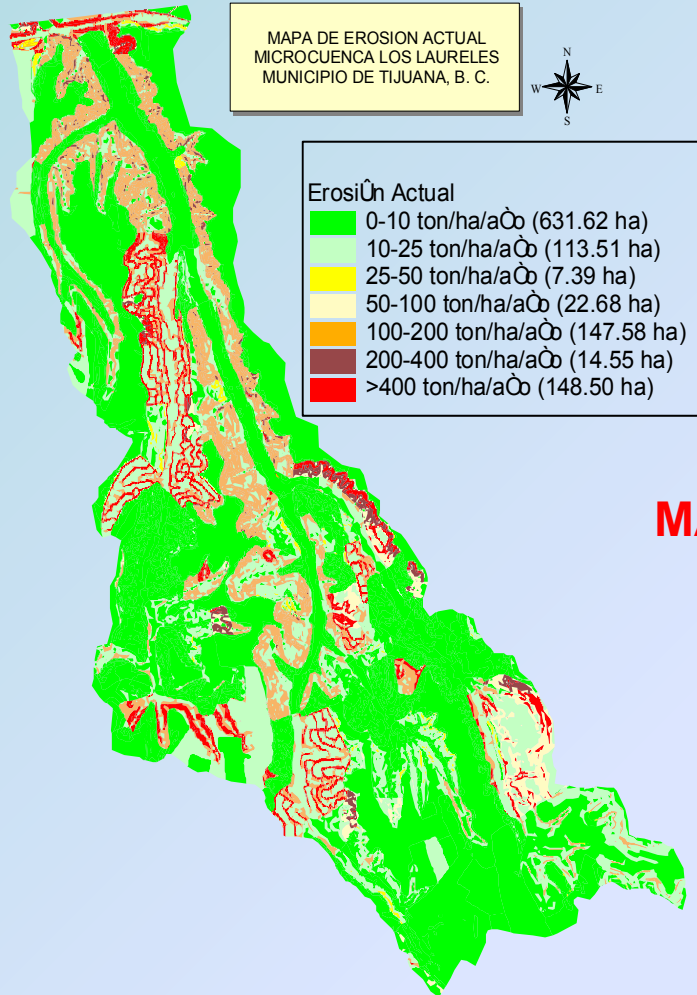


... la vez que creció el arroyo muy fuerte, si entró hasta aquí al patio, inundó ese cuarto.... por dónde tenían esa presa, para agua, para los animales también. Y pues, ándele que llegó la lluvia muy fuerte y se la reventó....

ESTIMACIÓN DE HIDROGRAMAS Y FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE CAUCES (HECRAS)



Conservación de cuencas



**MAPA DE EROSION
ACTUAL
Y MAPA DE
RANGOS DE
PENDIENTE
TOPOGRAFICA**

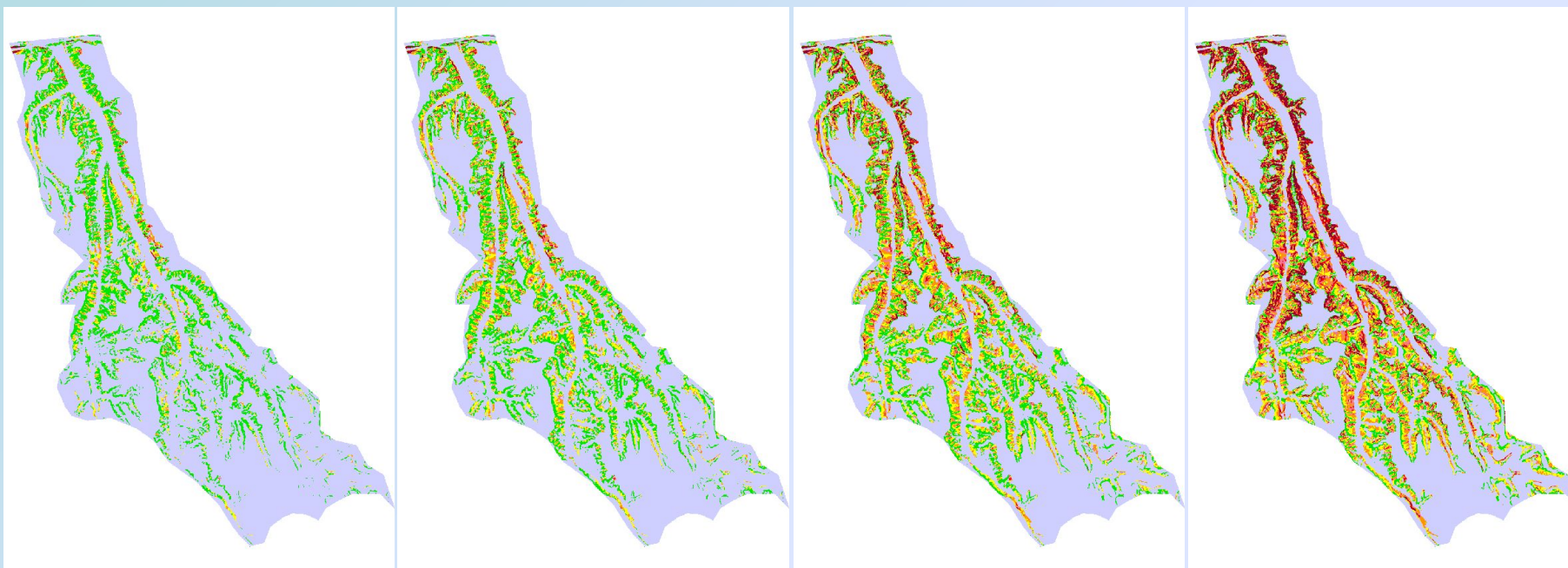
Conservación de cuencas

PRÁCTICAS RECOMENDADAS POR USO DE SUELO Y RANGO DE PENDIENTES

T I P O	PENDIENTE
① Centro de material vegetativo de especies para la conservación.	- - -
② Establecimiento de cubierta vegetal en todas las superficies desnudas.	Todas
③ Plantación de arbustos, árboles, magueyes, en curva a nivel.	Mayor de 24%
④ Rehabilitación de áreas naturales con exclusión al pastoreo más inducción de cubierta vegetal.	Todas
⑤ Rehabilitación de taludes con prácticas 2 y 3 más suavizamiento de taludes.	Mayor a 54%
⑥ Rehabilitación de taludes con prácticas 2 y 3.	24 - 45%
⑦ Estabilización de taludes con: Mamposteo Llantaplenes	Mayor de 86% Hasta 54%
⑧ Reforestación en áreas riparias	

Deslizamientos

ESCENARIOS DE DESLIZAMIENTOS



$\phi = 45^\circ$

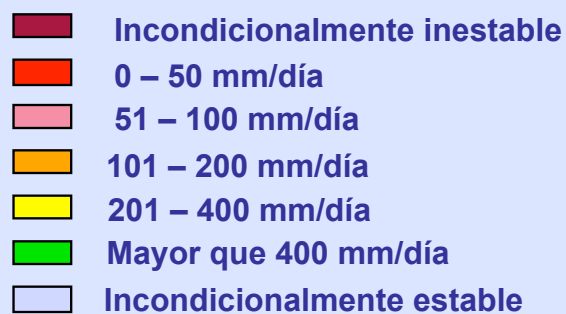
$\phi = 40^\circ$

$\phi = 35^\circ$

$\phi = 30^\circ$

$\phi = \text{Ángulo de fricción interna del suelo}$

Intensidad de lluvia necesaria para inducir la falla de los taludes



Flujo de lodos



✓ Capacidad aproximada de las estructuras de retención: 12,000 m³

Acciones de mejoramiento funcional

“El bienestar de la gente está ligado a la cuenca y a su funcionamiento”

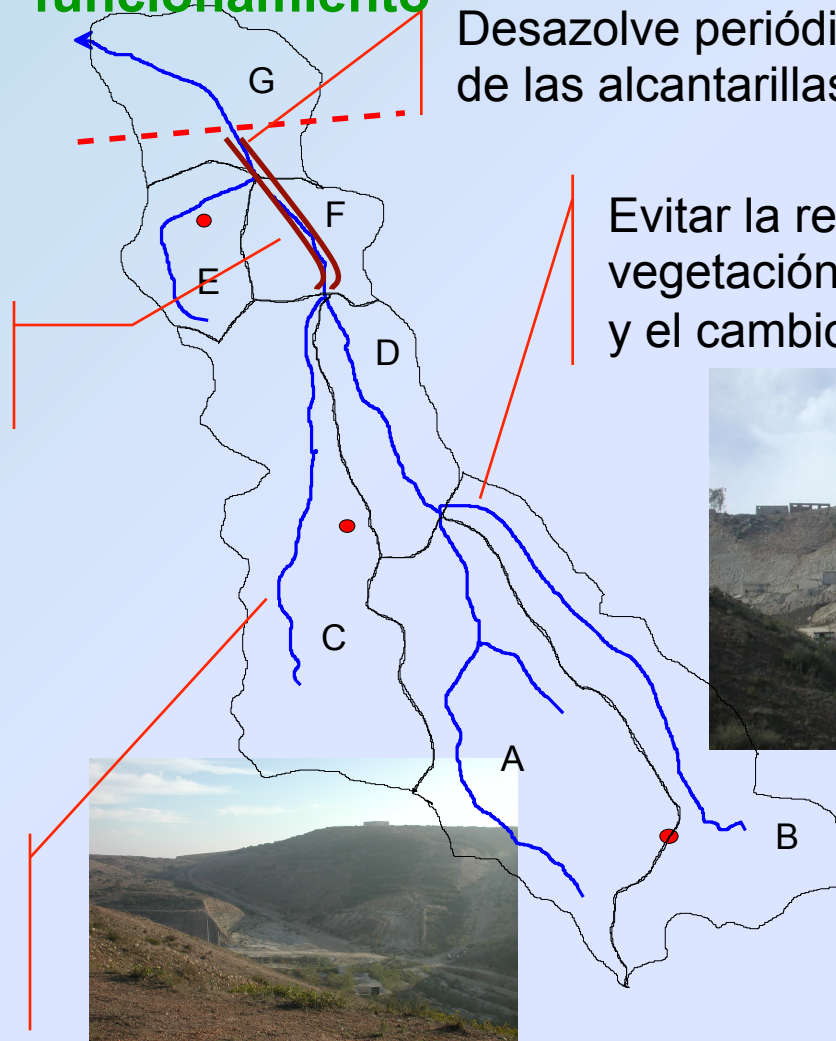
Desazolve periódico de las alcantarillas



Conservar el estado actual del canal



Conservar el estado actual del brazo izquierdo de la cuenca



Evitar la remoción de la vegetación arbustiva original y el cambio del uso del suelo



Definición de proyectos

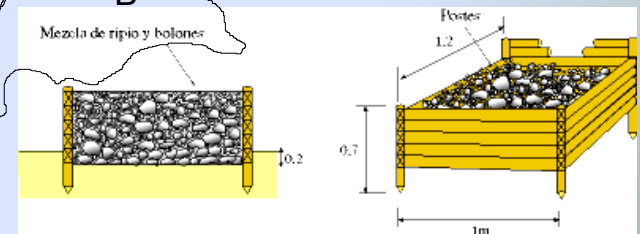
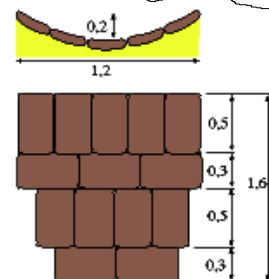
Prolongar el canal existente, con un ancho total de 15 m.



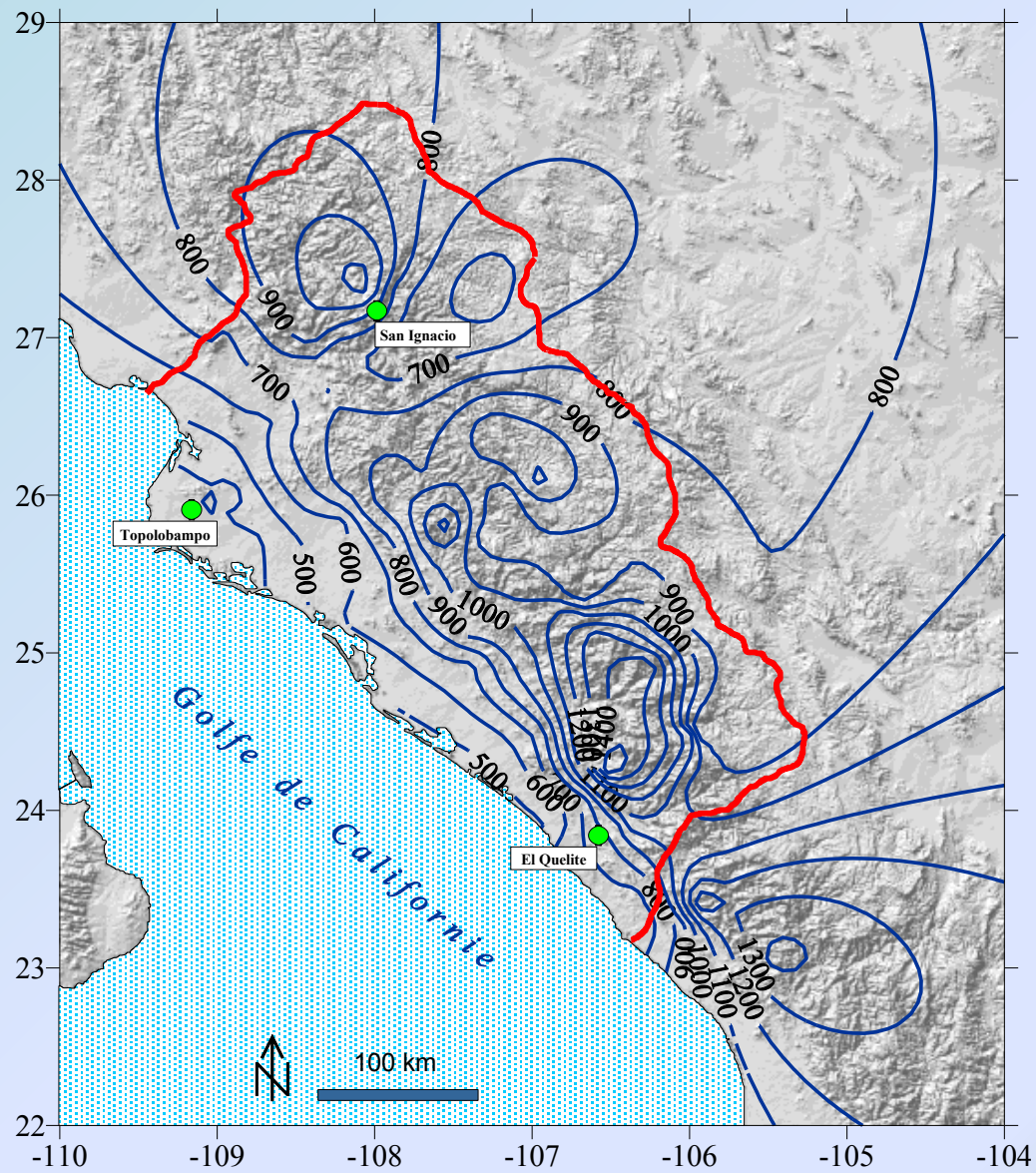
Control y estabilización de las márgenes de los ríos con sacos rellenos de enrocamiento o material revegetable, madera, etc.



Promover la construcción de obras de retención de sedimentos

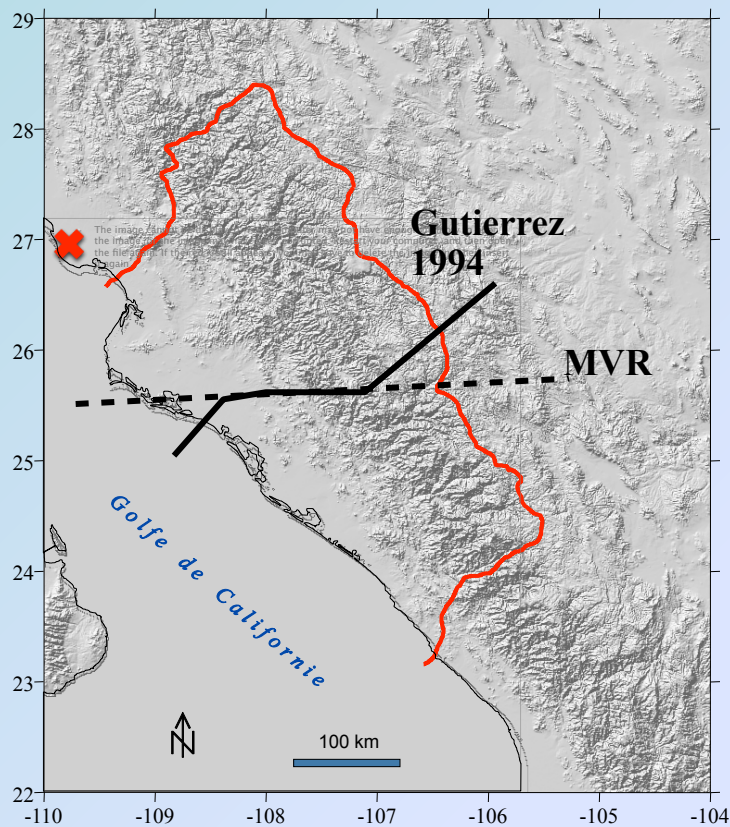


Isoyetas de precipitación media anual (1961-1985)

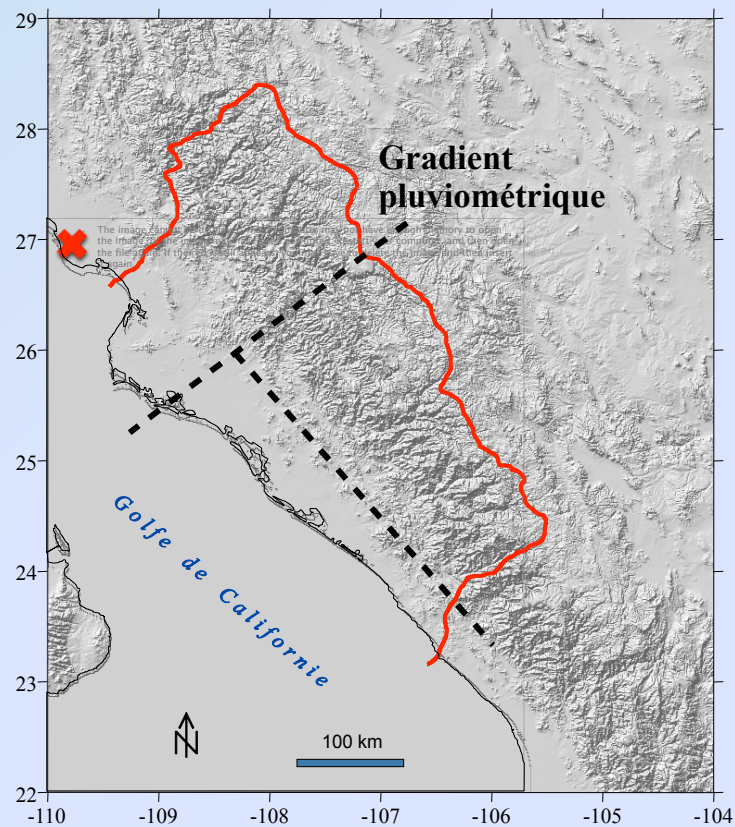


REGIONALIZACIÓN HIDROLÓGICA

Clasificación 1994, MVR y Gradiente pluviométrico



(a) Clasificación Gutiérrez, 1994 y MVR



(b) Clasificación Gradiente Pluviométrico

El índice de proximidad más común es el *índice métrico de Minkowski*, el cual mide no semejanzas (desigualdad) y se define como:

$$d(i, k) = \left[\sum_{j=1}^d |x_{i,j} - x_{k,j}|^r \right]^{1/r}$$

a) La distancia euclidiana
($r=2$)

$$d(i, k) = \left[\sum_{j=1}^d |x_{i,j} - x_{k,j}|^2 \right]^{1/2}$$

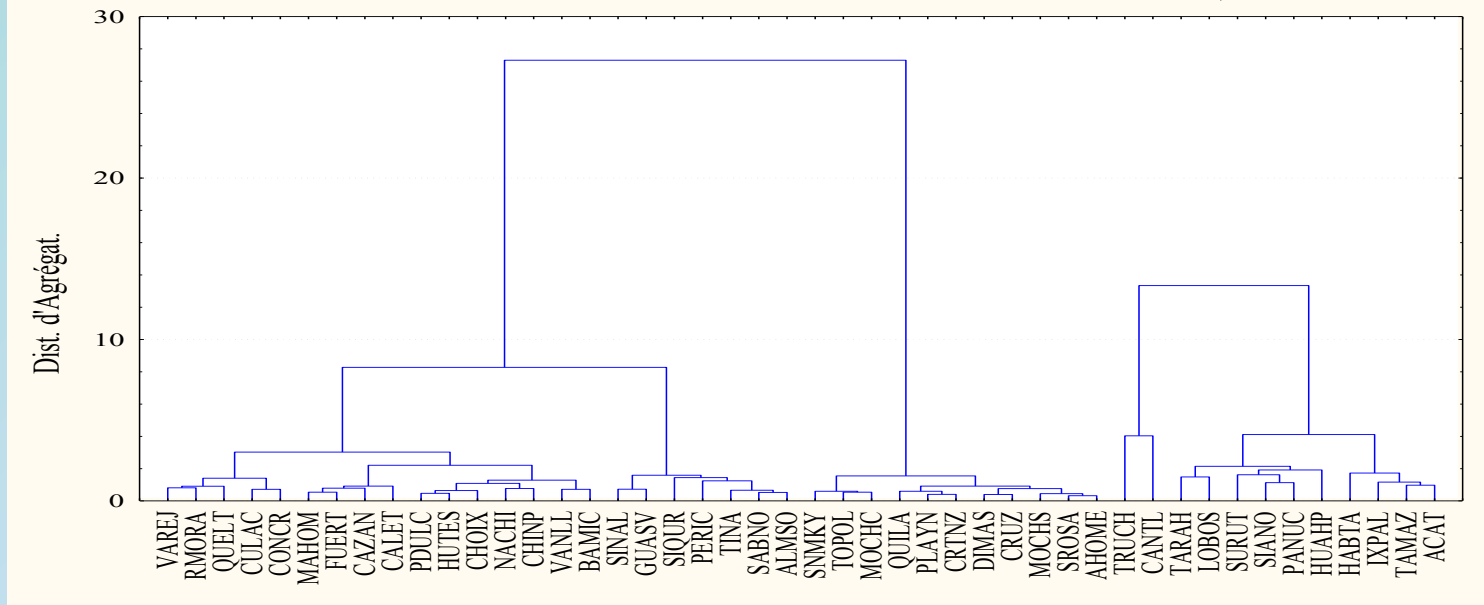
b) La distancia Manhattan
o City-block ($r=1$)

$$d(i, k) = \sum_{j=1}^d |x_{i,j} - x_{k,j}|$$

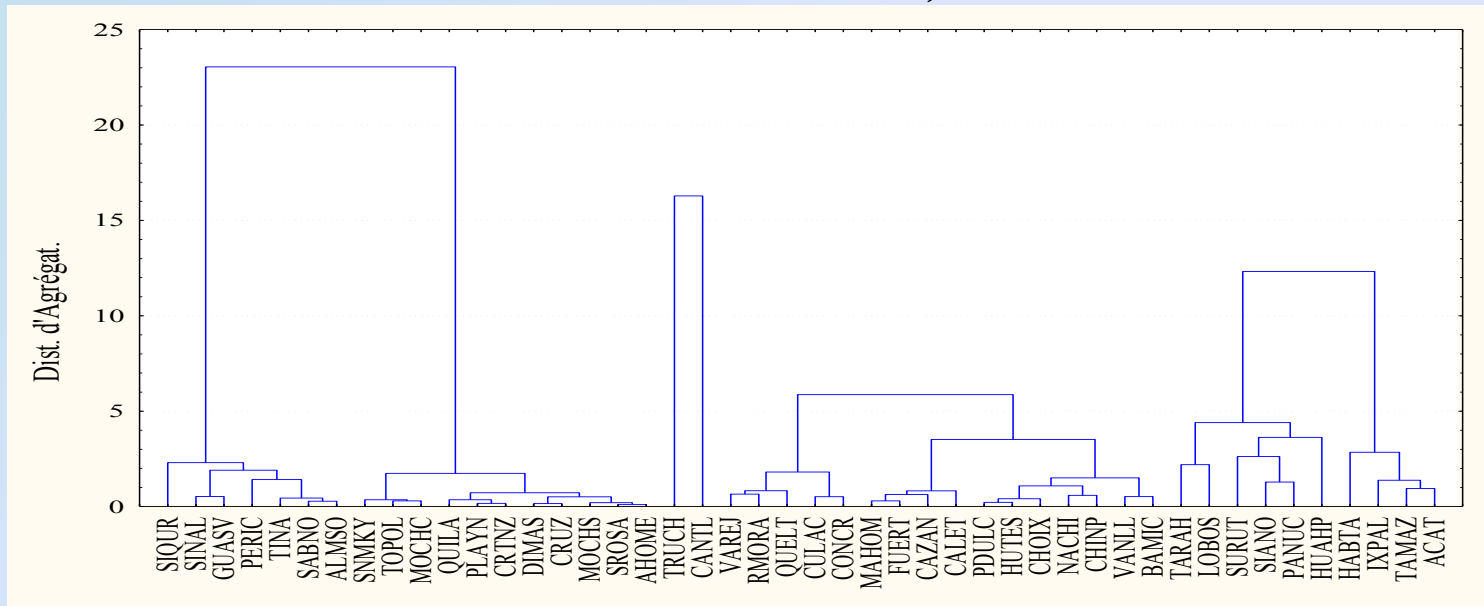
c) La sup-distancia
($r \rightarrow \infty$)

