

El mundo después de París:
construyendo el futuro

17-21 OCTUBRE 2016



6^{to} Congreso Nacional
de Investigación en
Cambio Climático



**Nombre: Jesús López
de la Cruz**

**Sede Regional: Centro
Occidente, Universidad
de Colima**

**Fecha: 20 de Octubre
del 2016**



La hipótesis de estacionaridad en la frecuencia de crecidas en México, ¿Necesidad de un cambio de Paradigma?

Presenta: Dr. Jesús López de la Cruz

Colima, 04 de Mayo 2016



Fenómenos hidrometeorológicos extremos

Existen dos fenómenos hidrometeorológicos extremos de importante interés para la hidrología:

- Crecidas
- Sequías



¿En que yace el interés por el estudio de estos fenómenos?

Por su impacto en los ámbitos social, ambiental y económico.



Análisis de Frecuencia de Crecidas

Análisis de Frecuencia de Crecidas (AFC) es la herramienta más ampliamente utilizada en el mundo en el estudio de las crecidas.

AFC vincula la **magnitud** de las crecidas con su **frecuencia** de ocurrencia a través de distribuciones de probabilidad.

Hipótesis en el AFC:

Las series temporales deben ser independientes e idénticamente distribuidas (i.i.d.)

¡La hipótesis de estacionaridad ha sido la piedra angular en el AFC!



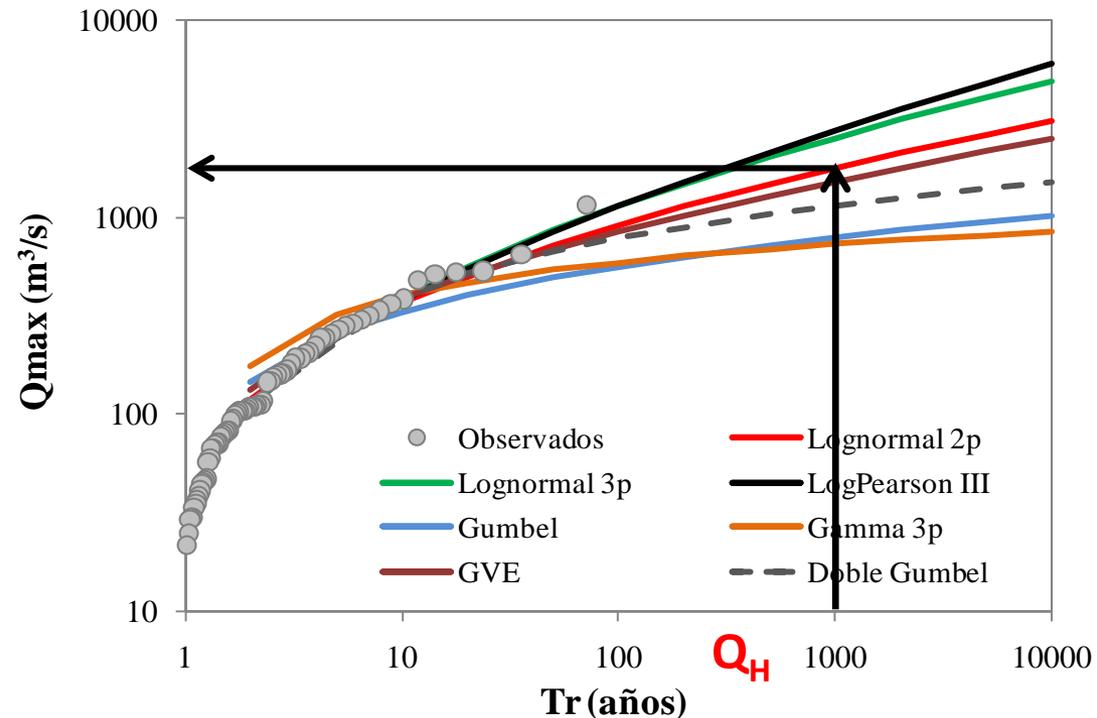
Hemos asumido que cambios en el tiempo debido a las **actividades humanas** o **procesos naturales** no alteran la frecuencia de los eventos.