$$d(i, k) = \max |x_{i,j} - x_{k,j}| \quad 1 \leq j \leq d$$

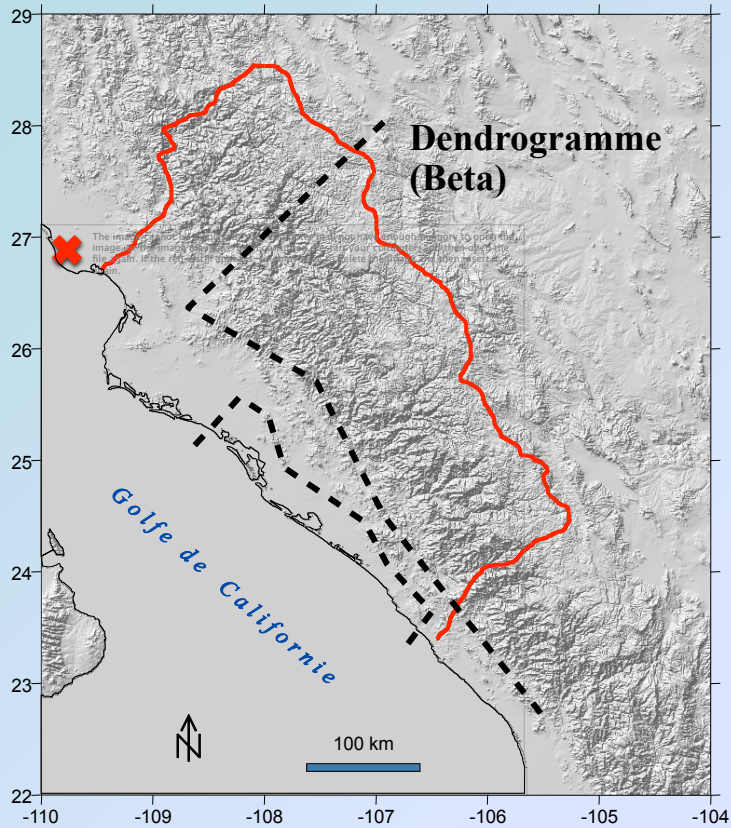
Método de Ward ; Distancia Euclidiana



Método de Ward ; Distancia Euclidiana al cuadrado

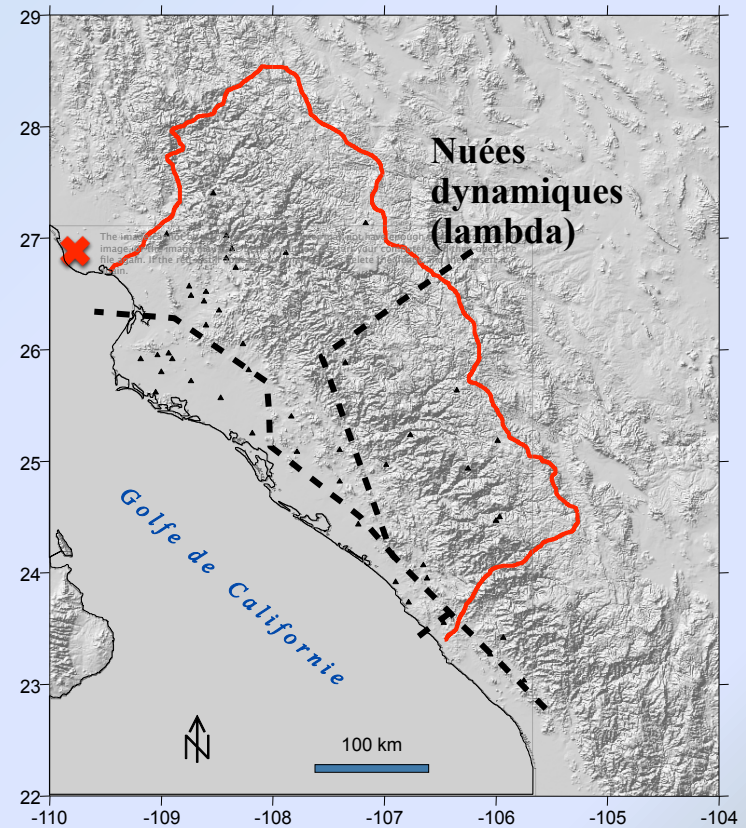


Clasificación Ascendente Jerárquico Dendrograma



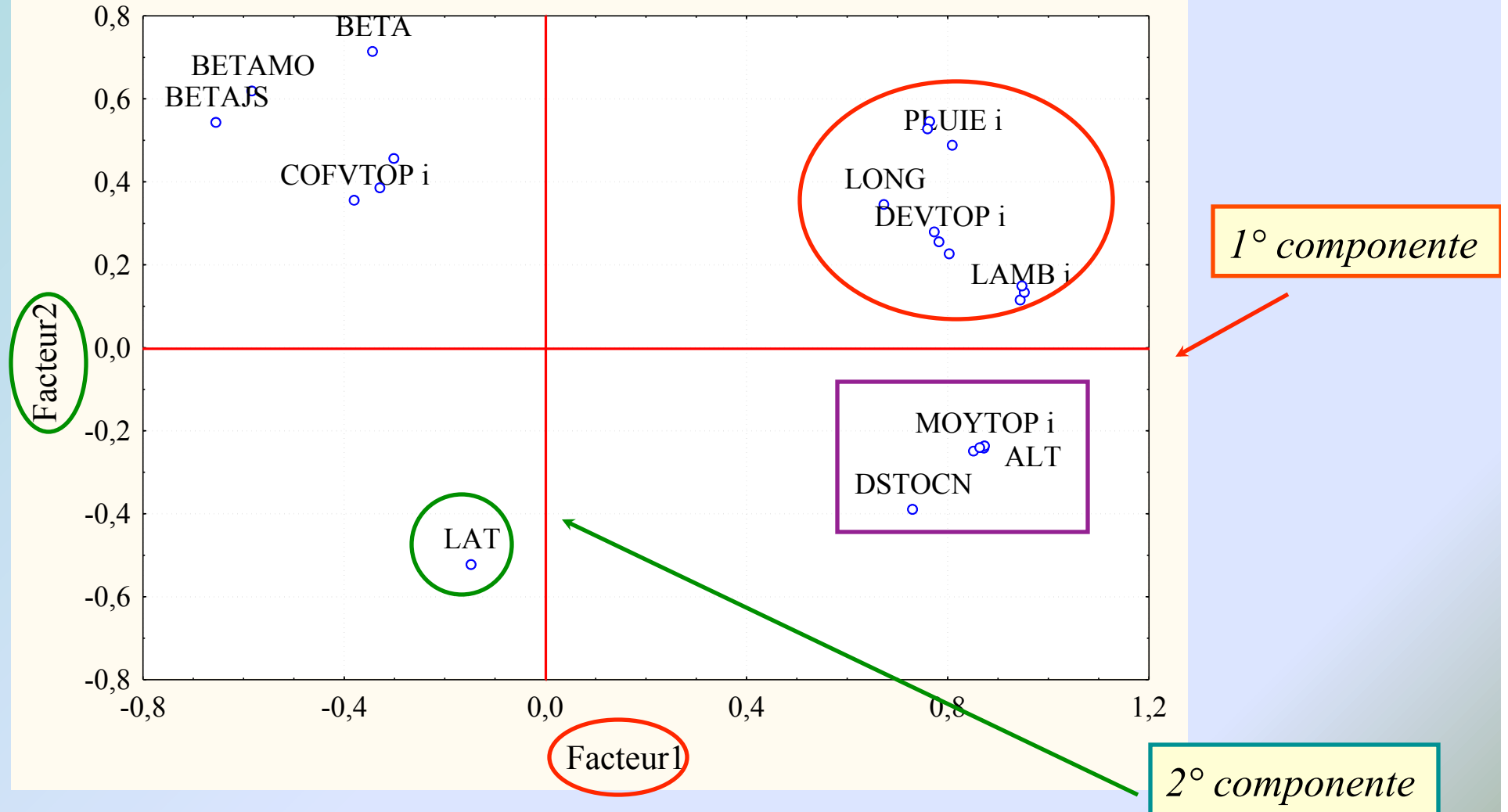
(d) Clasificación Ascendente Jerárquica
Dendrograma (beta = lamina lluvia por evento)

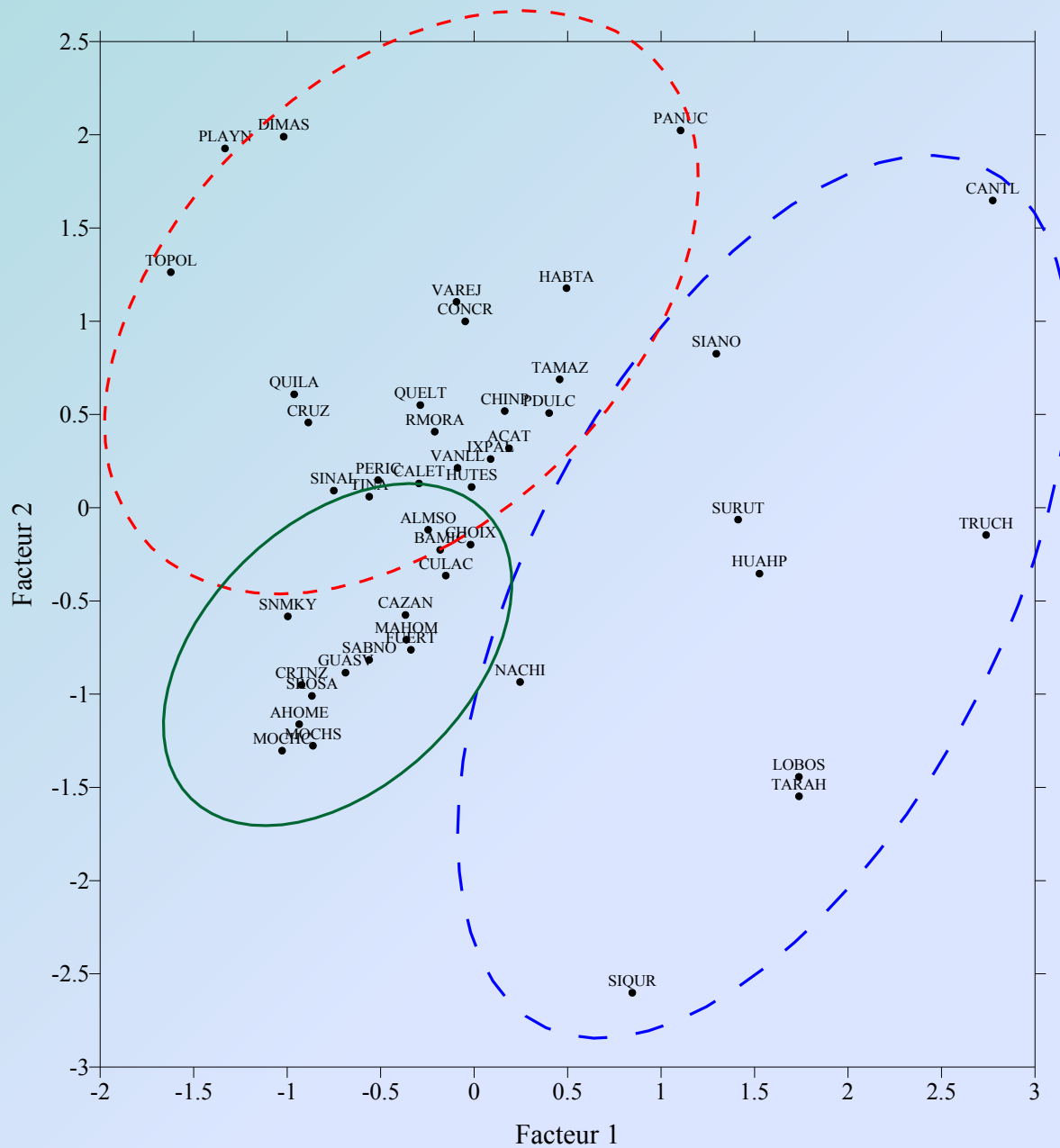
Clasificación Ascendente No Jerárquico



(e) Clasificación Ascendente No
Jerárquica (lambda= no. de eventos)

Análisis en Componentes Principales (ACP)





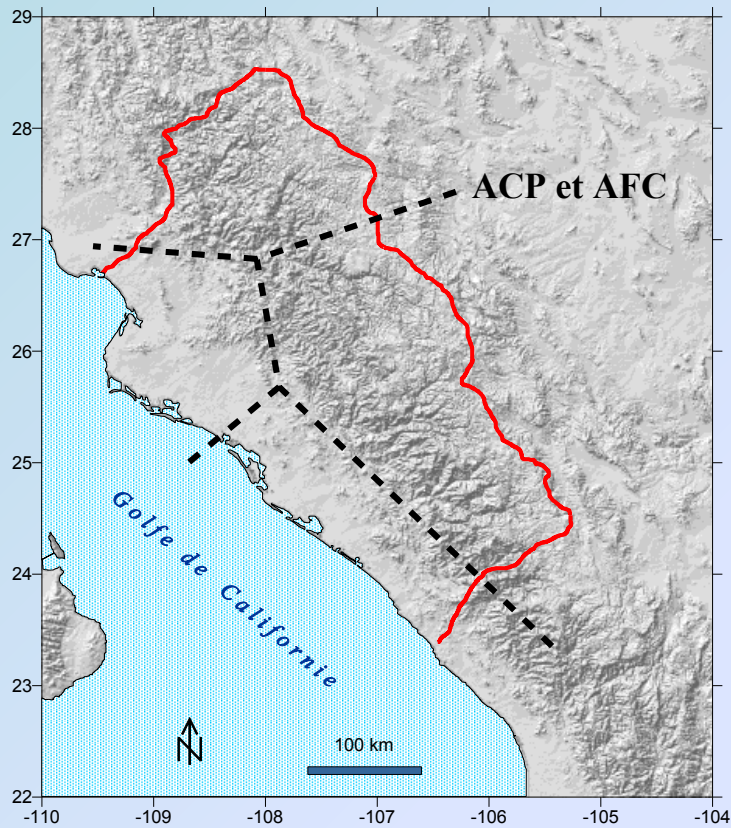
✓ Distribución de estaciones después del análisis ACP

EN CHILE:
 Revista AQUALAC, Año 1.
 No. 1 pp.29-41, 2009

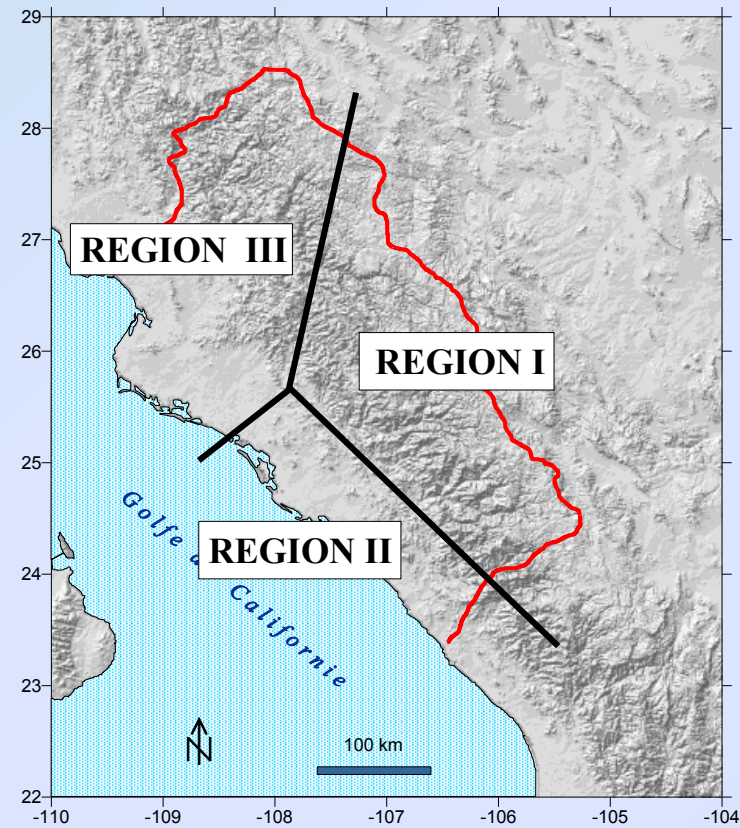
**ANÁLISIS
 GEOESTADÍSTICO PARA
 DESCRIBIR LA
 DISTRIBUCIÓN
 ESPACIAL DE LA
 PRECIPITACIÓN, DE UNA
 CUENCA PATAGÓNICA**

Luis De la Fuente, José
 Vargas B., José Luis Arumi
 y Alfonso Gutiérrez

Resultados de la clasificación y delimitación final de la región 10



(g) Clasificación utilizando un ACP y un AFC

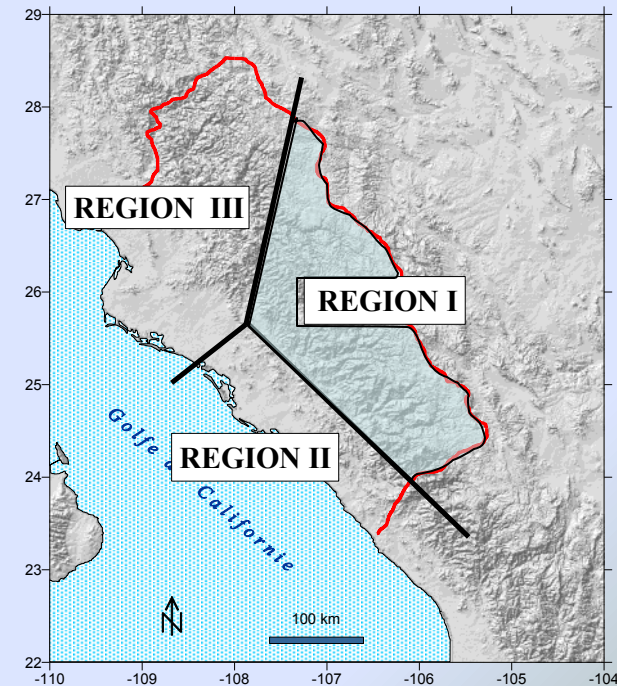


(h) Clasificación y delimitación final

Delimitación final

REGION I

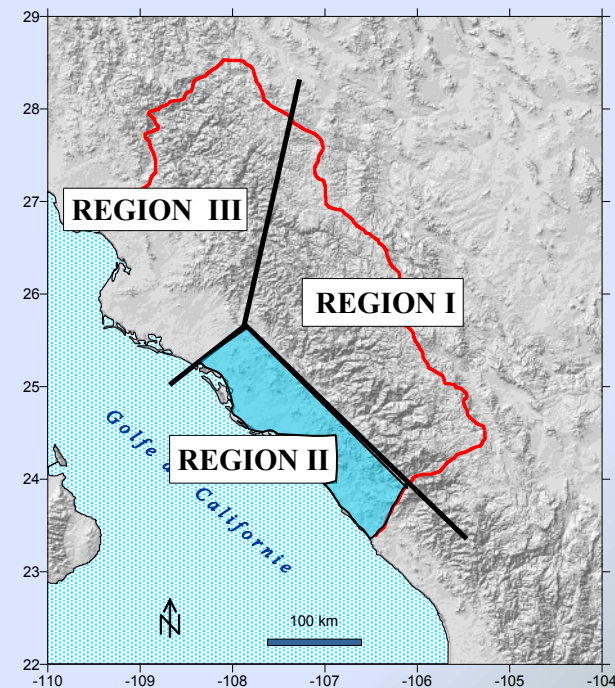
- 10 estaciones
- parte alta de la Sierra Madre
- altitudes $>$ a 1500 m
- distancias al océano $>$ a 100 km
- las precipitaciones más elevadas que varían entre 450 y 1500 mm por año



Delimitación final

REGION II

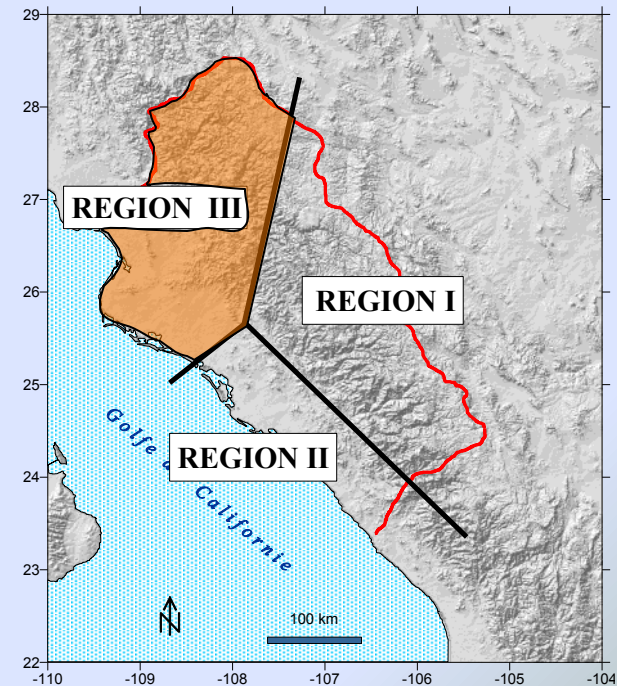
- 15 estaciones
- principio de la costa tropical húmeda
- caracterizada por una planicie costera
- altitudes $<$ a 450 m
- distancias al océano $<$ 100 km
- precipitaciones comprendidas entre 700 y 1400 mm por año



Delimitación final

REGION III

- 21 estaciones
- planicie costera seca, zona de transición hacia el desierto costero de Sonora y de Baja California
- altitudes < a 800 m
- distancia al océano, muy variada
- precipitaciones relativamente bajas entre 270 y 800 mm por año



Relaciones regionales

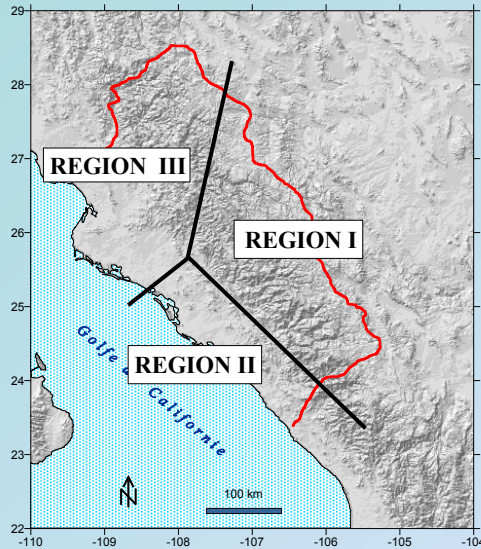
Relación lluvia – altitud
(pluie – altitude) $(\text{PLUIE } i) - (\text{ALT})$

Relación lluvia – topografía
(pluie – rugosité) $(\text{DEVTOP } i) - (\text{PLUIE } i)$

Relaciones cruzadas entre relieve (topografía) y los parámetros relativos a la precipitación y a la fisiografía

$(\text{MOYTOPI}), (\text{DEVTOPI}), (\text{COFVTOPI}) -$
 $-(\text{ALT}), (\text{PLUIE})i (\text{LAMB})i, (\text{LAT}), (\text{LONG}), (\text{DSTOCN})$

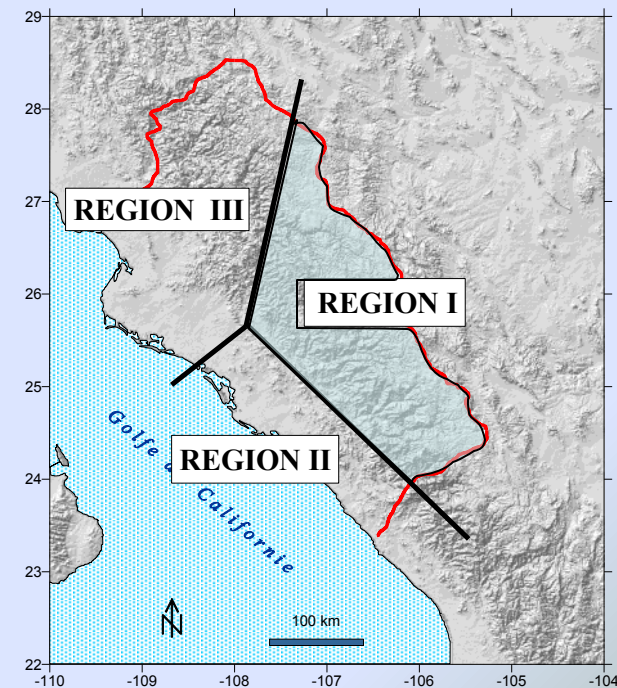
Coeficientes de determinación r^2



	93 stations	46 stations	Région I	Région II	Région III
(PLUIEMO-DEVTOP36)	< 0,50	0,52	0,50	0,75	< 0,50
(PLUIEJS-DEVTOP36)	< 0,50	0,53	0,54	0,79	< 0,50
(PLUIE-DEVTOP36)	< 0,50	0,58	< 0,50	0,76	0,50
(ALT-PLUIEJS)	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,68	0,64
(ALT-DEVTOP36)	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,73	< 0,50
(ALT-LAMBJS)	0,55	0,63	< 0,50	< 0,50	0,54
(ALT-LAMBMO)	0,57	0,64	< 0,50	< 0,50	0,55
(LAT-LAMBJS)	< 0,50	< 0,50	0,73	< 0,50	0,55
(LONG-LAMBJS)	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,53
(DSTOCN-LAMBJS)	< 0,50	< 0,50	< 0,50	< 0,50	0,71

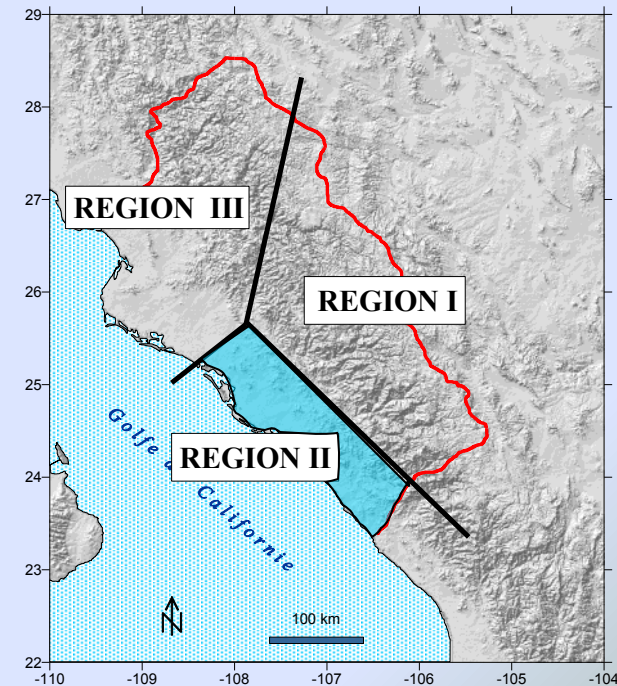
REGION I

- 10 estaciones
 - parte alta de la Sierra Madre
 - altitudes $>$ a 1500 m
 - distancias al océano $>$ a 100 km
 - las precipitaciones más elevadas que varían entre 450 y 1500 mm por año
- ✓ es la única región que muestra una buena correlación con la latitud, (LAT)-(LAMBJS) ($r^2 = 0.73$).
- ✓ se trata de una planicie de montaña en donde se puede suponer que, el relieve no es la característica más relevante



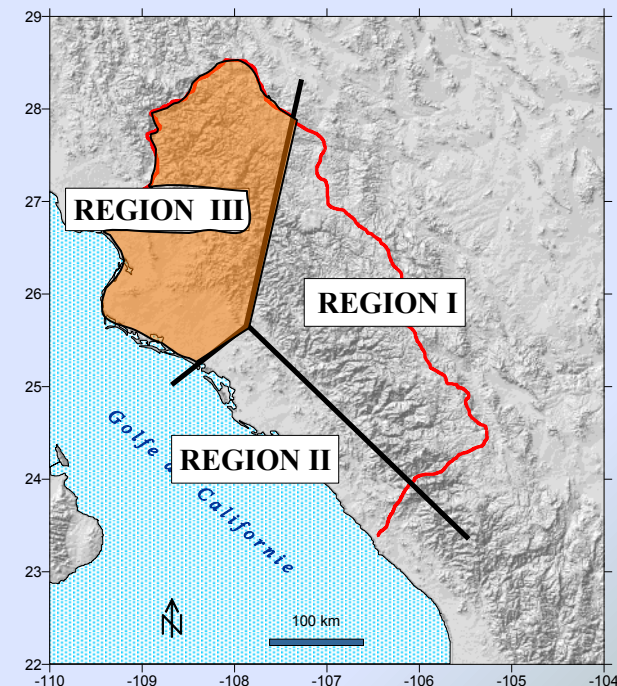
REGION II

- 15 estaciones
 - principio de la costa tropical húmeda
 - caracterizada por una planicie costera
 - altitudes < a 450 m
 - distancias al océano < 100 km
 - precipitaciones comprendidas entre 700 y 1400 mm por año
- ✓ muestra las mejores correlaciones entre la precipitación y el relieve
 - ✓ una buena correlación entre la altitud y el relieve
 - ✓ la abundancia de precipitación en temporada de lluvia (junio a septiembre) está ligada al relieve más que en otras regiones

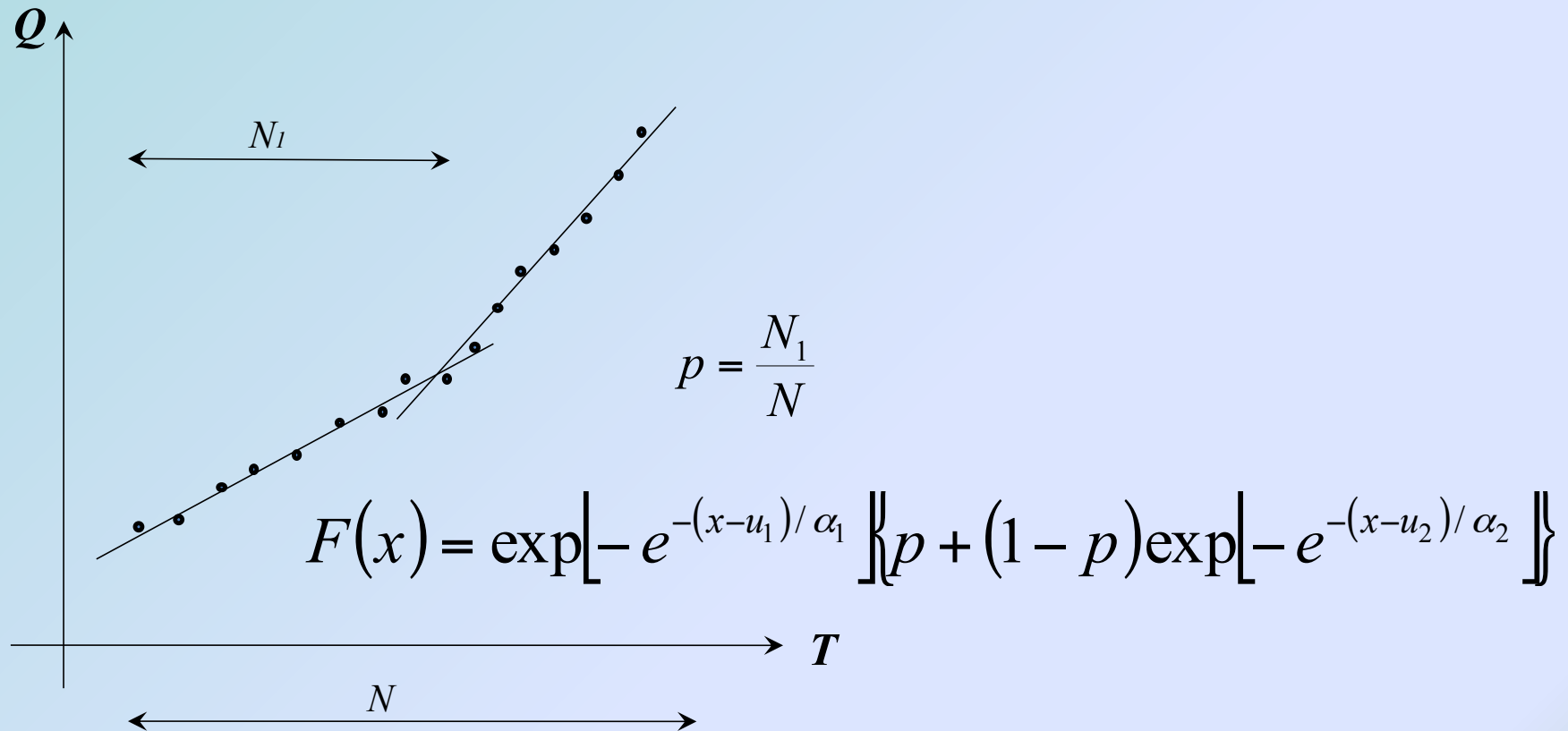


REGION III

- 21 estaciones
 - planicie costera seca, zona de transición hacia el desierto costero de Sonora y de Baja California
 - altitudes < a 800 m
 - distancia al océano, muy variada
 - precipitaciones relativamente bajas entre 270 y 800 mm por año
- ✓ mala correlación entre la precipitación y el relieve
- ✓ buenas correlaciones entre el número de eventos lluviosos y la distancia al océano



Modelos para Análisis de Frecuencia utilizados en México



Tradicionales univariadas: Normal, Gumbel, Exponencial, Gamma, etc..

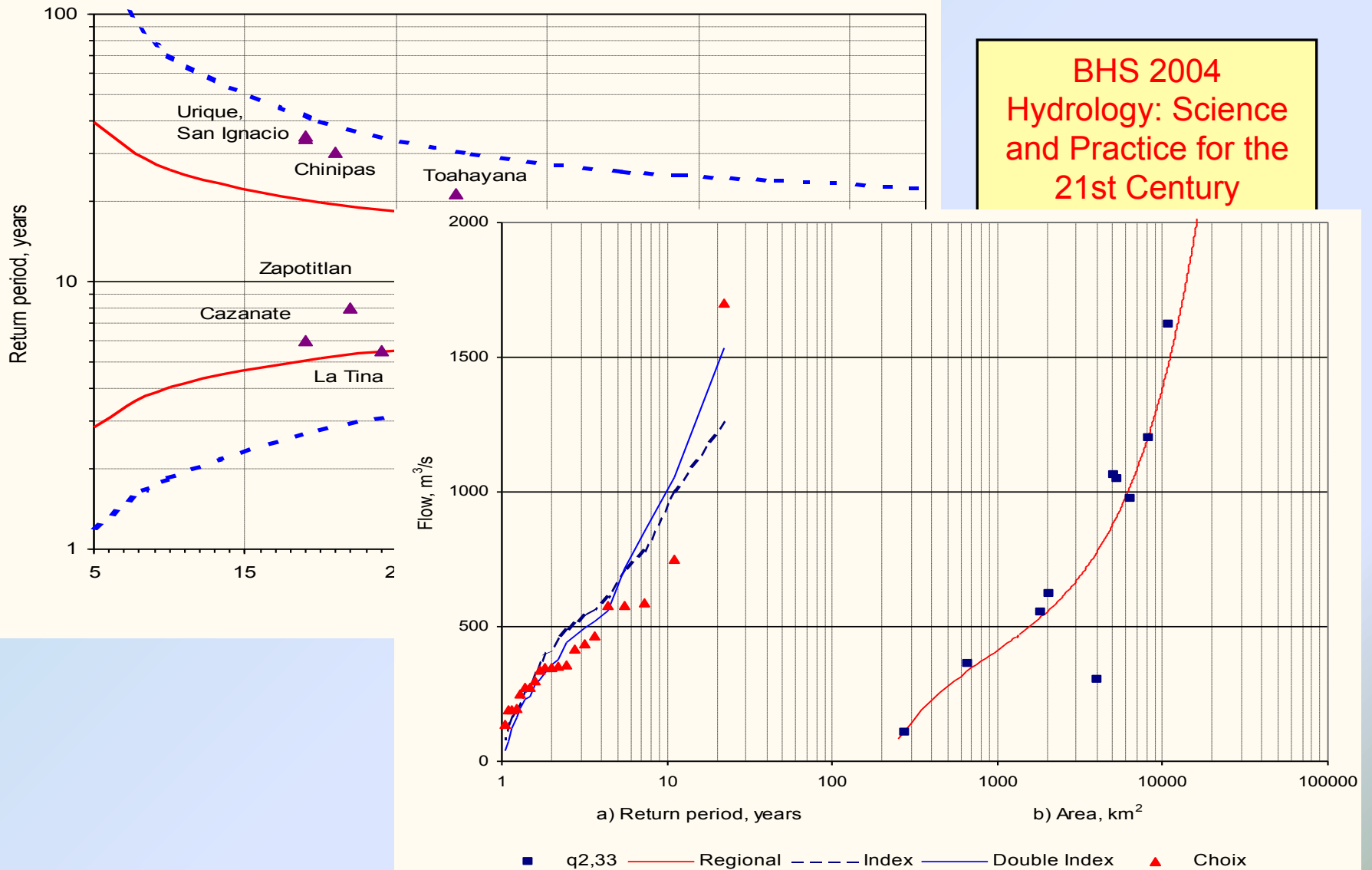
Tradicionales univariadas mezcladas: Doble Gumbel, Doble Exponencial, Doble Gamma, Poisson-Exponencial, Normal-Gamma.

Tradicionales bivariadas: Gumbel, Doble Gumbel

REGIONALIZACIÓN DE CAUDALES

INDEX FLOOD METHOD

BHS 2004
Hydrology: Science
and Practice for the
21st Century



Modelo Poisson - Exponencial

Formulación matemática

Las principales hipótesis a considerar son: :

- ✓ El número de eventos lluviosos registrados en una estación, durante cierta duración determinada, siguen una distribución de Poisson.
- ✓ La altura de la lámina de precipitación de cada evento sigue una distribución exponencial

Modelo Poisson - Exponencial

$$f(x, \lambda, \beta) = e^{-\lambda - \frac{x}{\beta}} \frac{\lambda}{\beta} \frac{I_1\left(2\sqrt{\frac{\lambda x}{\beta}}\right)}{\sqrt{\frac{\lambda x}{\beta}}} \quad \text{para todo } x > 0$$

I_1 es la función de primer orden de Bessel

β es la altura media de lluvia por evento

λ_T es el número medio de eventos lluviosos por día, en un período T

Estimación de parámetros **Método de Momentos**

El procedimiento más eficaz, es aquel que depende del número de eventos nulos n_0

$$n_0 = 0 \quad \hat{\lambda} = \frac{2\bar{x}^2}{s_x^2} \quad \hat{\beta} = \frac{s_x^2}{2\bar{x}}$$

$$\text{Si } n_0 \neq 0 \quad \hat{\lambda} = \left[1 - (2 - \sqrt{2}) \sqrt{\frac{n_0}{n}} \right] \left[\frac{2\bar{x}^2}{s_x^2} - \text{Log}_e \frac{n}{n_0} \right] + \text{Log}_e \frac{n}{n_0}$$
$$\hat{\beta} = \left[1 - (2 - \sqrt{2}) \sqrt{\frac{n_0}{n}} \right] \left[\frac{s_x^2}{2\bar{x}} - \frac{\bar{x}}{\text{Log}_e \frac{n}{n_0}} \right] + \frac{\bar{x}}{\text{Log}_e \frac{n}{n_0}}$$

Estimación de parámetros

Método de Máxima Verosimilitud

El logaritmo de la función de verosimilitud, que se busca maximizar es:

$$L = -\lambda n + \frac{(n - n_0)}{2} \text{Log}_e \frac{\lambda}{\beta} - \sum_{i=1}^{n-n_0} \frac{x_i}{\beta} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-n_0} \text{Log}_e x_i + \sum_{i=1}^{n-n_0} \text{Log}_e I_1 \left(2 \sqrt{\frac{\lambda x}{\beta}} \right)$$

conduce a un sistema de ecuaciones de la forma :

$$-n + \frac{n - n_0}{2\lambda} + \sum_{i=1}^{n-n_0} \frac{I_1'(z_i)}{I_1(z_i)} \frac{z_i}{2\lambda} = 0 \quad \left\{ \begin{array}{l} g(\lambda) = \sum_{i=1}^{n-n_0} \frac{I_0(z_i)}{I_1(z_i)} \sqrt{x_i} - n\sqrt{\bar{x}} = 0 \\ \bar{x} = \hat{\lambda} \hat{\beta} \end{array} \right.$$

Estimación de parámetros

Método Máxima Entropía (días secos)

$$\hat{\lambda}_T = -\text{Log}_e\left(\frac{n_0}{n}\right) \quad \hat{\beta} = \frac{\hat{\mu}}{\hat{\lambda}_T}$$

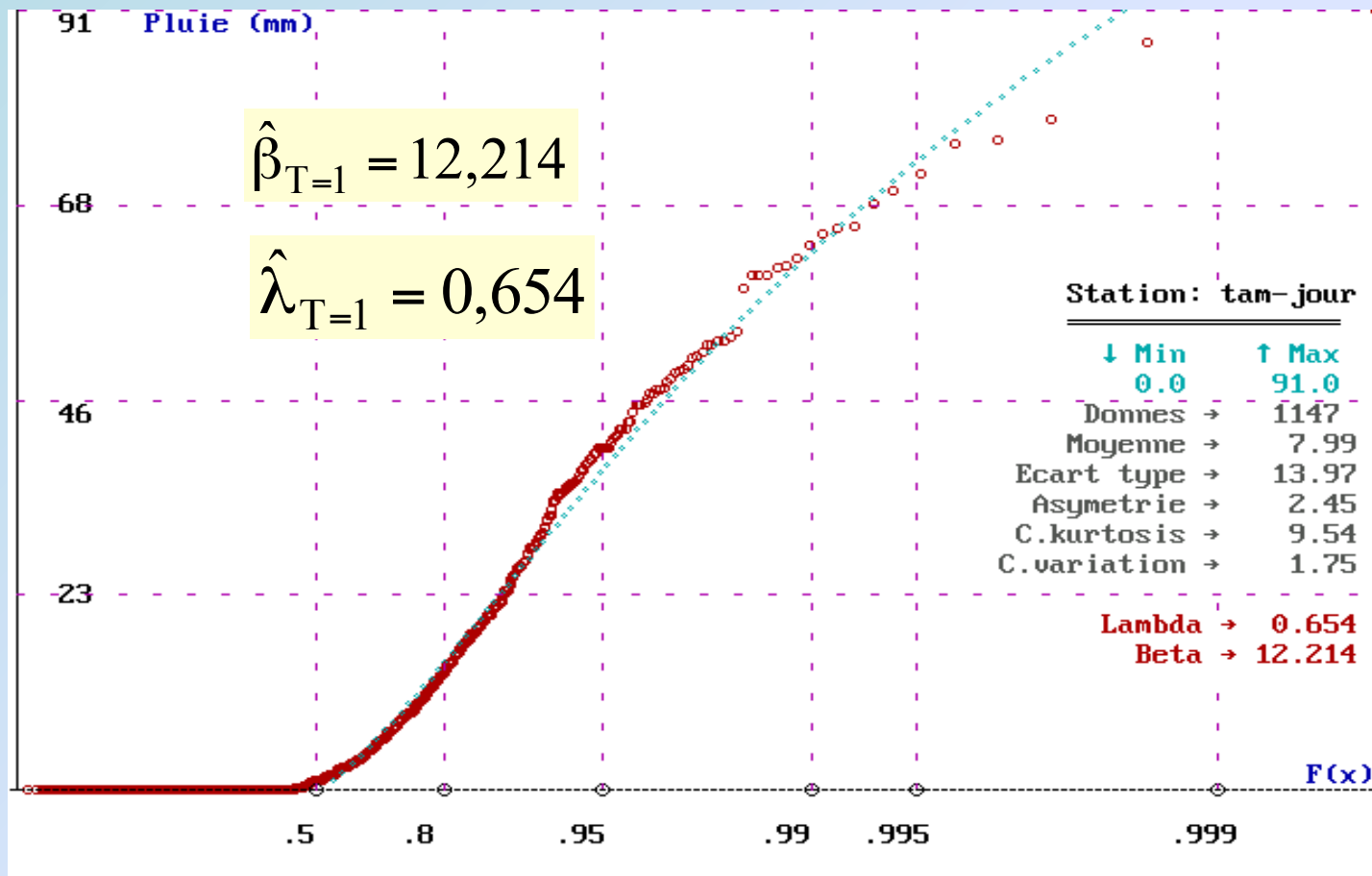
$\hat{\mu}$ es el estimador del primer momento de la distribución

El parámetro β ofrece una ventaja adicional haciendo posible la deducción de la distribución de la lluvia en un período $T'=kT$ a partir de la distribución calculada para el período T

$$\beta_T^* = \hat{\beta}_1 \quad \lambda_T^* = T * \hat{\lambda}_1 \quad \lambda_T = \frac{1}{T} \int_0^T \lambda(t) dt$$

Validación del modelo

Quand les données de pluie sont disponibles à ce pas de temps, il est recommandé de choisir *T égal à un jour*



Station :
Tamazula

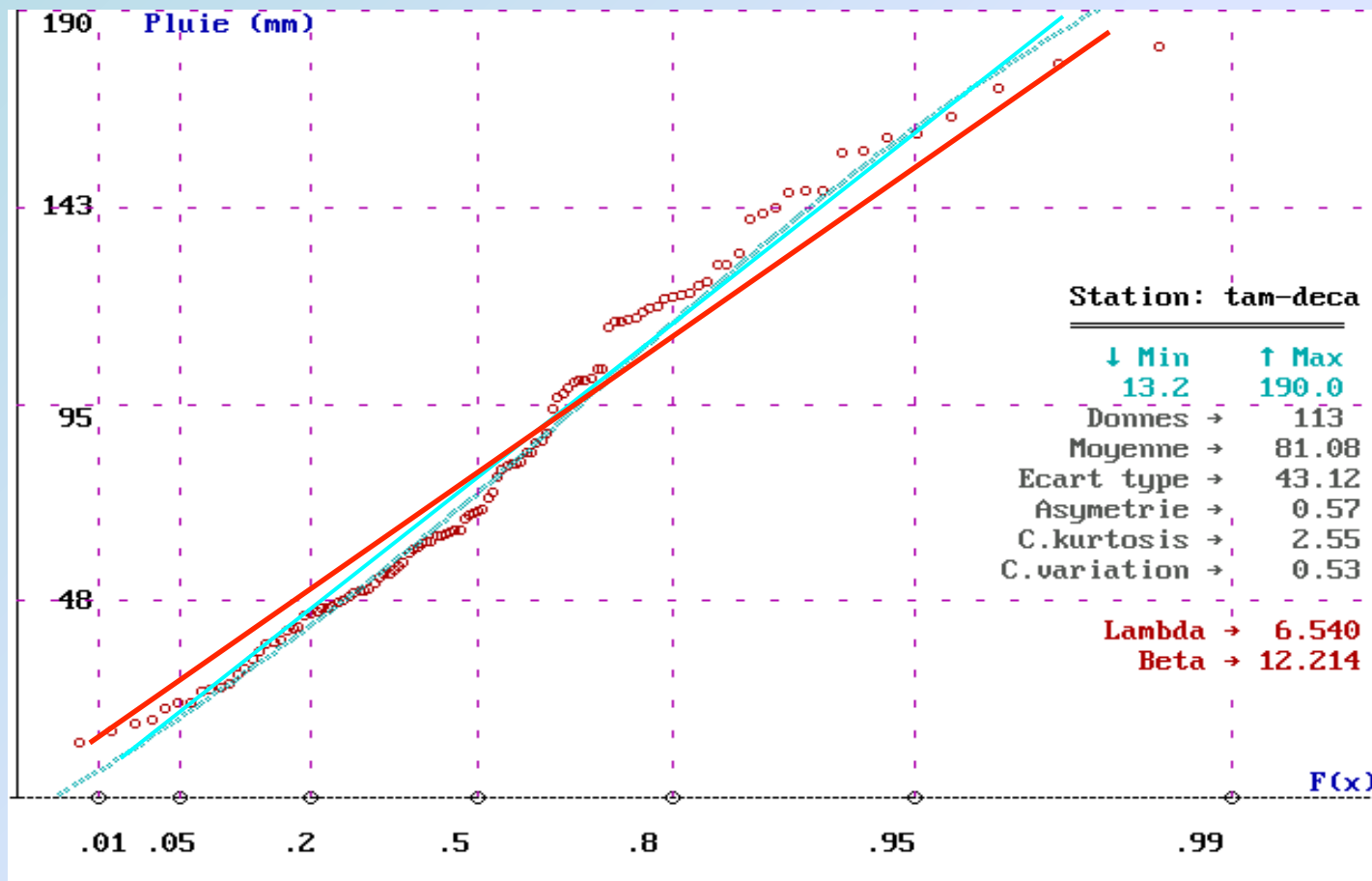
Altitude :
250 m

Mois :
Août
(1961-1985)

Distribution de la pluie cumulée sur T = 10 jours :

$$\beta_{10}^* = \hat{\beta}_1 = 12,214$$

$$\lambda_{10}^* = 10 * \hat{\lambda}_1 = 6,54$$



« valeur exacte »



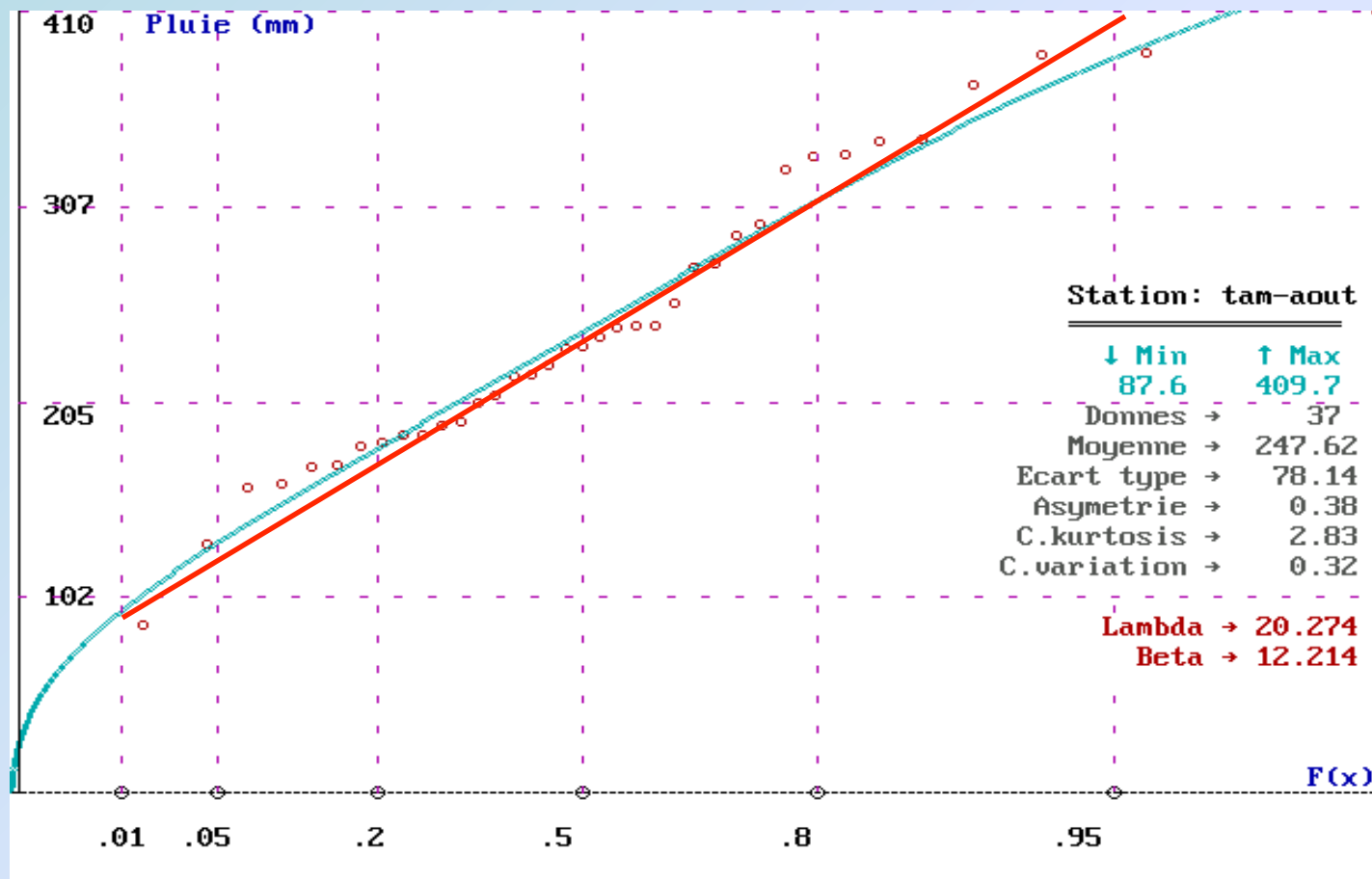
$$\hat{\lambda}_{10} = 7,07$$

$$\hat{\beta}_{10} = 11,5$$

Distribution de la pluie mensuelle. T = 31 jours :

$$\beta_{31}^* = \hat{\beta}_1 = 12,214$$

$$\lambda_{31}^* = 31 * \hat{\lambda}_1 = 20,3$$



« valeur exacte »



$$\hat{\lambda}_{31} = 20,1$$

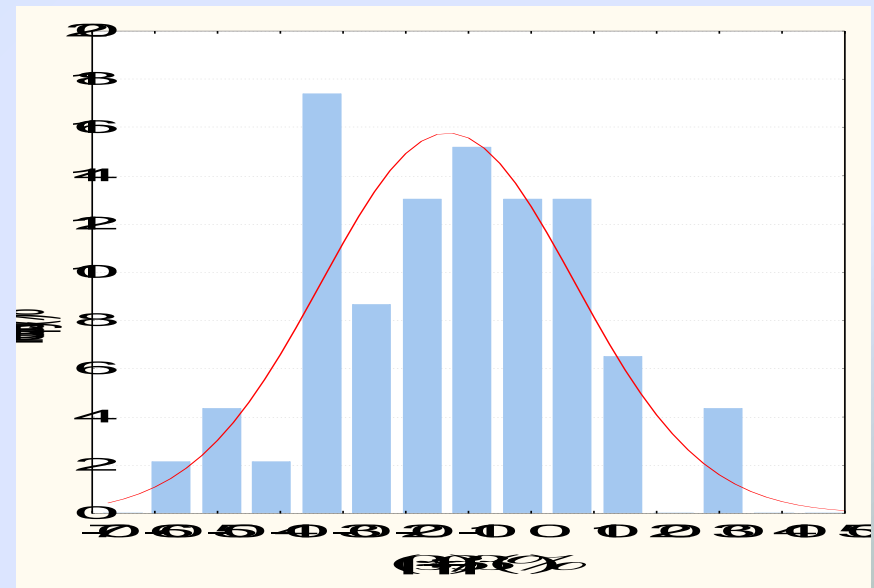
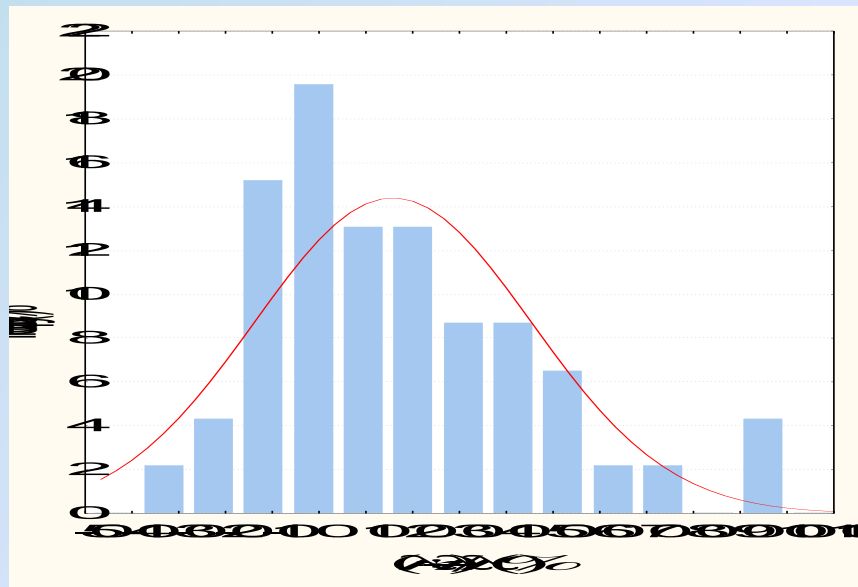
$$\hat{\beta}_{31} = 12,3$$

Validación del modelo (histograma)

- ✓ 48 % de las estaciones presentan para el parámetro λ Diferencias inferiores al 10% en valor absoluto
- ✓ 40% para β

$$\Delta\lambda = (\lambda_T^* - \hat{\lambda}_T) / \hat{\lambda}_T$$

$$\Delta\beta = (\beta_T^* - \hat{\beta}_T) / \hat{\beta}_T$$

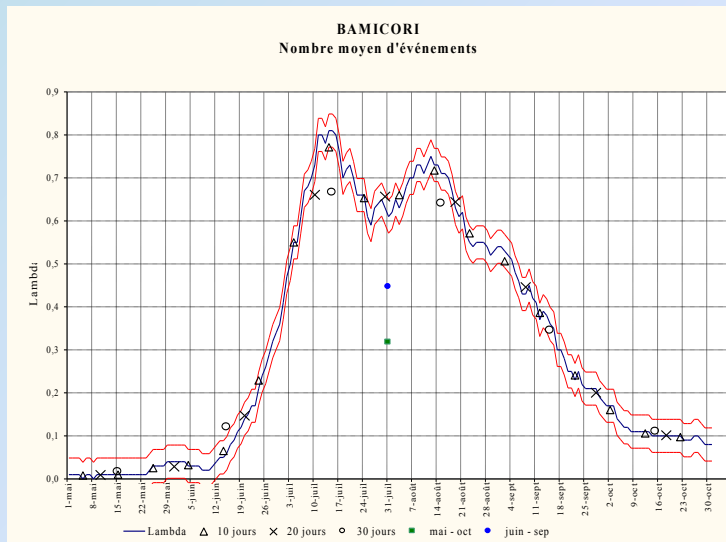


Categorización de los perfiles del número de eventos

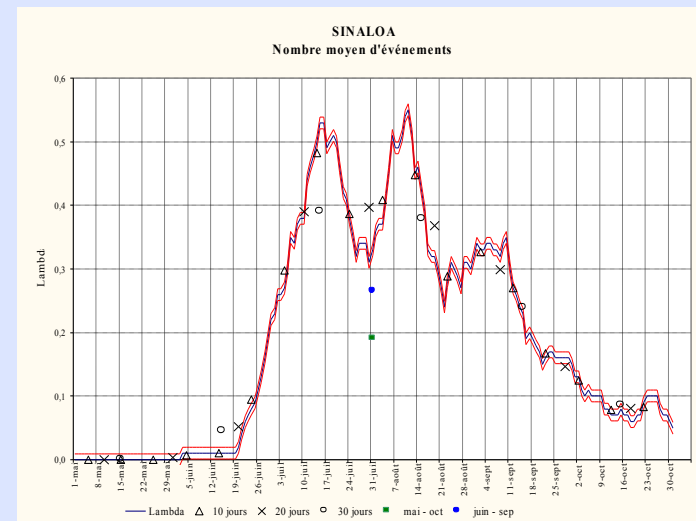
Cerca de la costa se observa de Sur a Norte un aumento progresivo *forma de dos o tres picos* con un ligero máximo en julio

($\hat{\lambda} = 0,75$; latitude 26.35°) à 152 m

($\hat{\lambda} = 0,50$; latitude 25.82°) à 80 m



Bamicori

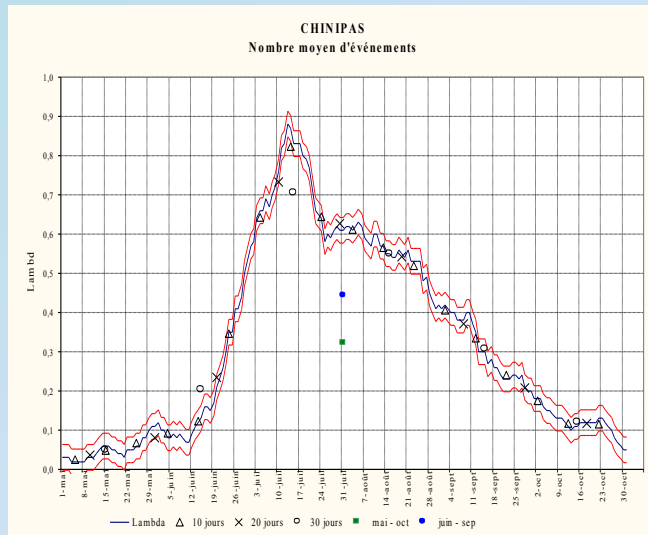


Sinaloa

...en el *piamonte y la zona montañosa*

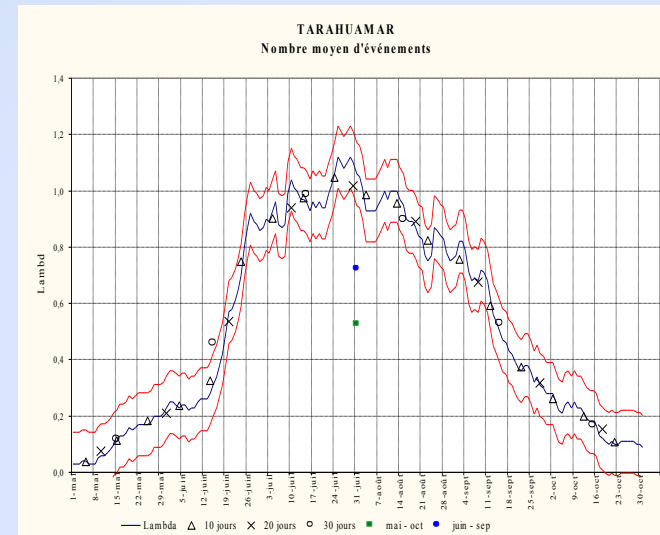
($\hat{\lambda} = 0,85$; latitude 27.40°) à 480 m

($\hat{\lambda} = 1,00$; latitude 25.63°) à 2560 m



Chinipas

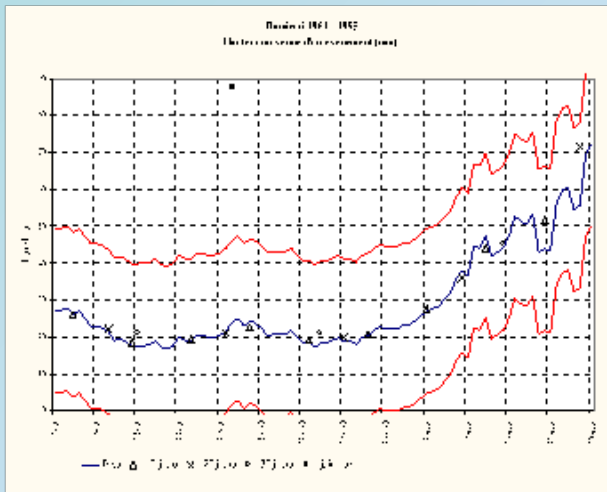
Máximo durante julio



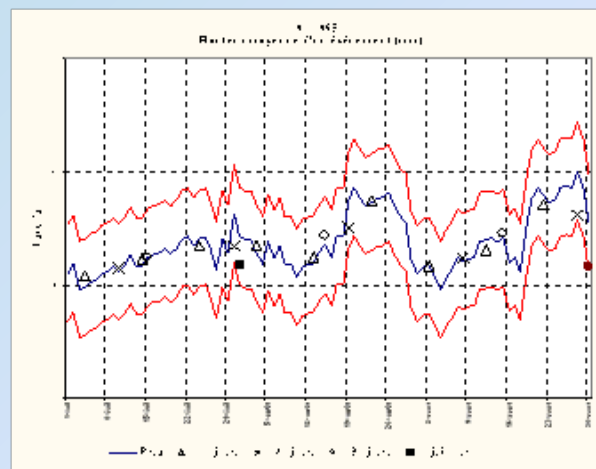
Tarahumar

Temporada más estable

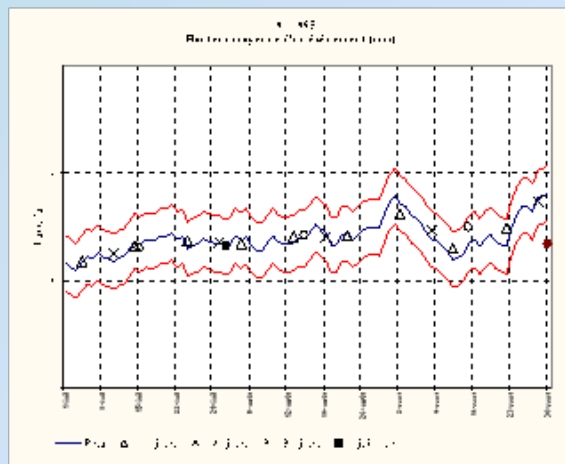
Categorización del perfil de la altura de la lámina de lluvia por evento



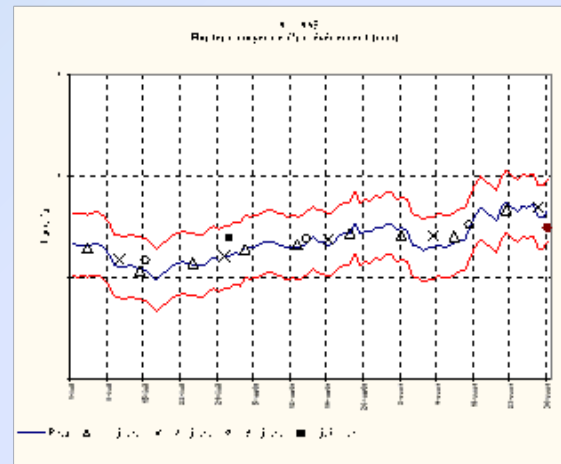
Bamicoiri



Sinaloa



Chinipas

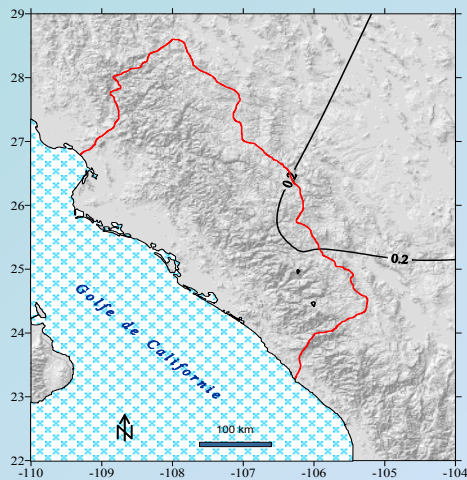


Tarahumar

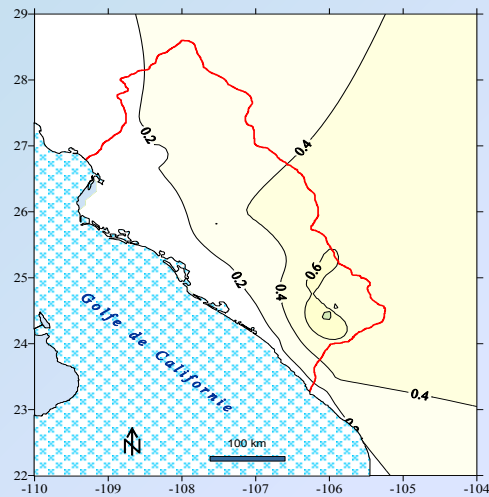
✓ las zonas costeras tiene un perfil inestable

✓ Las zonas montañosas tienen poca variación

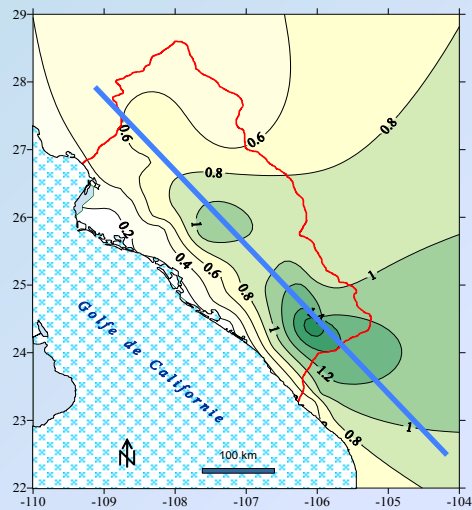
Distribución espacial λ



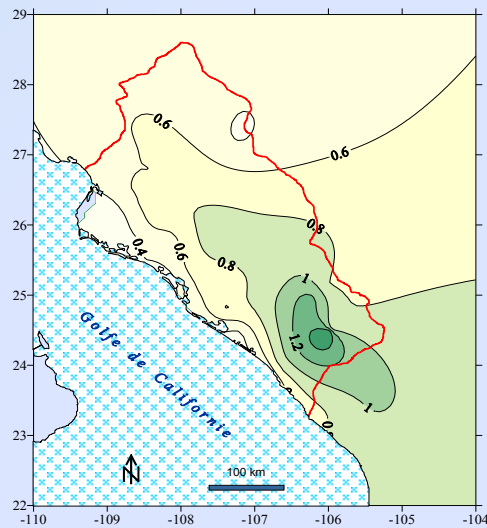
Lambda 4 juin



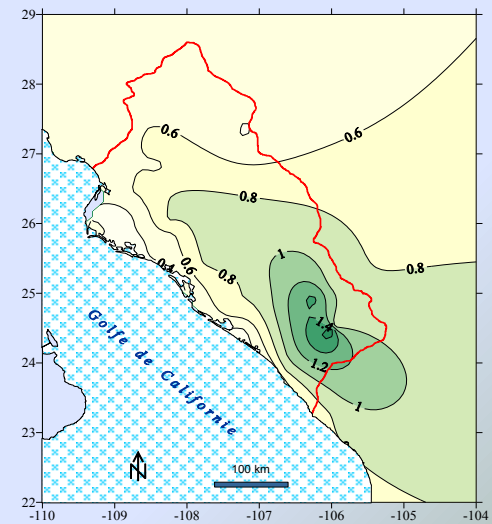
Lambda 20 juin



Lambda 5 juillet

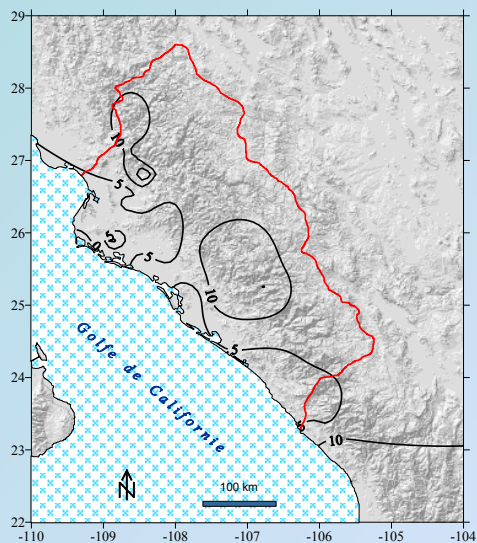


Lambda 5 Août

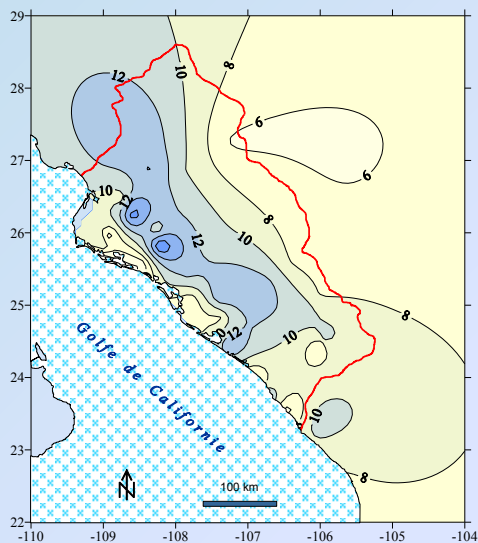


Lambda 10 Août

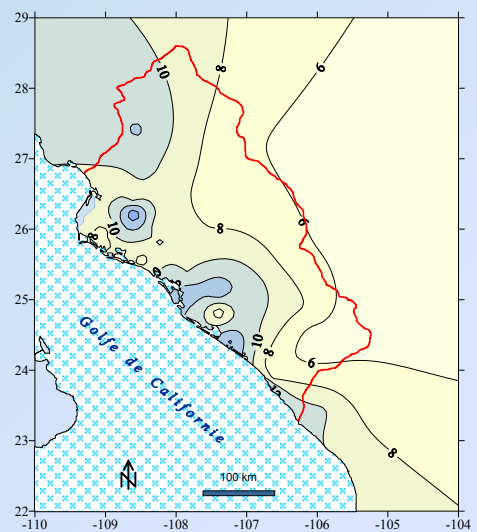
Distribución espacial β



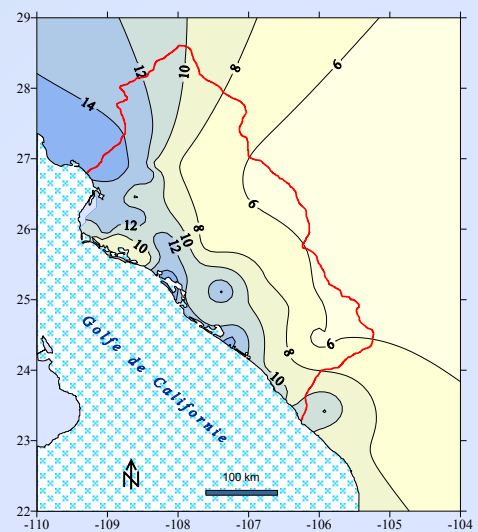
Beta 4 jun



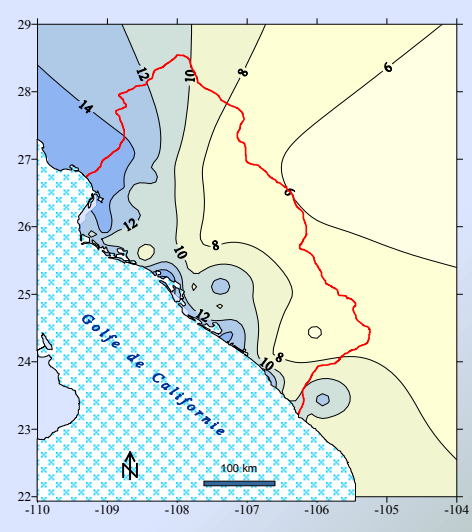
Beta 20 jun



Beta 5 juillet

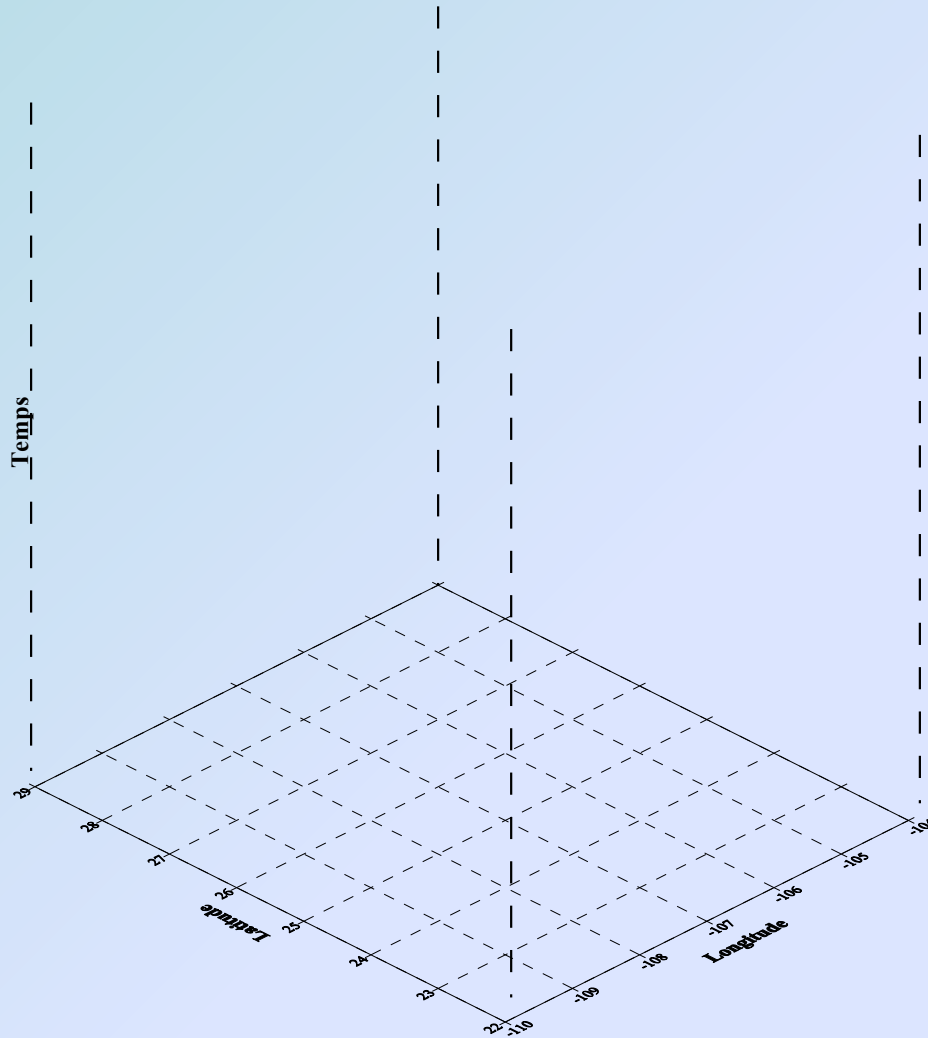


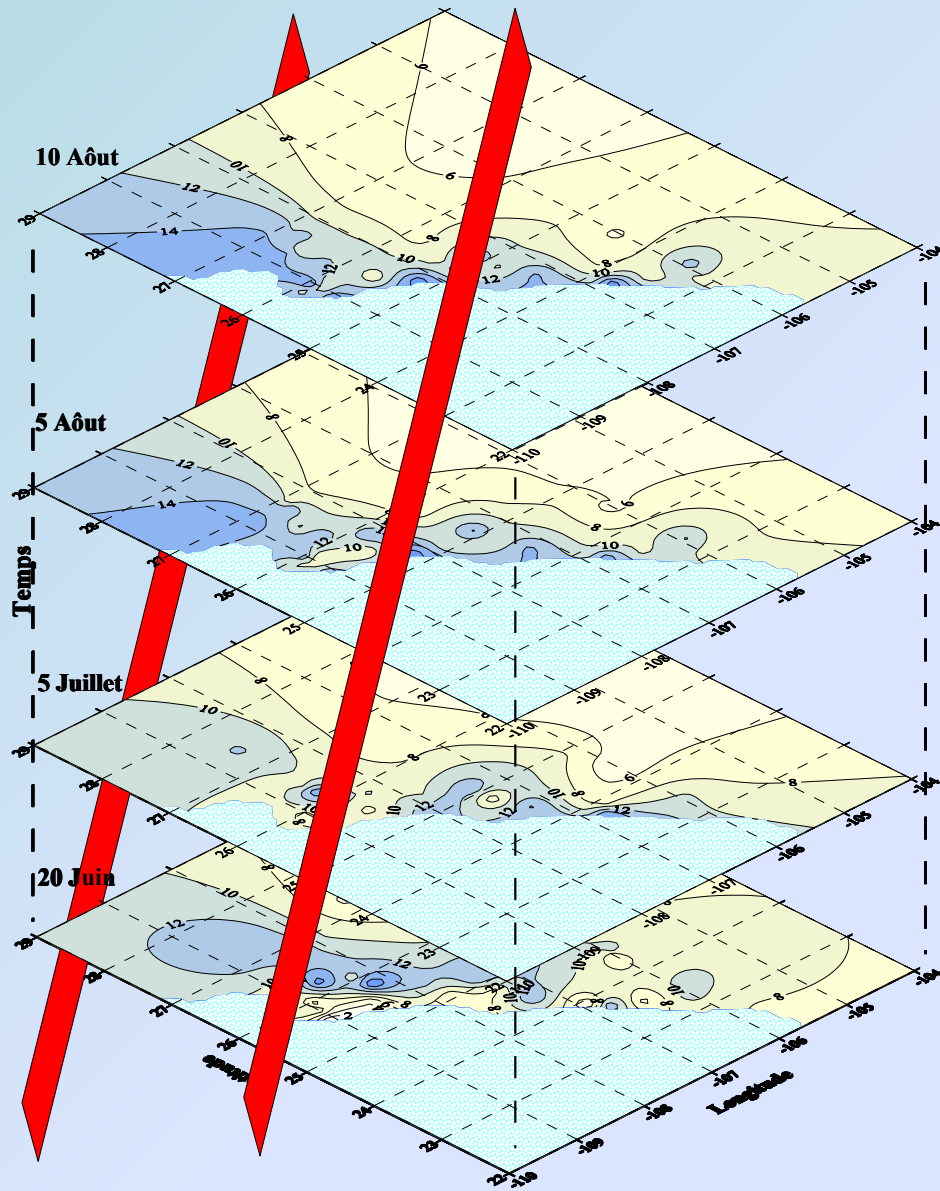
Beta 5 Août



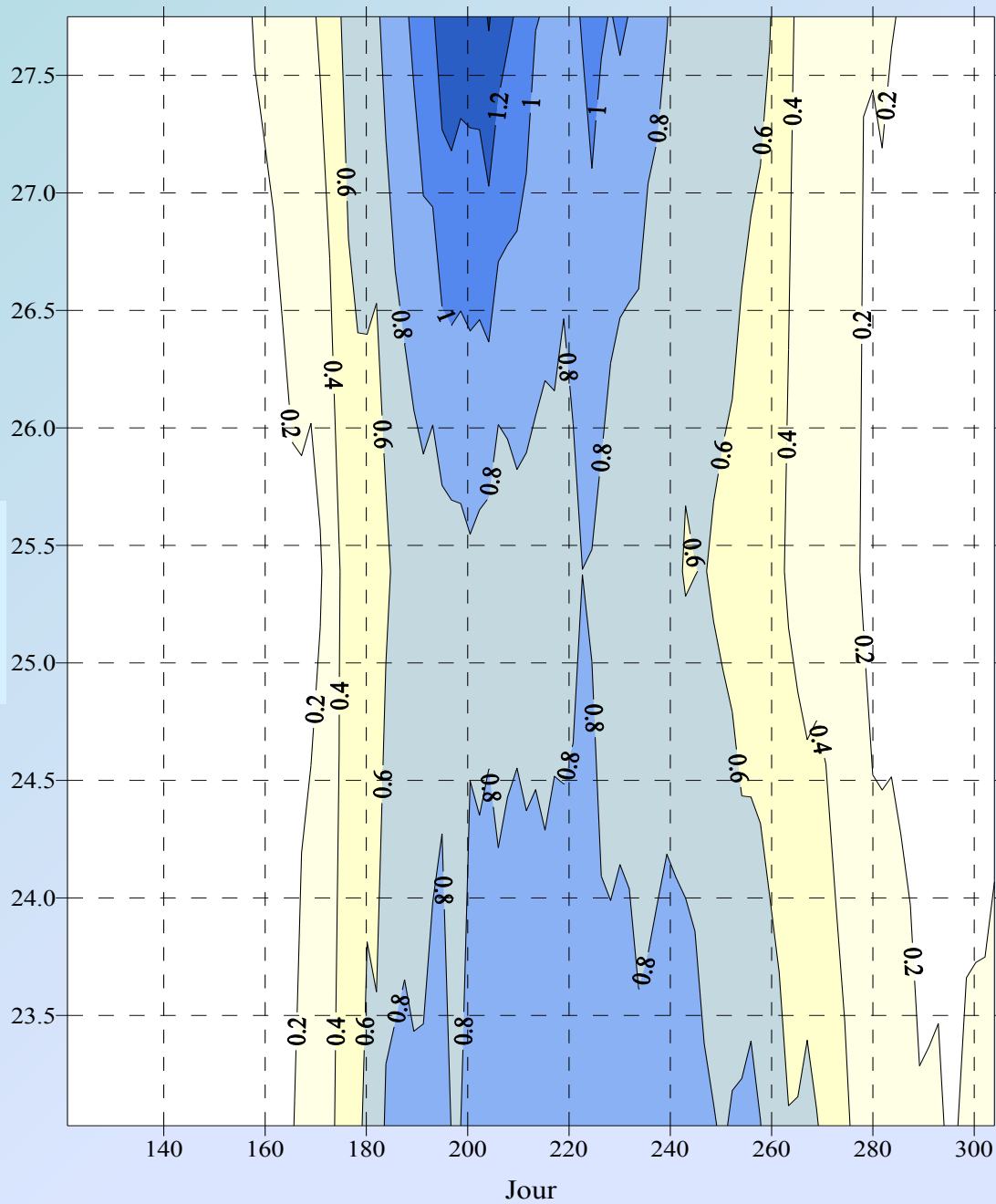
Beta 10 Août

Distribución espacio-temporal





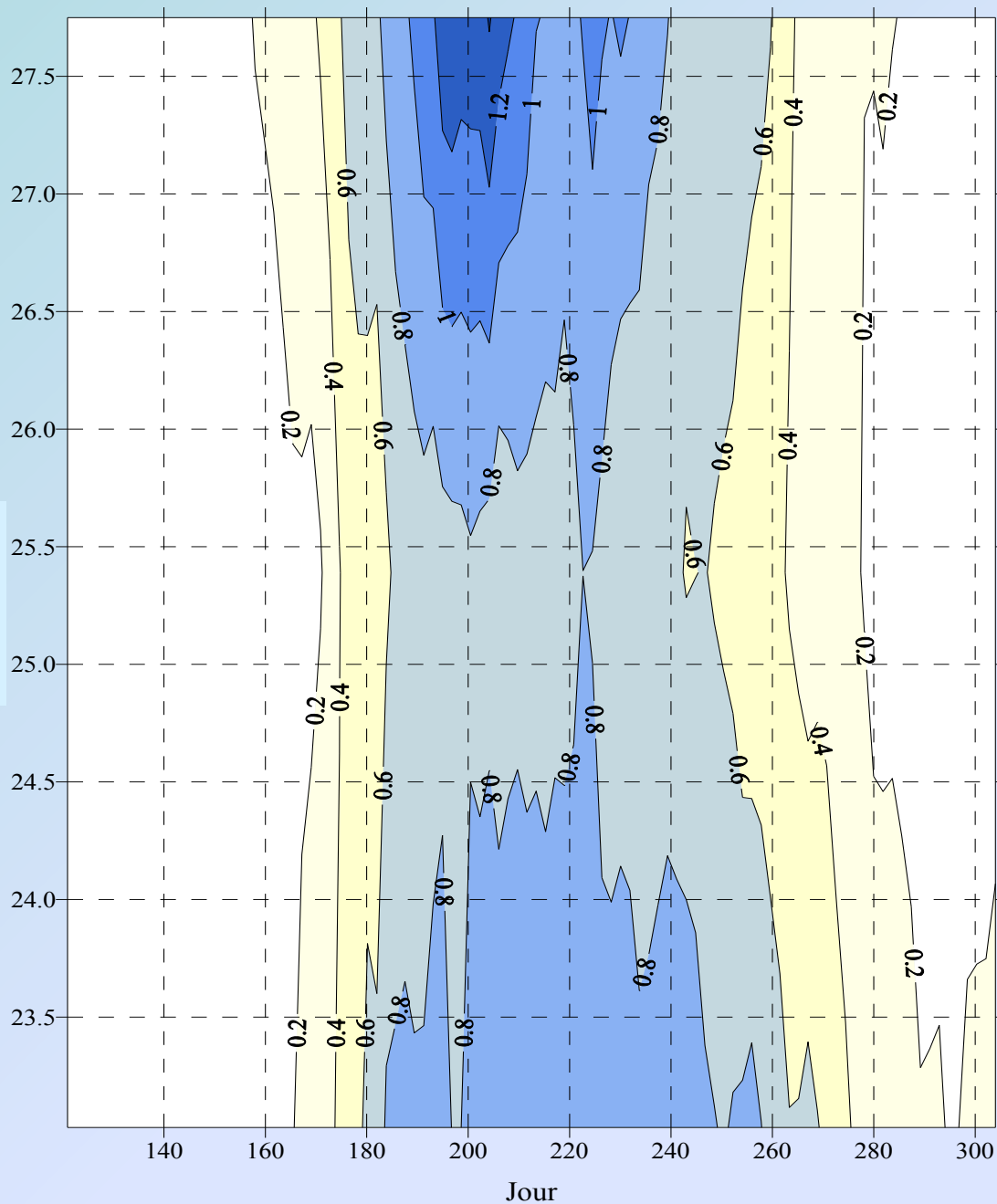
Latitude



**media
inter-anual
de eventos (λ)
latitud vs. días**

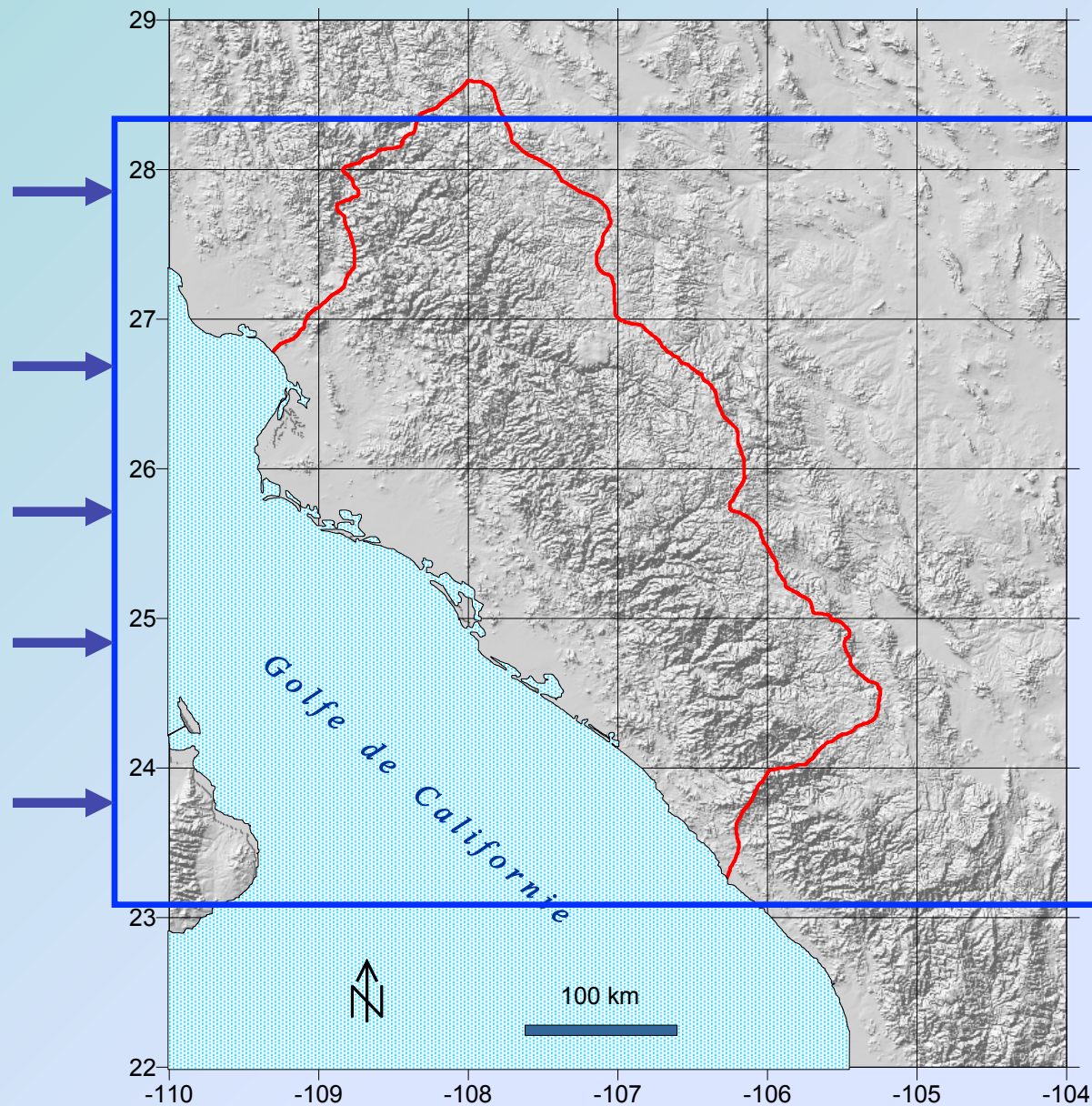
Diagrama de Hovmöller

Latitude



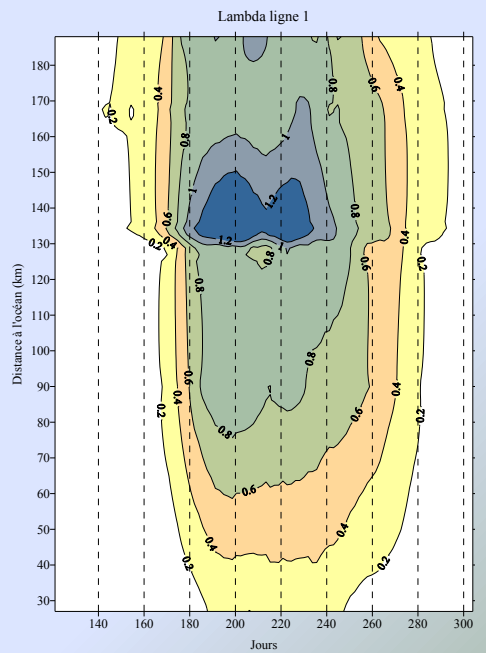
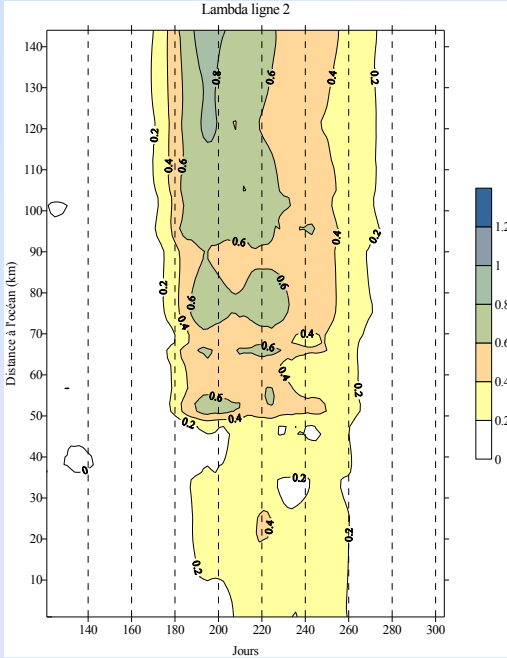
Se constata que los
dos meses más
lluviosos son
julio y agosto

día 182 (1 julio)
día 243 (31 agosto)

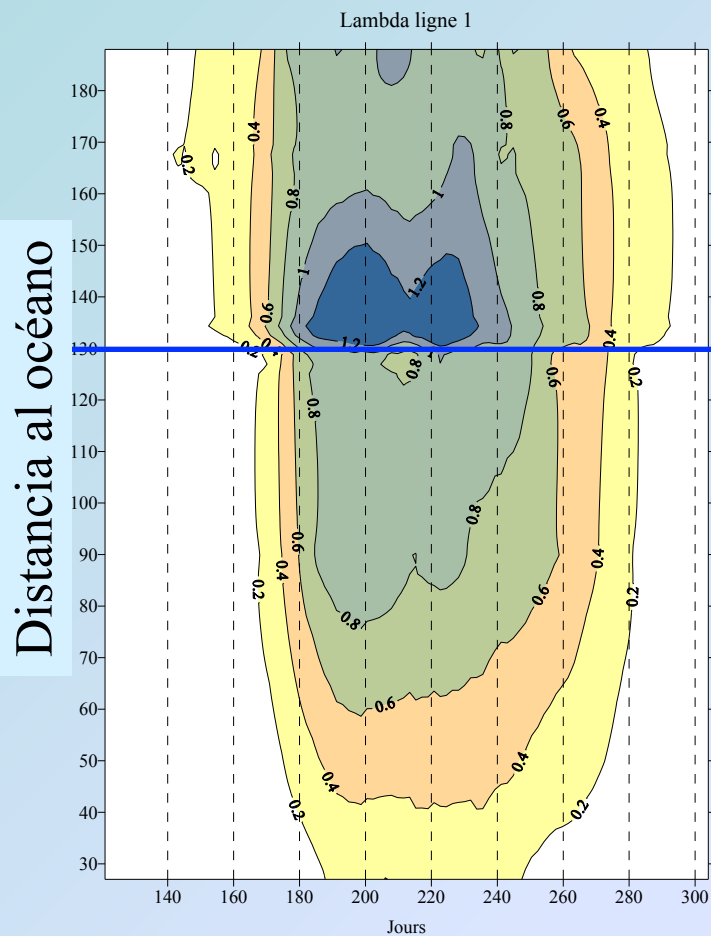


✓ la Sierra Madre no sigue una dirección paralela a la latitud

✓ Por lo tanto, la latitud sólo explica una parte de la distribución espacial de la precipitación



Línea Sur

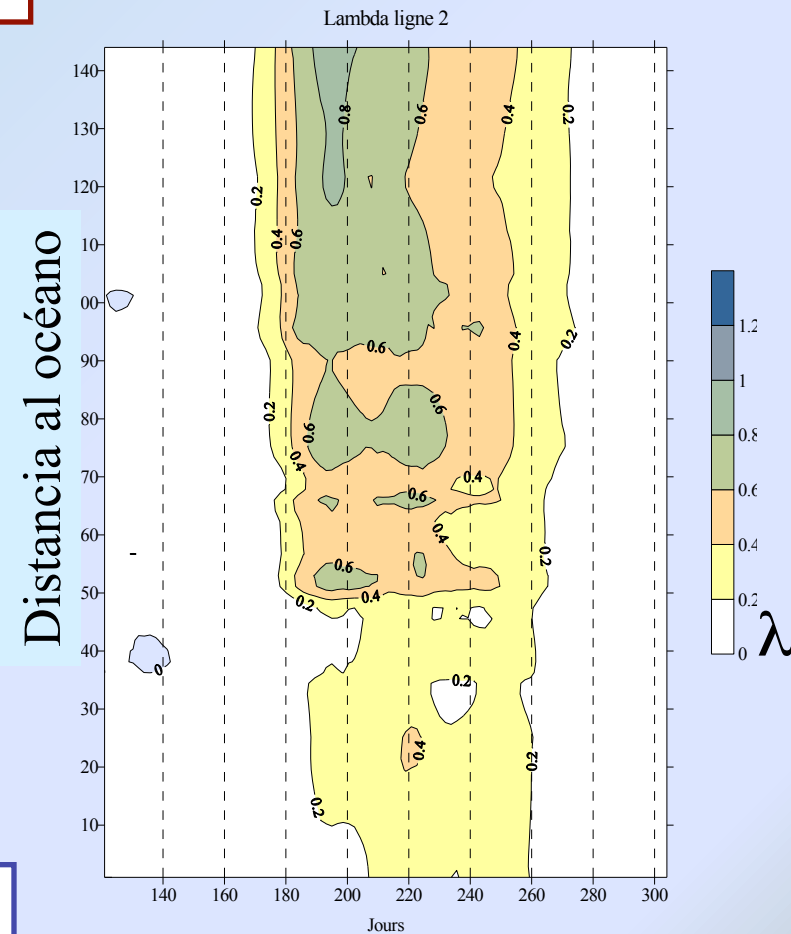


tierra



mar

Línea Norte



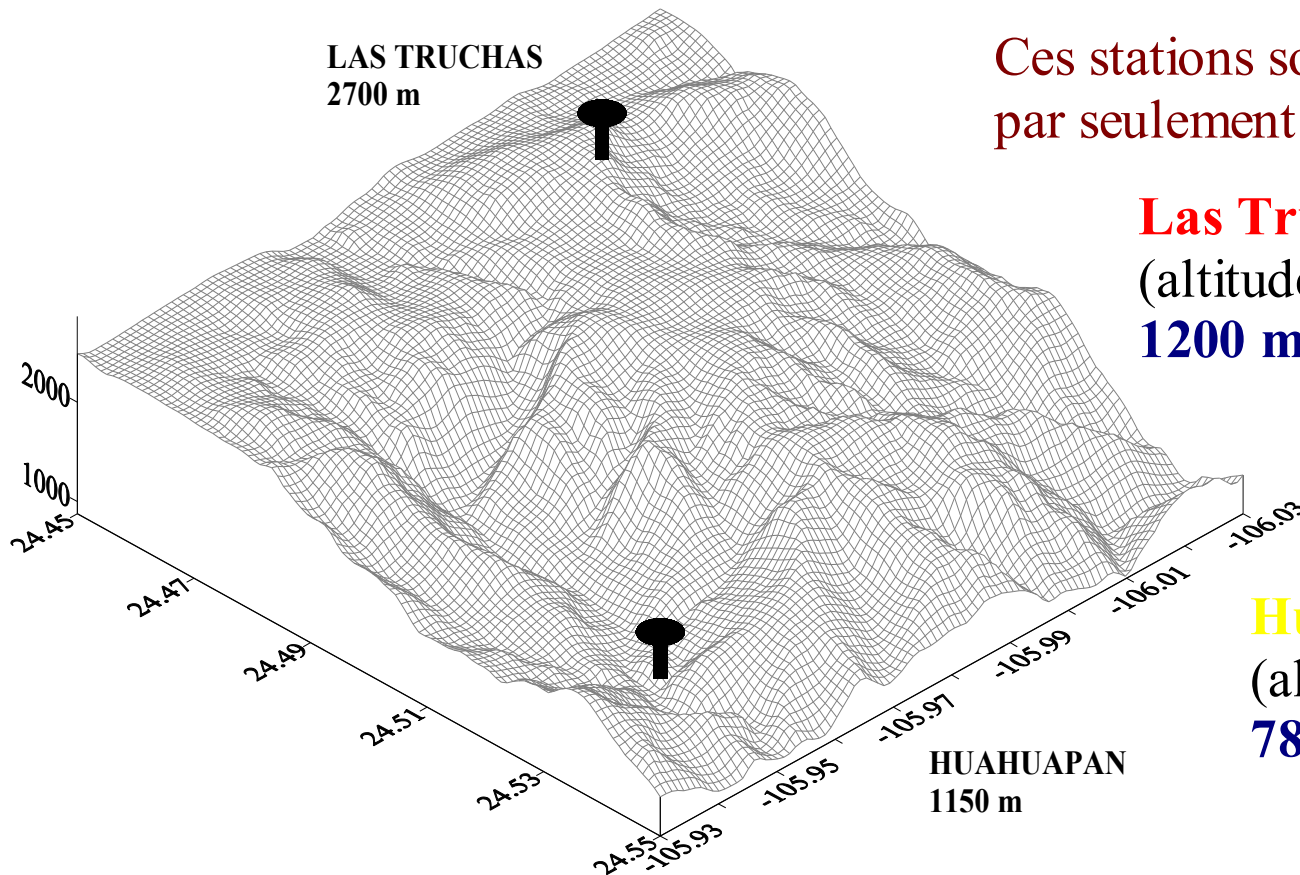
✓ mayo a octubre (días 152 a 274)

✓ junio a septiembre (días 182 a 244)

- ✓ On remarque que la distribution spatio-temporelle du paramètre $\hat{\lambda}$ est fortement gouvernée par la topographie
- ✓ Cette complexité topographique qui change très rapidement avec l'altitude de la Sierra Madre

Lambda 10 August

Ces stations sont séparées par seulement 7,3 km



Las Truchas
(altitude: 2700 m)
1200 mm / an

dénivellation
de 1550 m

Huahuapan
(altitude: 1150 m)
780 mm / an

Estimación y cartografía del riesgo pluviométrico

ESTIMACION Y REPRESENTACION DEL RIESGO PLUVIOMÉTRICO



Los parámetros λ y β de la distribución P-E representan la distribución espacio-temporal de la precipitación



Por lo tanto, se pueden utilizar para elaborar un mapa de riesgo de precipitación extrema y un mapa de riesgo de sequía

CASO: MÁXIMOS y MÍNIMOS

$$P(X_T \leq y) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\lambda^i e^{-\lambda}}{i!} \left[1 - e^{\left(\frac{-y}{\beta}\right)} \right]^i$$

$$P(X_T \leq y) = e^{\left[-\lambda e^{(-y/\beta)}\right]} \quad P(X_T < 0) = 0$$

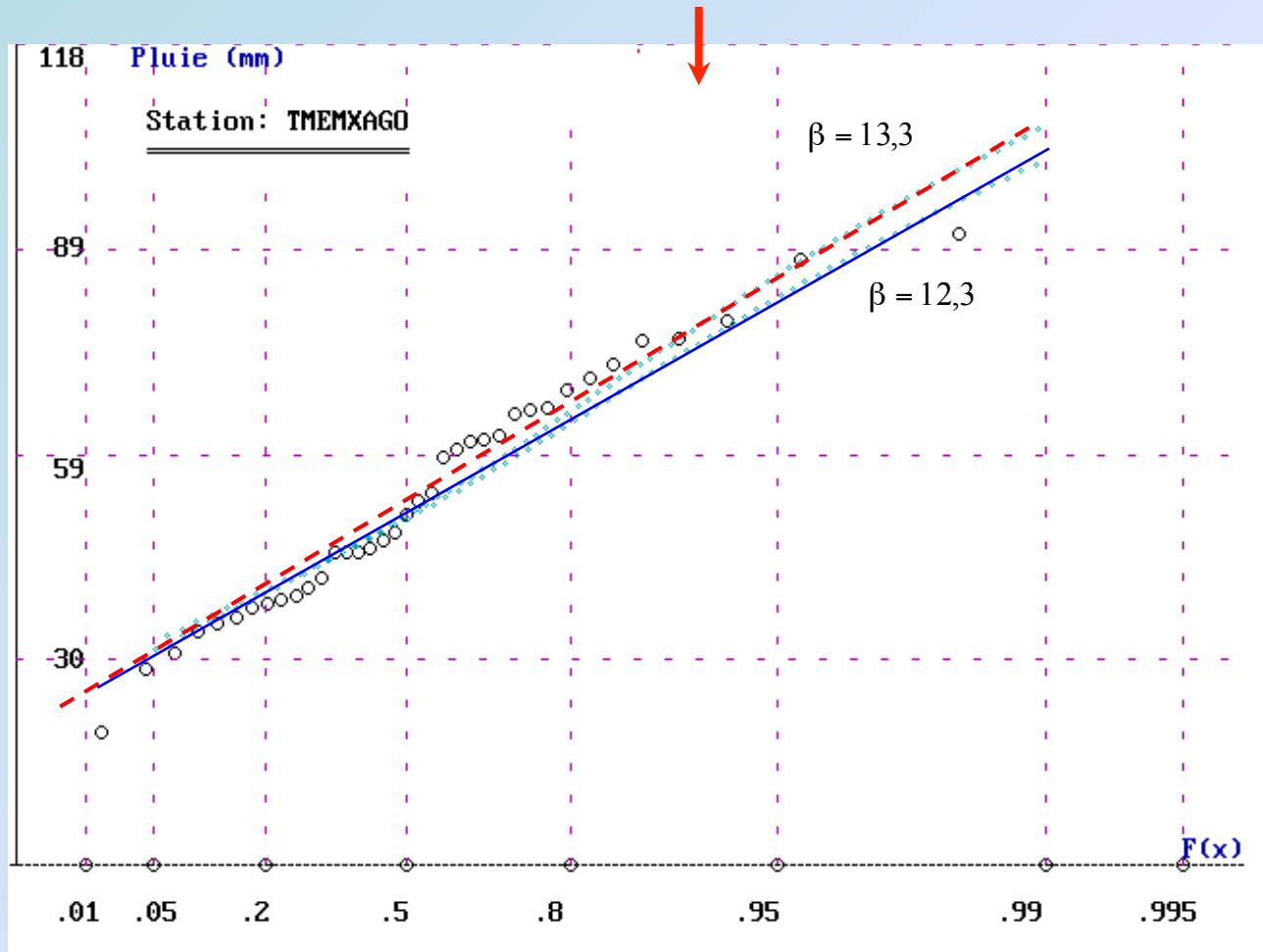
Comportamiento asintótico exponencial, semejante a una distribución de Gumbel, truncada a cero

... **la ocurrencia** de eventos λ sigue una **distribución de Poisson** y las magnitudes **de eventos** siguen una **distribución exponencial** β

... por lo que la distribución de **valores extremos** es una Ley de **Gumbel de parámetro** β . *Este parámetro define el riesgo de lluvia extrema*

Parámetros de escala para el análisis de la lluvia máxima para el mes de agosto, estación Tamazula

Comparación del ajuste directo :



- Ley de **Gumbel** de los max mensuales ($\beta=13,3$)
- Ley deducida del ajuste de una **Ley Pos-Exp** de la lluvia diaria ($\beta =12,3$)

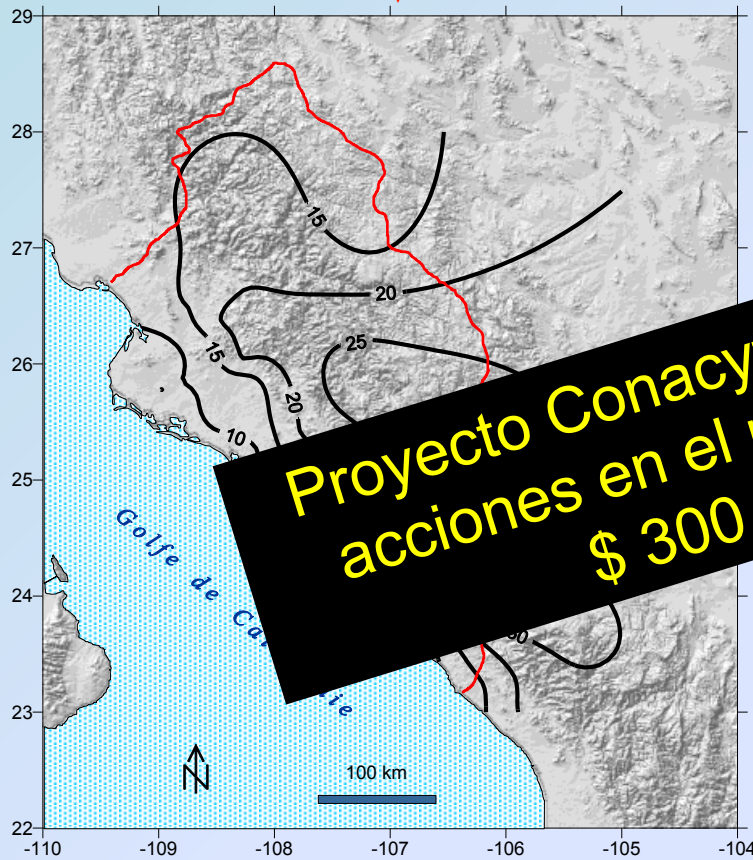
$$SPI^* = 1.734 - \frac{55.6303}{\lambda}$$

Gutiérrez et al., Hydrological Processes, Vol. XX, 2012

Régimen de precipitación en la región 10 para el mes de agosto

La carta de λ_{31} representa una carta de **riesgo de sequía**

La carta de β corresponda a una carta de **riesgo de lluvia extrema**



Proyecto Conacyt para identificar acciones en el norte de México \$ 300,00 USD



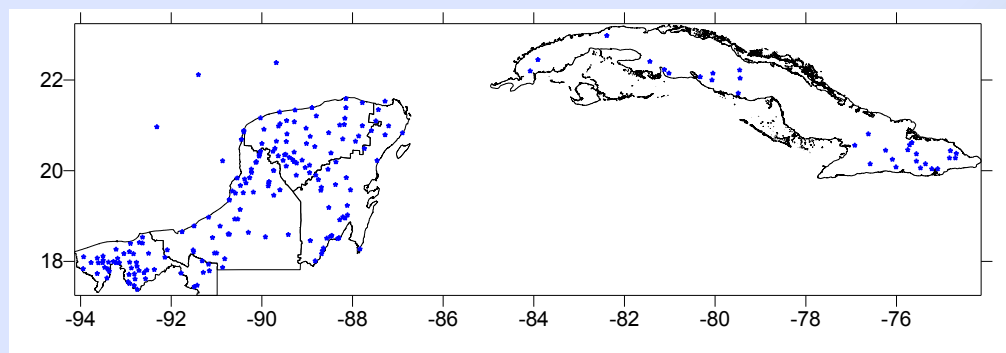
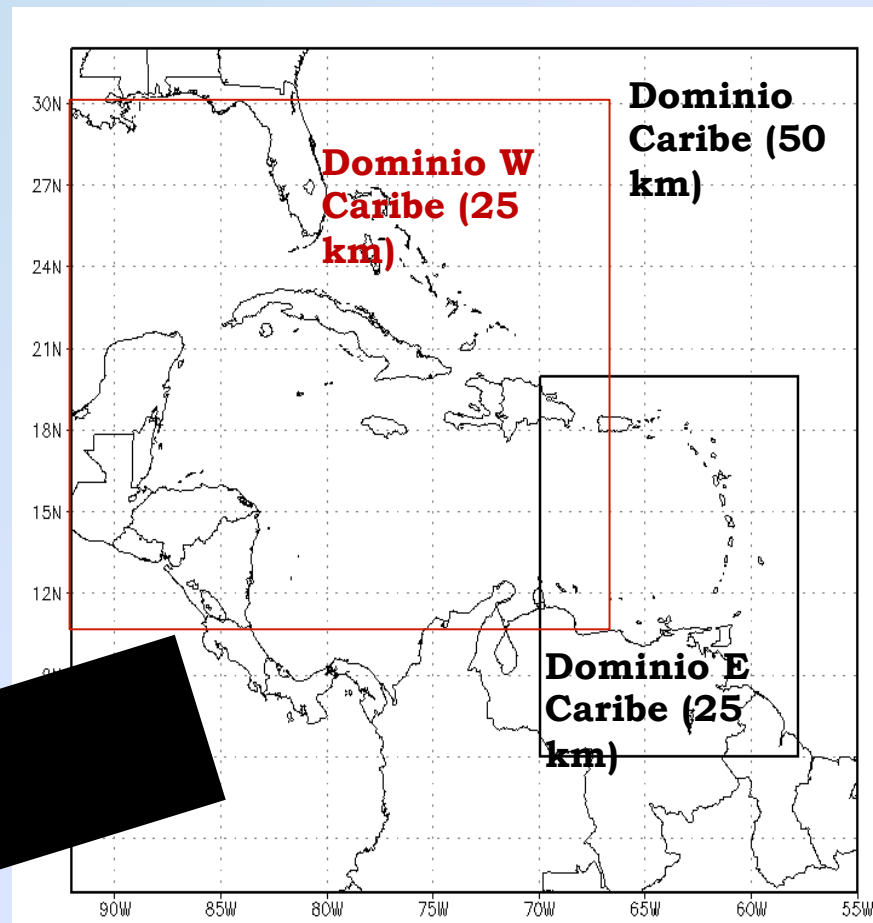
Lambda août (λ_{31})

Moyenne Beta août

MAPAS DE PELIGRO

1. Análisis de intensidades, duraciones y probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas.
2. Análisis estadístico de eventos típicos.
3. Cartografía del peligro histórico.
4. Focalización de los puntos de investigación entre Cuba y México.

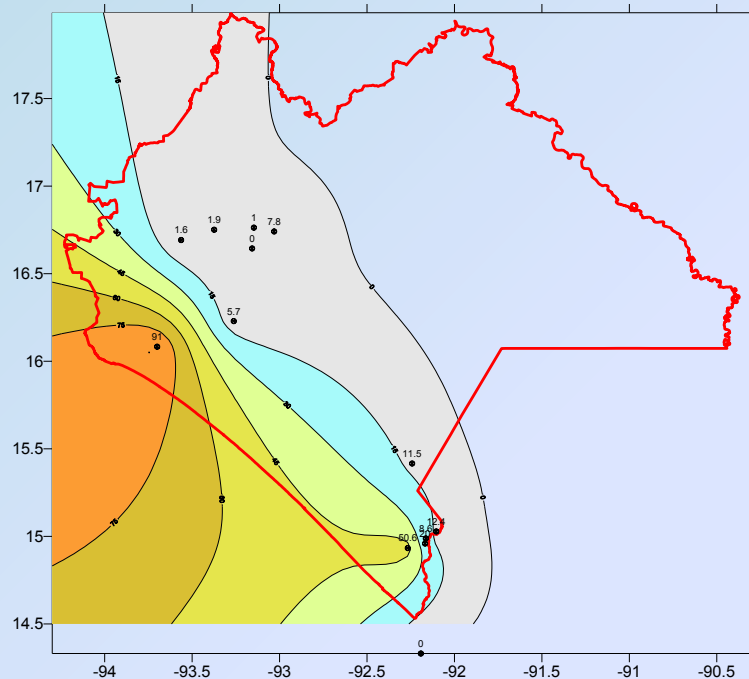
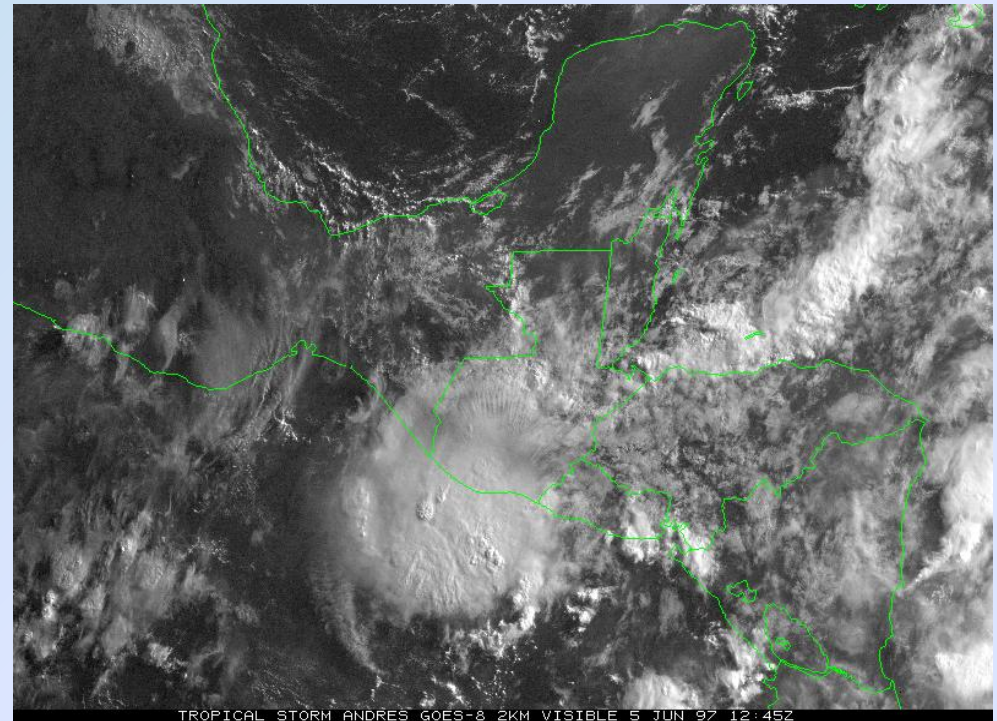
**Punto de investigación:
Cuba y México**



Indicador	Rango	Categoría
Lámina máxima promedio	<100	1
	101 - 125	2
	126 - 150	3
	151 - 200	4
	>200	5
Frecuencia láminas > 100 mm	<0.2	1
	0.2 – 0.29	2
	0.3 - 0.39	3
	0.4 – 0.49	4
	> 0.49	5
Lámina Máxima absoluta	<100	1
	100 - 199	2
	200 - 299	3
	300 - 399	4
	>399	5
Probabilidad excedencia en 2 años lámina => 100 mm	< 0.5	2
	>0.5	4

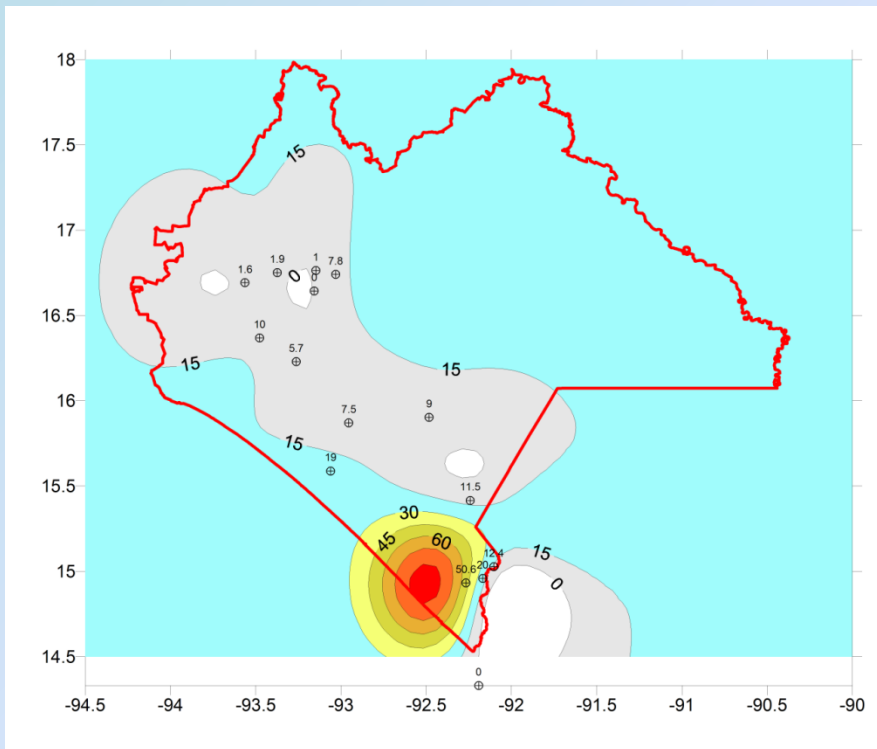
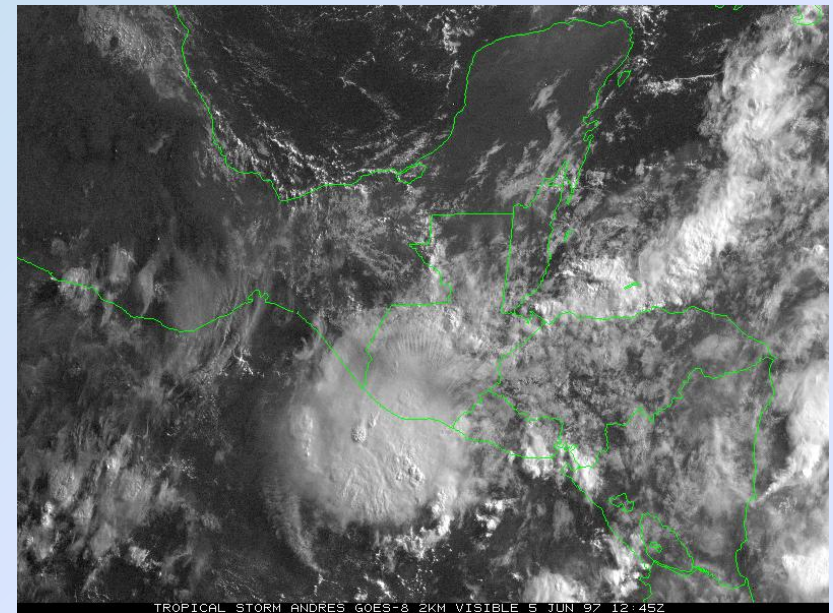
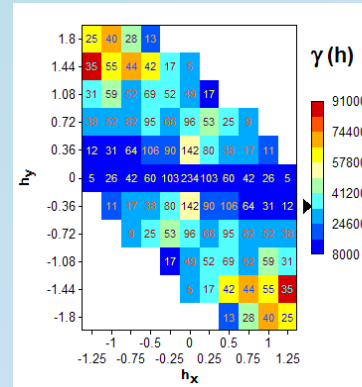
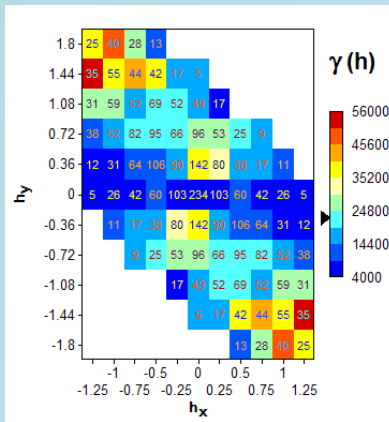
Indicadores	Áreas de peligro					
	AI		AII		AIII	
	60 min	1440 min	60 min	1440 min	60 min	1440 min
Altitud (m)	75		96		116	
Lámina promedio	51.7	85.8	61.6	104.8	65.0	116.1
Frecuencia >100		0.23		0.42		0.47
CV serie	0.32	0.40	0.42	0.48	0.50	0.58
Máximo Absoluto	109.2	184.8	141.6	253.5	172.9	344.2
Lámina de período de retorno de 100 años	130,8	223.2	159,7	298.8	188.7	380.4
Lámina de período de retorno de 50 años	117,7	199.8	143,7	265.6	167.4	335.0
Lámina de período de retorno de 20 años	96,7	162.3	116,3	212.4	133.2	262.4
Lámina de período de retorno de 10 años	86,7	144.4	103,3	187.1	117.0	227.8
Lámina de período de retorno de 5 años	72,6	119.2	85,0	151.4	94.1	179.1
Lámina de período de retorno de 2 años	51,5	81.2	57,6	97.6	59.8	105.5
Probabilidad de que la lamina 100 mm o mayor sea excedida en 20 años	0,26	0.51	0,48	0.78	0.62	0.81
Probabilidad de que la lamina 100 mm o mayor sea excedida en 10 años	0,14	0.43	0,34	0.70	0.44	0.73
Probabilidad de que la lamina 100 mm o mayor sea excedida en 5 años	0,03	0.28	0,15	0.55	0.17	0.62
P(probabilidad de que la lamina 100 mm o mayor sea excedida en 2 años)	0.00	0.00	0.01	0.24	0.01	0.45

CONOCIMIENTO DE LOS CAMPOS LLUVIA EXTREMA PRODUCIDA POR HURACANES



Isoyetas utilizando un
método de tradicional:
interpolación cuadrática

*Alfonso Gutiérrez y Leonel
Encarnación, 2010*

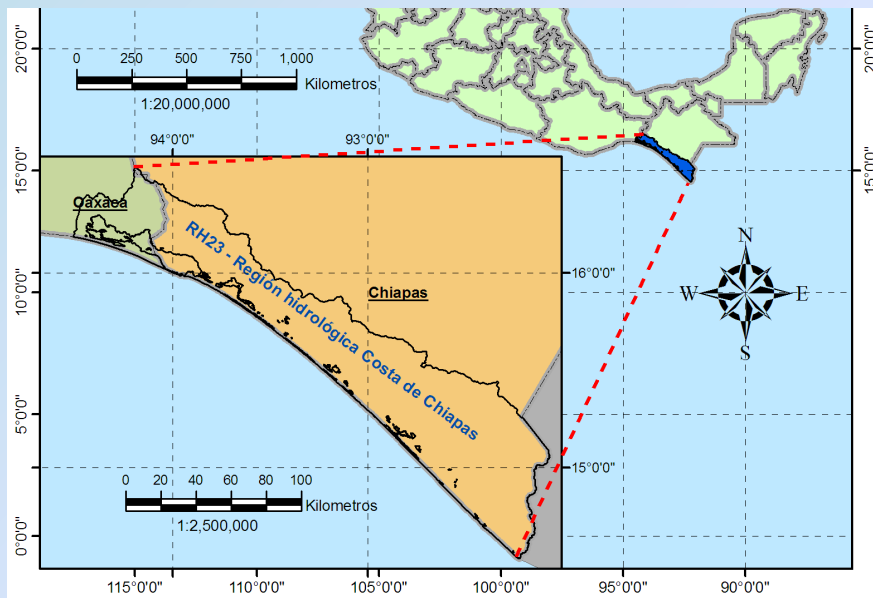


Interpolación de los campos de lluvia, utilizando un método de: interpolación con variogramas direccionales (Kriging)

ZONAS DE RIESGO DE MEANDREO DE UN RÍO DE PLANICIE



Río Cahuacán, entre los municipios de Tapachula y Tuxtla Chico; extendiéndose casi **2.5 km a lo largo del cauce**, Llanura Costera de Chiapas y Guatemala, sobre una zona de depósito sedimentarios.



Roberto Mejía, y Vladimir Contreras, 2007

Alfonso Gutiérrez, Vladimir Contreras y Roberto Mejía, 2009

Alfonso Gutiérrez y Daniel Resendiz, 2011

La expresión propuesta por **Kinoshita** para generar **curvas de meandros** Beck (1988).

$$\theta = \theta_0 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi s}{\lambda}\right) + \theta_0^3 \left[J_s \cos\left(3 \frac{2\pi s}{\lambda}\right) \operatorname{en}\left(3 \frac{2\pi s}{\lambda}\right) \right]$$

J_s .- es el coeficiente de asimetría

J_f .- es el coeficiente de aplastamiento o curtosis

θ_0 .- es ángulo máximo de amplitud

λ .- es el arco de curvatura del canal

s .- es la coordenada de giro

**Proyecto de investigación IFI,
reponsables: México y Guatemala**

Beck, S. M. 1988. *Computer-simulated deformation of meandering river patterns. PhD Thesis.*
Department of Civil Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota, USA.

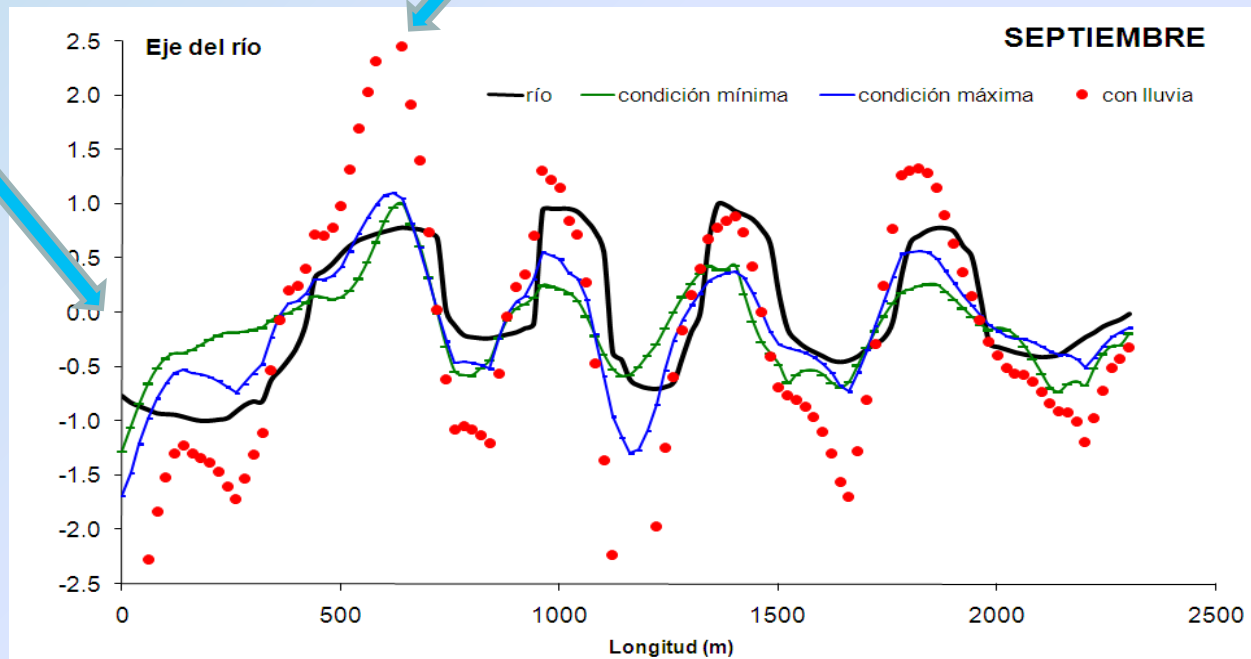
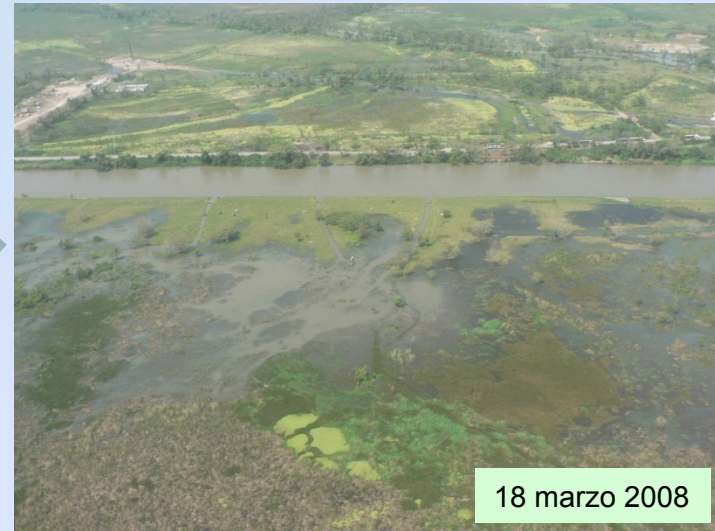
Se proponen formar una ecuación con una **sucesión de senos y cosenos**. **La amplitud** de cada función trigonométrica, esta formada por los valores de cada una de las **características morfológicas y fluviales** propuestas (X_i). Asimismo, **la frecuencia** de los senos y cosenos es el producto de cada uno de los **componentes principales** $|\Omega_i|$ por la distancia longitudinal de desarrollo del meandro.

$$(\dot{y}_i) = \left[X_{i+(i-1)}'' \text{seno}(|\Omega_i| z) \right] + \left[X_{i+i}'' \text{cos}(|\Omega_i| z) \right]$$

X_i'' son los valores centrados-estandarizados de las características morfológicas y fluviales propuestas

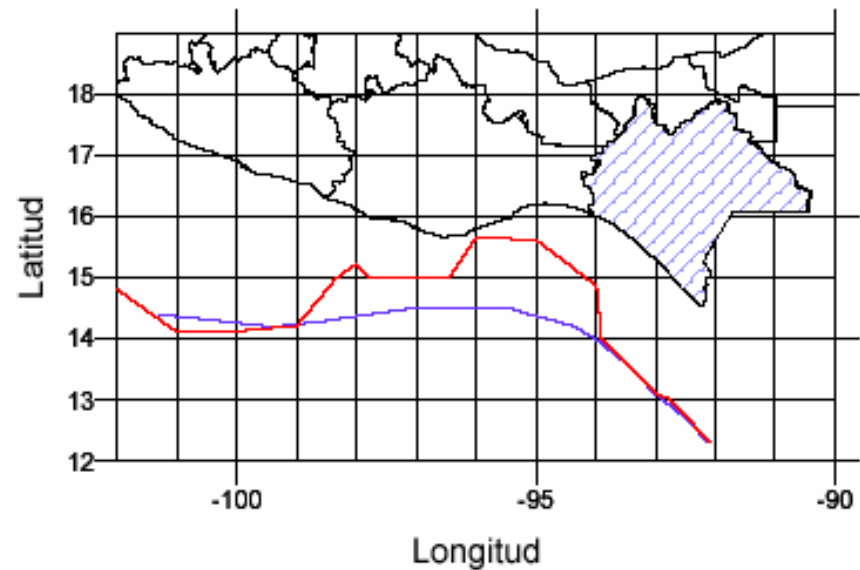
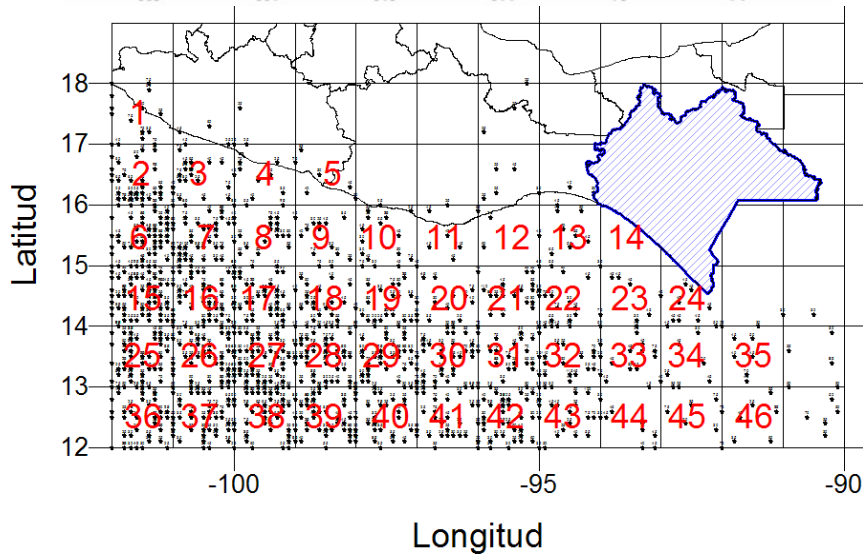
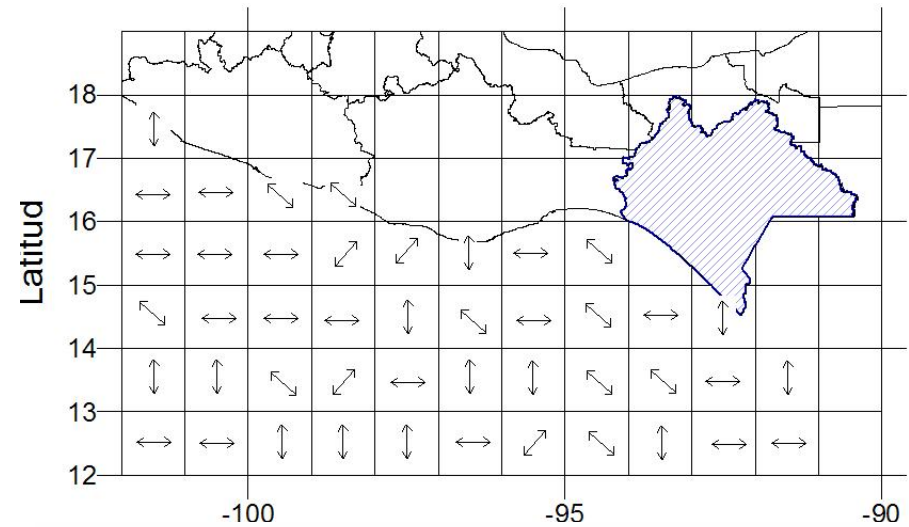
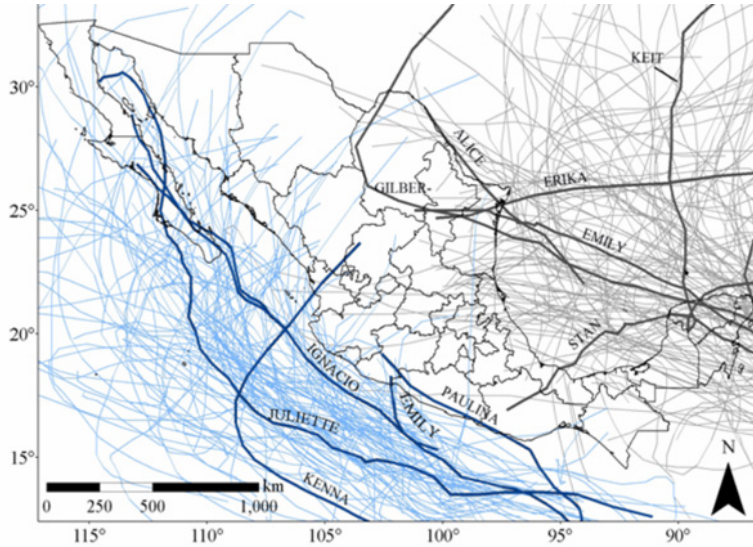
$|\Omega_i|$ es el i-ésimo componente principal

Meandreo del río Cahuacán hasta el año 2016



TRAYECTORIAS DE HURACANES EMPLEANDO MODELACIÓN GEOESTADÍSTICA

Alfonso Gutiérrez y Leonel Encarnación, 2010

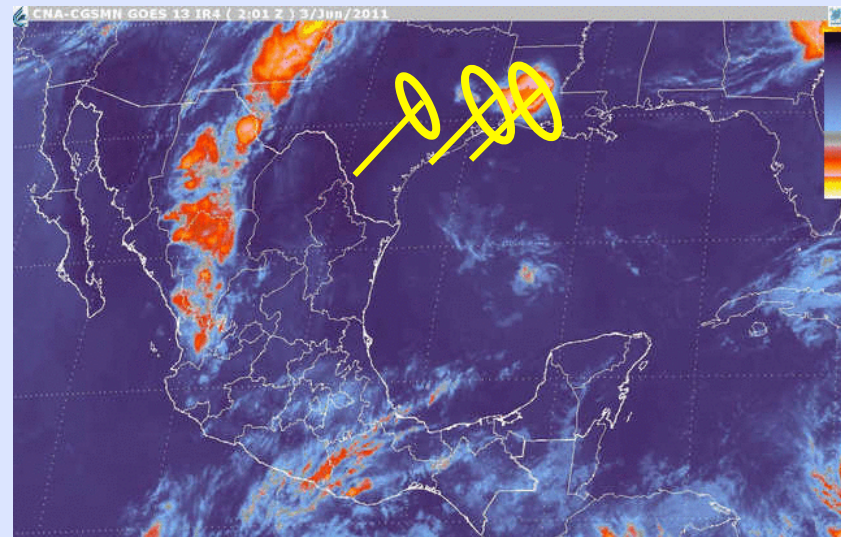
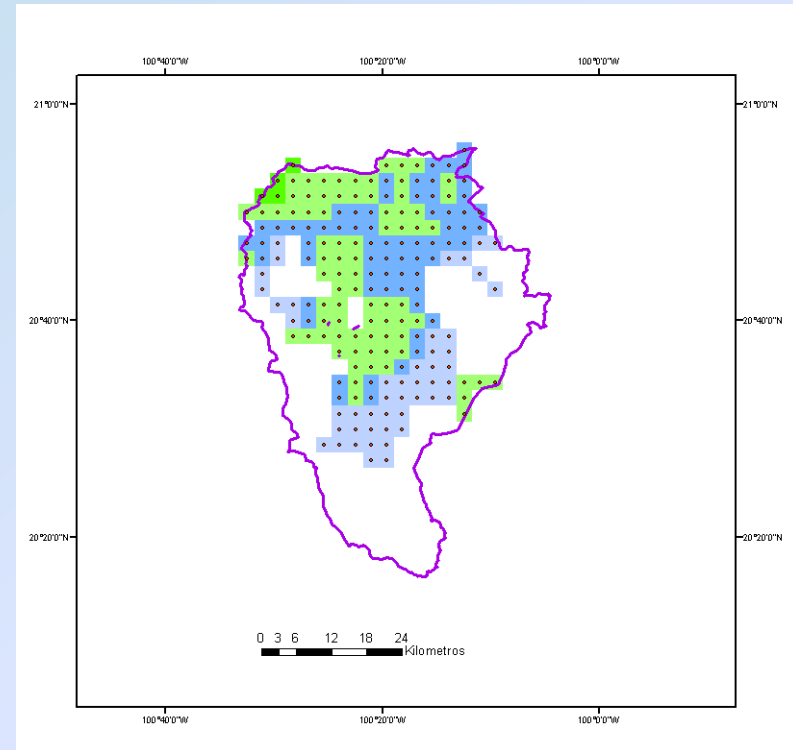


SEGUIMIENTO DE SISTEMAS NUBOSOS

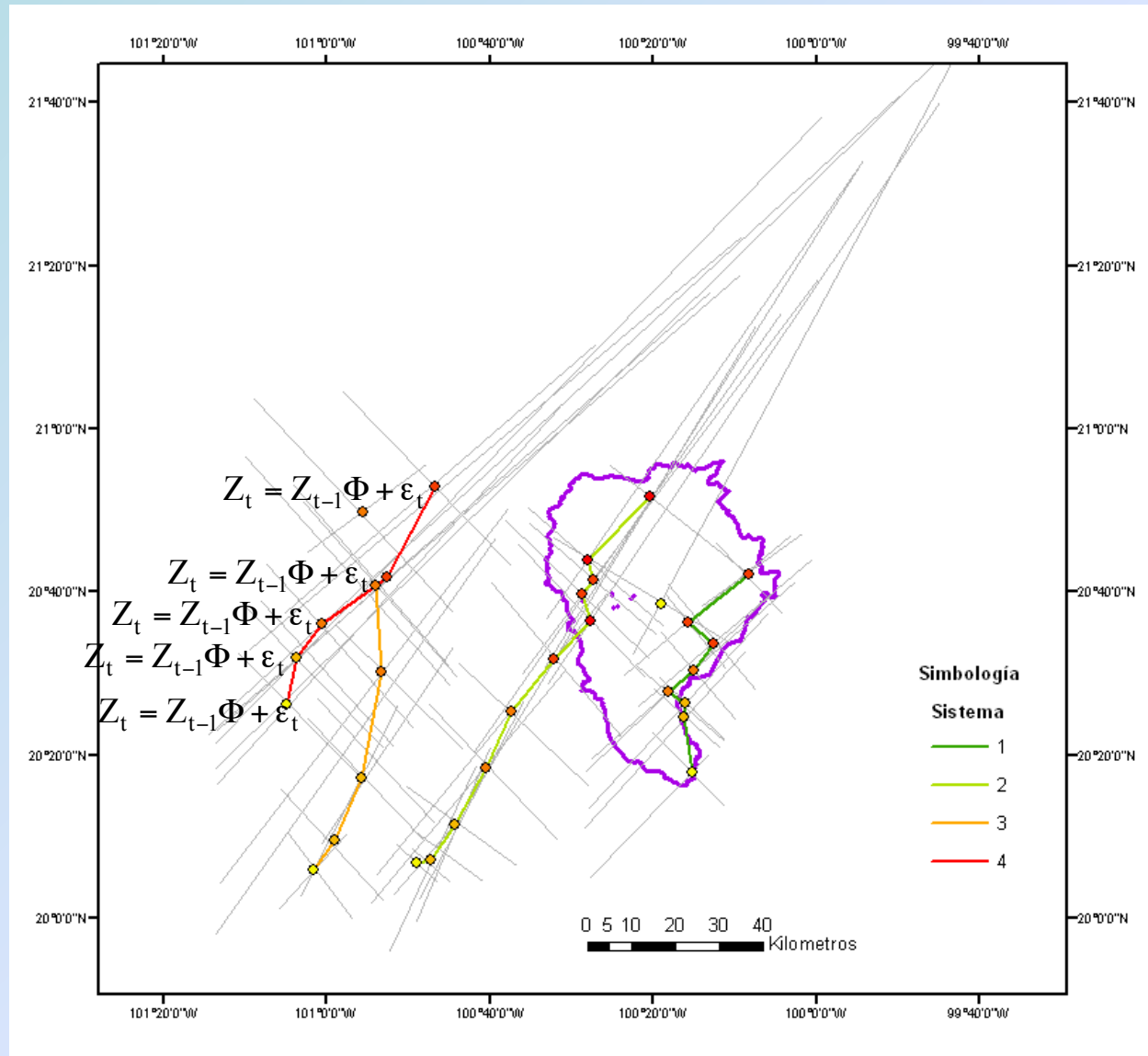
Una planificación hídrica racional exige conocer los posibles sucesos futuros, con cierta probabilidad de ocurrencia.

La técnica más importante para hacer inferencias sobre el futuro con base en lo ocurrido en el pasado, es el “análisis de series de tiempo”, o modelación estocástica.

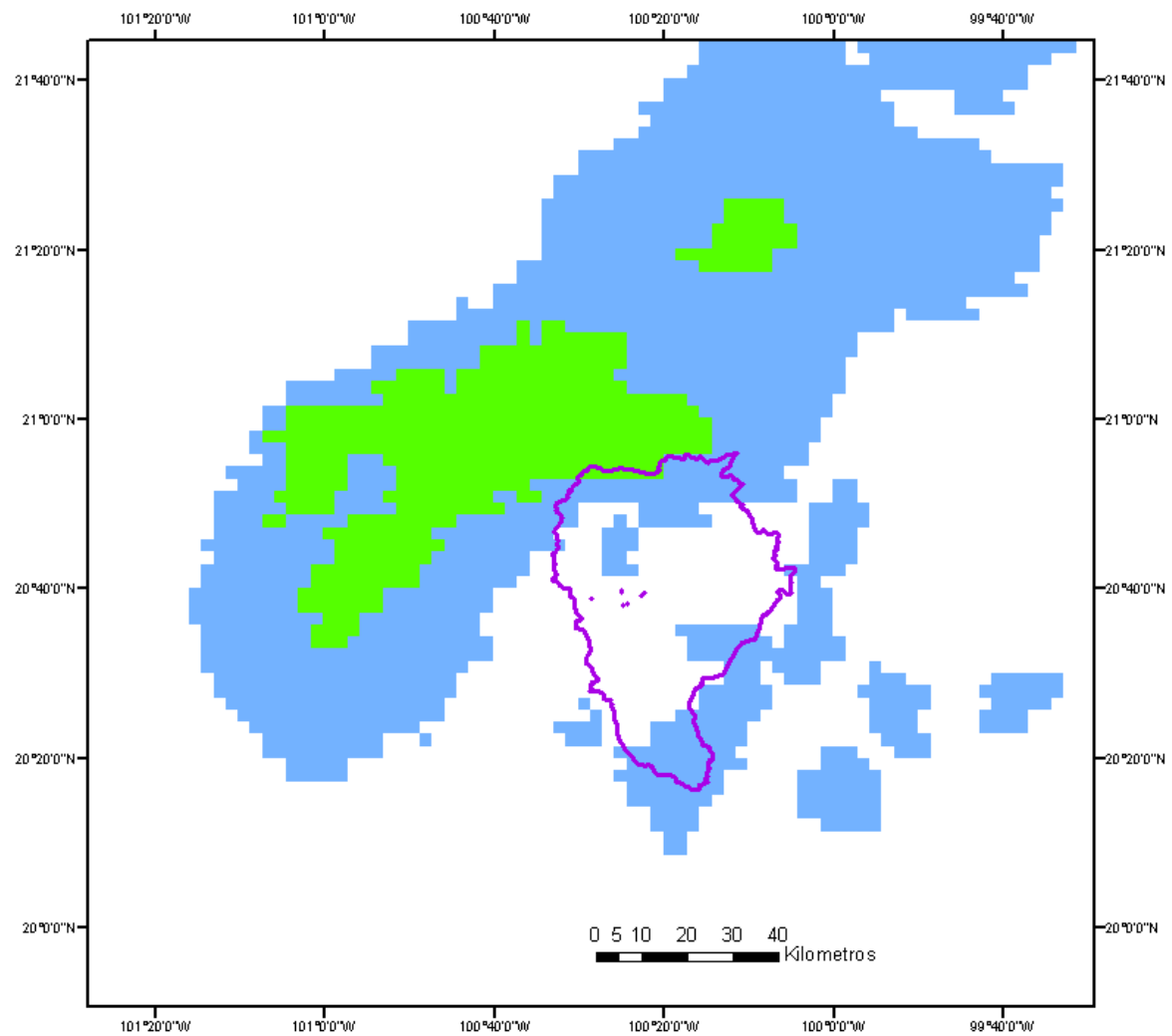
Fabiola Arellano y Alfonso Gutiérrez, 2009



SEGUIMIENTO DE SISTEMAS NUBOSOS



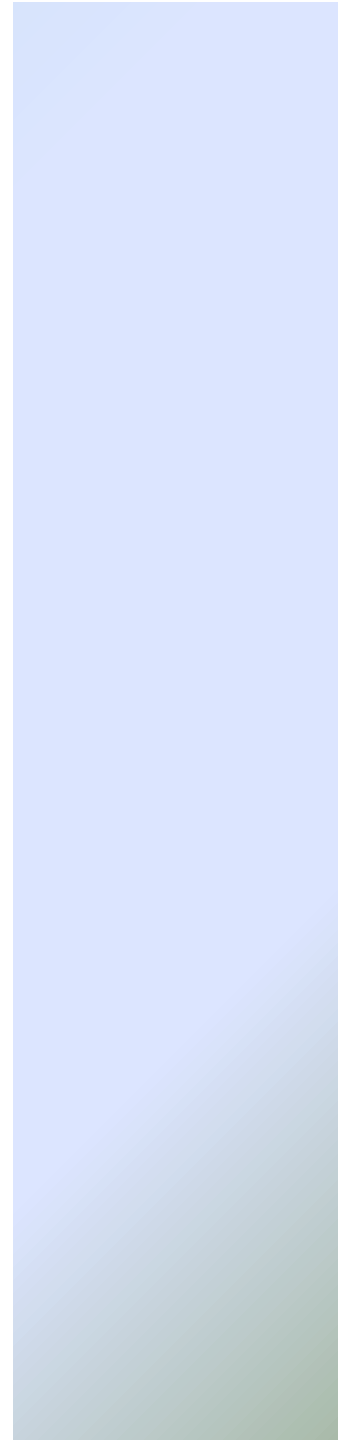
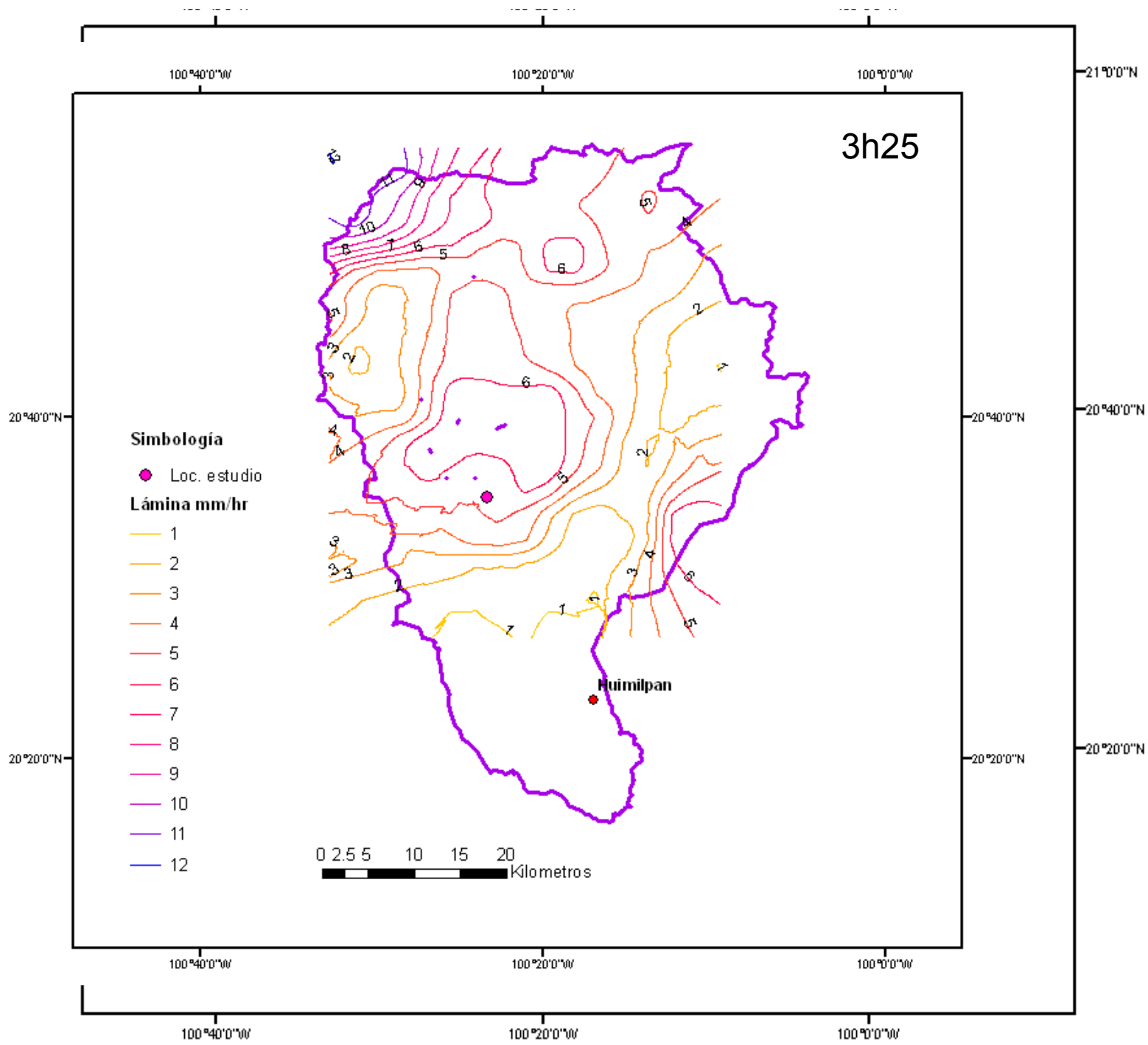
Cuenca del río Querétaro 29 de septiembre del 2004



Simbologia

Lluvia 0251h

- 0 - 5
- 5 - 20
- 20 - 70
- 70 - 150
- > 150





GRUPO DE TRABAJO

Alfonso Gutiérrez López

Coordinador Regional

Centro de Investigaciones del Agua, CIAQ

Universidad Autónoma de Querétaro

alfonso.gutierrez@uaq.mx

Julio Ordóñez

SENAMHI

Perú

Sadi Laporte M.

Instituto Costarricense de Electricidad

ICE, Costa Rica

Javier Mendoza

Instituto de Hidráulica e Hidrología,

UMSA, Bolivia

Carlos Paoli

Instituto Nacional del Agua, INA,

Argentina

Víctor Pérez

INSIVUMEH, Guatemala

Juan Carlos Bertoni

Universidad Nacional de Córdoba

Argentina

José Vargas Baecheler

Universidad de Concepción

Chile

Argelio Fernández

INRH, Cuba

Isaías Montoya

INETER, Nicaragua

Christian Euscategui

IDEAM, Colombia

Juan Chalas

INDRHI, Rep. Dominicana

Iniciativa Internacional sobre Inundaciones IFI, PHI, UNESCO

 <p>Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura</p>  <p>Programa Hidrológico Internacional</p>	 <p>Unesco.org Educación Ciencias Naturales Ciencias Sociales Cultura Comunicación e Información</p>	 <p>INICIO</p>
<p>Iniciativa Internacional sobre Inundaciones - IFI INICIATIVA INTERNACIONAL SOBRE INUNDACIONES - IFI / LAC</p>		
<p>► Sede y Coordinación Mundial</p> <ul style="list-style-type: none"> ▼ IFI / LAC ▼ IFI / México ▼ Serie técnica IFI / LAC ▼ Eventos ▼ Convocatorias ▼ Bases de datos ▼ Proyectos 	<p>En portada</p> <p>El Plan Estratégico para la Séptima Fase del PHI</p>  <p>continúa...</p> <p>Marzo 2009 Dentro del Plan Estratégico para la séptima fase del PHI (PHI-VII, 2008-2013), el estudio de los fenómenos hidrológicos extremos en zonas sensibles, es sin duda uno de los temas prioritarios en el marco de la gestión de los riesgos contra inundaciones. Con cursos de capacitación, reuniones temáticas y publicación de documentos técnicos, la IFI LAC contribuye a construir las capacidades para entender y responder de una manera eficiente ante las inundaciones, estimar la vulnerabilidad y potenciar los beneficios de la gestión de riesgos, en el ámbito de Latinoamérica y El Caribe. La capacitación que lleva a cabo la IFI LAC, inició en 2007 con un Curso-Taller sobre Vulnerabilidad y Gestión de Riesgos por Inundación, en el estado de Chiapas, México. Para 2008 y 2009 ya se han impartido tres cursos sobre Regionalización Hidrológica y Balances Hídricos. En noviembre de 2008 en el Laboratoire de Qualité de l'Eau et de l'Environnement de la Universidad Quisqueya, en Puerto Príncipe, Haití (instructor Alfonso Gutiérrez).</p>	<p>Sitios de interés</p> <ul style="list-style-type: none"> UNESCO PHI PHI LAC IFI INTERNACIONAL ICHARM UNU WWAP IAHS OMM UAQ FI UAQ POSGRADO FI UAQ CONAGUA CIRA IMTA SMN CONAMEXPHI <p>Contacto</p> <p>Dr. Alfonso Gutiérrez López Coordinador Regional IFI PHI LAC Investigador del Centro de Investigaciones del Agua, CIAQ,UAQ ifilacphi@uaq.mx</p>
<p>Envía este sitio a un amigo</p>	<p>Ultima actualización: 21 de junio del 2010</p>	<p>Créditos</p>

<http://www.ifilac.org/>



Centro de Investigaciones del Agua
Universidad Autónoma de Querétaro
Cerro de las Campanas, s/n Qro.
Col. Las Campanas 76010, México
Tel. +52 (442) 192 1200 ext. 6401
<http://ingenieria.uaq.mx/ciaq/>

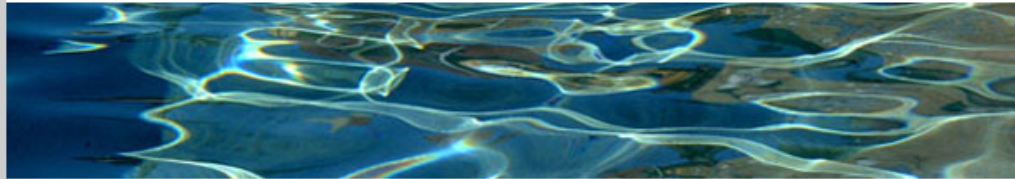


Centro de Investigaciones del Agua, CIAQ Facultad de Ingeniería, UAQ Universidad Autónoma de Querétaro



The image shows a screenshot of the CIAQ website. At the top, there is a header with the UAQ logo and the text 'UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO FACULTAD DE INGENIERÍA'. Below this is a banner image of water ripples. To the right of the banner is the CIAQ logo, which consists of a blue water drop with a green leaf-like shape below it, and the text 'CIAQ CENTRO DE INVESTIGACIONES DEL AGUA-QUERÉTARO'. Below the banner is a navigation menu with the following items: FACULTAD, LICENCIATURA, POSGRADO, ALUMNOS, BECAS, PUBLICACIONES, E. CONTINUA, and NOVEDADES. Below the navigation menu is a vertical sidebar menu with the following items: PRINCIPAL, ANTECEDENTES, MISIÓN Y VISIÓN, LINEAS DE INVESTIGACIÓN, OPERACIÓN, ACTIVIDADES, INFRAESTRUCTURA, HERRAMIENTAS COMPUTO, INTEGRANTES DEL CIAQ, CLIENTES, DIRECTORIO, and EVENTOS. The main content area features the CIAQ logo and the text 'CIAQ CENTRO DE INVESTIGACIONES DEL AGUA-QUERÉTARO'. Below the logo is the contact information: 'Universidad Autónoma de Querétaro, Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n C.P. 76010, Santiago de Querétaro, Qro. México, Tel. (442) 192 1200 Ext. 6401'.

<http://ingenieria.uaq.mx/ciaq>



HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES

- PRINCIPAL
- ANTECEDENTES
- MISIÓN Y VISIÓN
- LINEAS DE INVESTIGACIÓN
- OPERACIÓN
- ACTIVIDADES
- INFRAESTRUCTURA
- HERRAMIENTAS COMPUTACIONALES
- INTEGRANTES DEL CIAQ
- CLIENTES
- DIRECTORIO
- EVENTOS

Analizador de Tormentas TIPO

El archivo ha sido cargado correctamente.

Nombre del archivo: huimil.csv

Tamaño del archivo: 260.3 kb

70	01/07/2006	11:20	0.25
71	01/07/2006	11:30	0.25
		Duración 20 min	0.5
169	02/07/2006	03:50	0.25
170	02/07/2006	04:00	0.76
171	02/07/2006	04:10	0.51
172	02/07/2006	04:20	0.51
173	02/07/2006	04:30	0.25
174	02/07/2006	04:40	0.76
175	02/07/2006	04:50	0.76
176	02/07/2006	05:00	0.51
		Duración 80 min	4.31

Modulos

Curvas IDT

- 1.- Análisis de frecuencias
- 2.- Cuencas
- 3.- Series de Tiempo
- 4.- Curvas IDT
- 5.- Escurrimiento
- 6.- Interpolación
- 7.- Geoestadística
- 8.- Diseño de redes
- 9.- Regionalización
- 10.- Temas selectos

Version

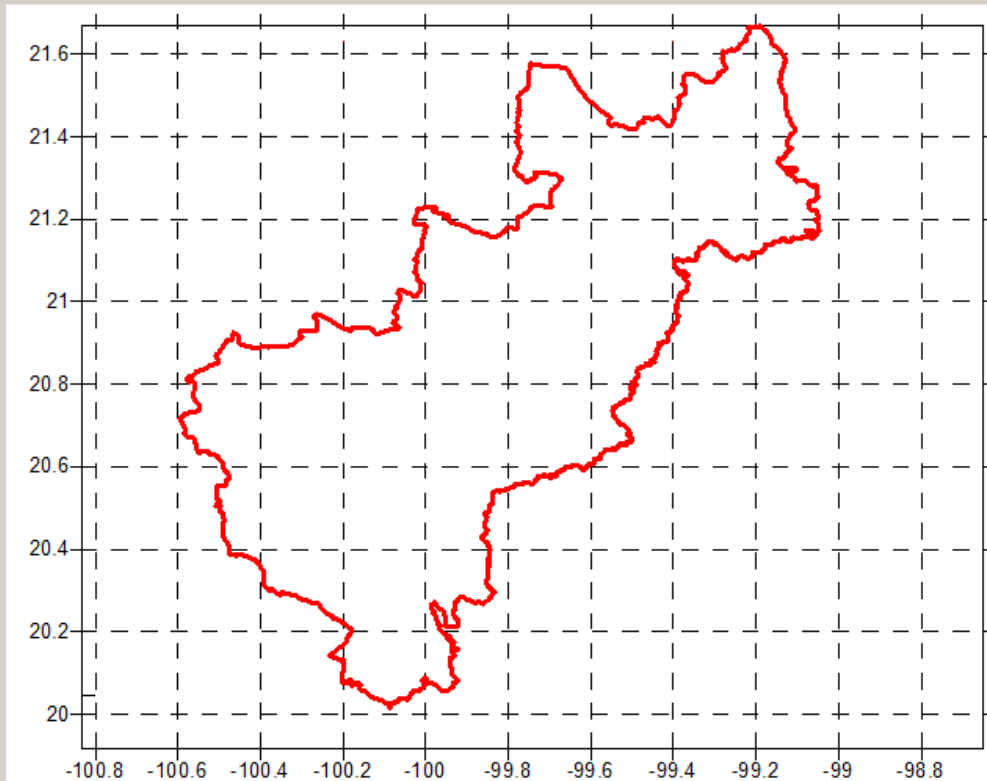
Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Centro de Investigación del Agua Querétaro

Idea Original Alfonso Guitierrez Lopez Ofelia Ocampo Ricardo Flores	Desarrollo Rafael E. Porrás Trejo
--	--





Instrucciones: Seleccione un estado, un periodo y la duración que desee del evento a pronosticar y mueva el mouse sobre el mapa para obtener la coordenada y se le mostrara el intencidad de lluvia



Estado:

Periodo de retorno (T)

- 10 años
- 25 años
- 50 años

Duración (d)

- 10 Minutos
- 30 Minutos
- 60 Minutos
- 120 Minutos
- 240 Minutos

Latitud

20.51964901

Longitud

-100.0615938

Valor de lluvia

123.1477692

Buscar y graficar IDT

Longitud

-100.0615938

Latitud

20.51964901

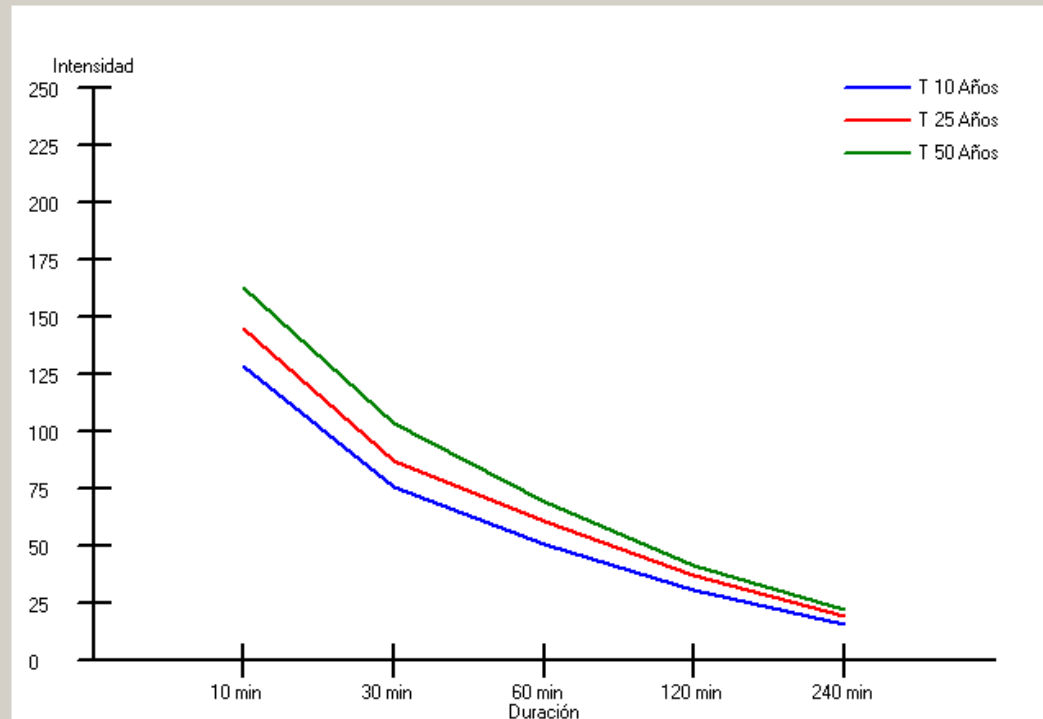
Buscar y Graficar

Informacion cargada...



Salir

Grafica IDT



Periodo de retorno (T)
10 años

Latitud

-100.0615938

10 min **127.8737853**

30 min **75.55545277**

Longitud

20.51964901

60 min **50.48427298**

120 min **30.35600106**

240 min **15.50810454**

Periodo de retorno (T)
25 años

10 min **144.855664**

30 min **87.05783084**

60 min **60.51195041**

120 min **36.59007752**

240 min **18.76072455**

Periodo de retorno (T)
50 años

10 min **162.3913162**

30 min **102.9404963**

60 min **69.16926971**

120 min **41.24714219**

240 min **21.59276985**

Graficar

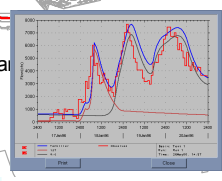
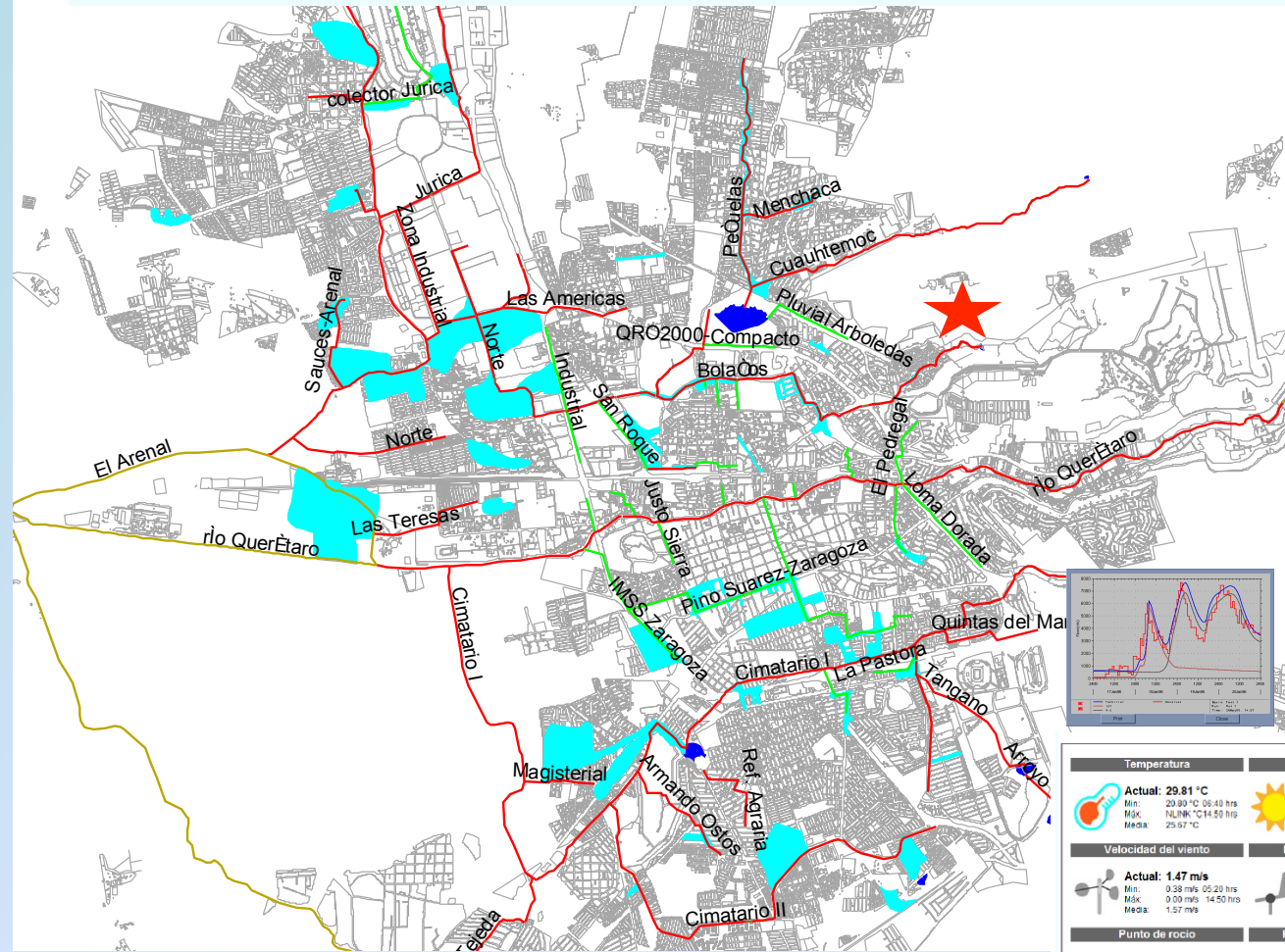
Salir



SISTEMA DE TELEMETRÍA











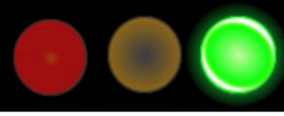
Latitud: 15° 01' 43.50
Longitud: 92° 14' 10.7



Temperatura <p>Actual: 29.81 °C Min: 20.89 °C 06:40 hrs Máx: 34.16 °C 14:50 hrs Med: 25.97 °C</p>	Radiación solar <p>Actual: 224.56 w/m² Acum: 29427.39 w/m²</p>	Precipitación pluvial <p>Actual: 88.13 mm Acum: 9925.34 mm</p>
Velocidad del viento <p>Actual: 1.47 m/s Min: 0.38 m/s 05:20 hrs Máx: 0.00 m/s 14:50 hrs Med: 1.57 m/s</p>	Dirección del viento <p>Actual: 355.9 °Azimut Dirección: Norte Dirección del máx: NULINK *Azimut viento</p>	Humedad Relativa <p>Actual: 62.54 % Min: 44.49 % 13:00 hrs Máx: 0.00 % 14:50 hrs Med: 75.85 %</p>
Punto de rocío <p>Actual: 21.83 °C Min: 18.99 °C 13:00 hrs Máx: 0.00 °C 14:50 hrs Med: 20.77 °C</p>	Presión barométrica <p>Actual: 1160.65 hPa Min: 1160.11 hPa 14:50 hrs Máx: 0.00 hPa 14:50 hrs Med: 1163.29 hPa</p>	Energía de la estación <p>Actual: 100 %</p>

El último reporte fue transmitido el día :
 undefined 01 de Noviembre del 2010 a las 23:20 hrs GMT-6

Latitud: 15° 12' 50.77" N
 Longitud: 92° 21' 57.20" O

Temperatura  Actual: 20.26 °C Min: 18.87 °C 02:30 hrs Máx: 23.52 °C 09:20 hrs Media: 20.78 °C	Radiación solar  Actual: 0.00 w/m² Acum: 29970.63 w/m ²	Precipitación pluvial  Actual: 0.00 mm Acum: 0.00 mm
Velocidad del viento  Actual: 0.01 m/s Min: 0.00 m/s 22:50 hrs Máx: 0.21 m/s 15:30 hrs Media: 0.02 m/s	Dirección del viento  Actual: 144.1 °Azimut Dirección: Sureste Dirección máx viento: 233.90 °Azimut	Humedad Relativa  Actual: 65.53 % Min: 50.30 % 09:20 hrs Máx: 94.52 % 18:50 hrs Media: 68.14 %
Punto de rocío  Actual: 13.60 °C Min: 11.99 °C 20:40 hrs Máx: 19.32 °C 18:00 hrs Media: 14.62 °C	Presión barométrica  Actual: 880.29 hPa Min: 877.80 hPa 18:20 hrs Máx: 880.90 hPa 10:30 hrs Media: 879.11 hPa	Semaforo de alerta 

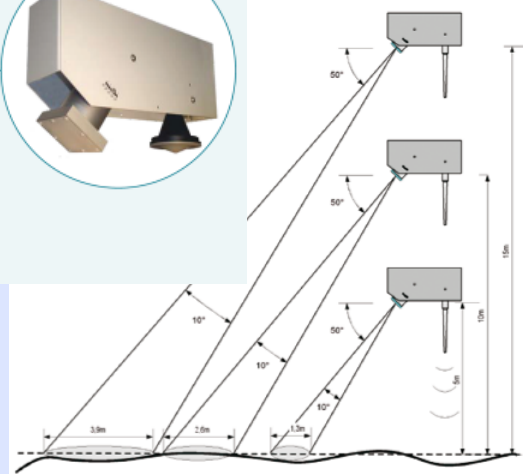


La página se actualiza automáticamente cada 10 min.



RQ-24

Non-contact measurement of discharge



Laboratorio de Hidroinformática LHIQ en colaboración con el Centro Internacional de Hidroinformática, CIH UNESCO Brasil-Paraguay



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN **ia**

FACULTAD LICENCIATURA POSGRADO ALUMNOS BECAS PUBLICACIONES E. CONTINUA NOVEDADES

PRINCIPAL

INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN

Programa Educativo Acreditado por el CACEI (Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A.C.)

Programa Educativo Evaluado en el Nivel 1 del CIEES (Comités Interinstitucionales para la Evaluación de la Educación Superior)



**FELICIDADES A LA
COMUNIDAD DE INGENIERÍA**

La Licenciatura de Ingeniería en Automatización de nuestra facultad recibió la **ACREDITACIÓN del CACEI*** por un período de CINCO AÑOS a partir del 10 de Agosto de 2007, siendo el único Programa del área de Mecatrónica y Automatización acreditado en el estado de Querétaro.

*Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería, A.C.

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA EN AUTOMATIZACIÓN
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO **ia**



home | admin | contato

CIH Centro Internacional de Hidroinformática

El CIH | Misión y Visión | Plan de Trabajo | UNESCO y CIH | Administración | Proyectos | Downloads

Apoyos

ITAIPU BINACIONAL

PTI

United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization

International Hydrological Programme

Reconstrução do Haiti

Cícero Bley Jr, coordenador do CIH, acompanha projeto de reconstrução do Haiti.

Confira nos links abaixo artigos e materiais relacionados:

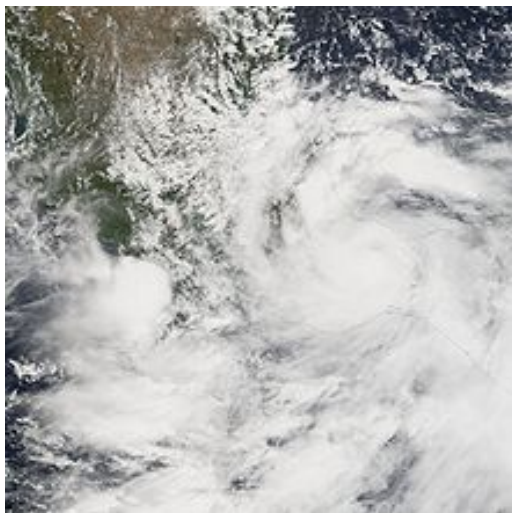
- Impressões sobre o Haiti
- Matéria do Jornal Itaipu
- Arquivos disponíveis no site do Observatório de Energias Renováveis para América Latina e o Caribe

UNESCO/Programa Hidrológico Internacional - LAC - Programas Transversales

HELP FRIEND ISARM ISI GRAPHIC

<http://www.uaq.mx/ingenieria/>

ACTIVIDADES 2012-2013



- Envolventes de precipitaciones máximas en la región de Latinoamérica y el Caribe.

-Regionalización de intensidades en Cuba, Bolivia, Perú, República Dominicana, México, Argentina, Nicaragua, Guatemala y Costa Rica.

-Cartografía de mapas de riesgos en la costa México-Guatemala.

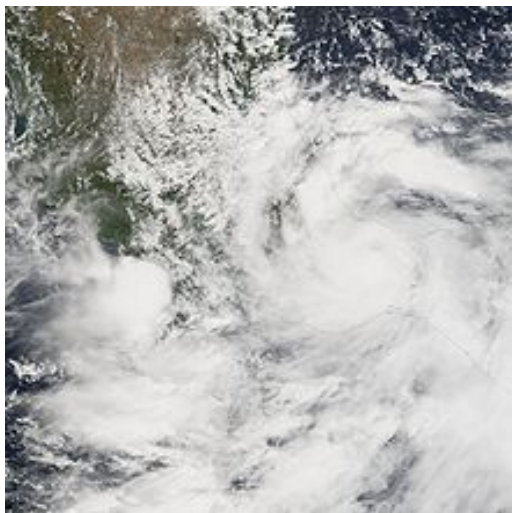
-Registro de las principales inundaciones ocurridas en la región de Latinoamérica y el Caribe.



Centro de Investigaciones del Agua Querétaro
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro



ACTIVIDADES 2012-2013



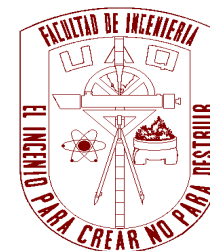
- Web Radio Agua - IFI, en coordinación con el Centro Internacional de Hidroinformática Paraguay-Brasil.

- Estudio sobre las características de las precipitaciones de alta montaña (México-Bolivia).

- Reconstrucción de los registros pluviométricos y análisis espacial de la precipitación en Haití.

- 20 buenas prácticas de manejo de aguas pluviales (ANEAS).

- Análisis de tormentas tipo en la ciudad de Querétaro (CEA-ANEAS).



Centro de Investigaciones del Agua Querétaro
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro

ACTIVIDADES 2012-2013



- Análisis forense de inundaciones (ANPC - Tecnológico de Monterrey).

- Estimación de curvas IDT en función de variables espaciales (Pizarro-Gutiérrez).

- Maestría (Doctorado) en Ecohidrología (septiembre, 2012)
La Plata-Quisqueya-Querétaro

- Cátedra Unesco sobre desastres para México (2012-2013)

- Acoplar sistemas de alertamiento, con datos de radar.



Centro de Investigaciones del Agua Querétaro
Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro



Gracias por su atención . . .

“El agua, Origen de la Vida”. Diego Rivera 1951.
Depósito de agua potable. Parque de Chapultepec, México.