Análisis de Frecuencia de Crecidas

- Objeto del estudio hidrológico
- Método del análisis de frecuencias (estadístico)
- Se incorpora el concepto de periodo de retorno

- Estación Hidrométrica
- Gatos máximos anuales





La hipótesis de estacionaridad

- En el análisis de frecuencia, los datos deben generalmente ser independientes e idénticamente distribuidos (iid), lo que implica que deben cumplir con los criterios estadísticos de independencia, homogeneidad y estacionaridad
- Toda la **infraestructura** hídrica ha sido diseñada bajo el supuesto de un **mundo estacionario**
- En realidad, la distribución de probabilidad de eventos extremos puede cambiar con el tiempo  **forzamiento de la variabilidad climática natural y la intensificación de las actividades antropogénicas**
- Necesidad de emplear modelos estadísticos capaces de reproducir la variación temporal de los parámetros de las funciones de distribución de probabilidad

En los últimos años las investigaciones en el AFC se han centrado de manera dominante en modelar la frecuencia de crecidas en un contexto **no estacionario**



La hipótesis de estacionaridad

“Stationary is dead.....cannot be reviewed”

Milly *et al* 2008

POLICYFORUM

CLIMATE CHANGE

Stationarity Is Dead: Whither Water Management?

P. C. D. Milly,^{1*} Julio Betancourt,² Malin Falkenmark,³ Robert M. Hirsch,⁴ Zbigniew W. Kundzewicz,⁵ Dennis P. Lettenmaier,⁶ Ronald J. Stouffer⁷

Systems for management of water throughout the developed world have been designed and operated under the assumption of stationarity. Stationarity—the idea that natural systems fluctuate within an unchanging envelope of variability—is a foundational concept that permeates training and practice in water-resource engineering. It



that has emerged from climate models (see figure, p. 574).

Why now? That anthropogenic climate change affects the water cycle (9) and water supply (10) is not a new finding. Nevertheless, sensible objections to discarding stationarity have been raised. For a time, hydroclimate had not demonstrably exited the envelope of natu-

Climate change undermines a basic assumption that historically has facilitated management of water supplies, demands, and risks.

En los últimos años las investigaciones en el AFC se han centrado de manera dominante en modelar la frecuencia de crecidas en un contexto **no estacionario**

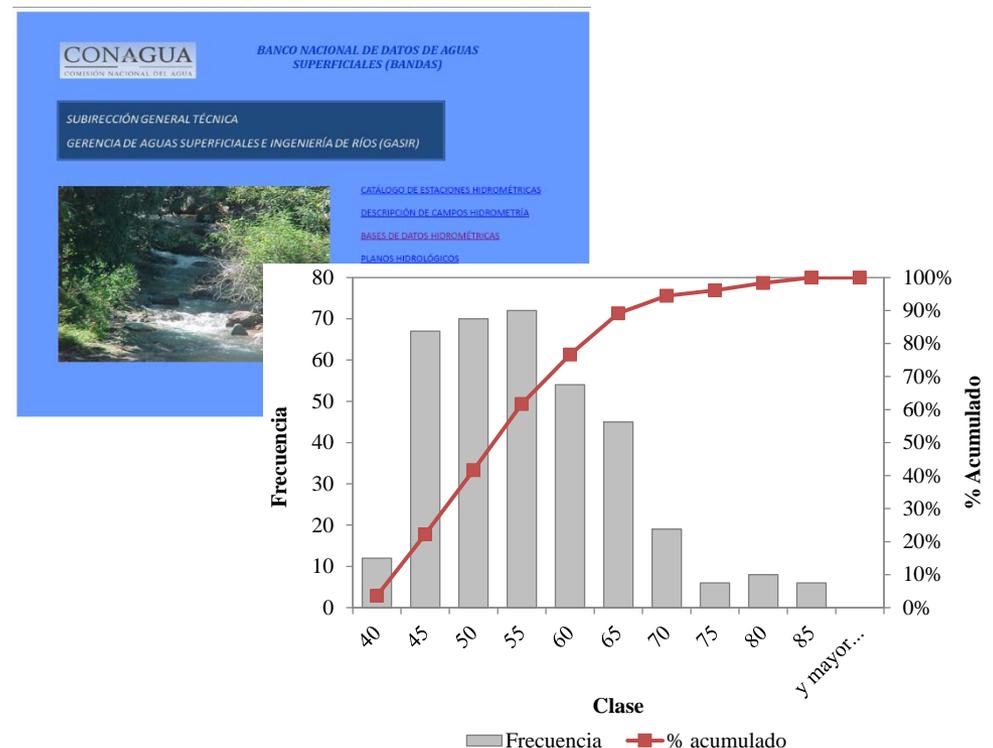


Datos

La base de datos consultada es el BANDAS (Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales) la cual es administrada por la Comisión Nacional del Agua y la información es de libre acceso.

- Longitudes de registro mayores o iguales a 40 años
- Caudales máximos instantáneos
- Máximo anual en el años hidrológicos (junio – mayo)

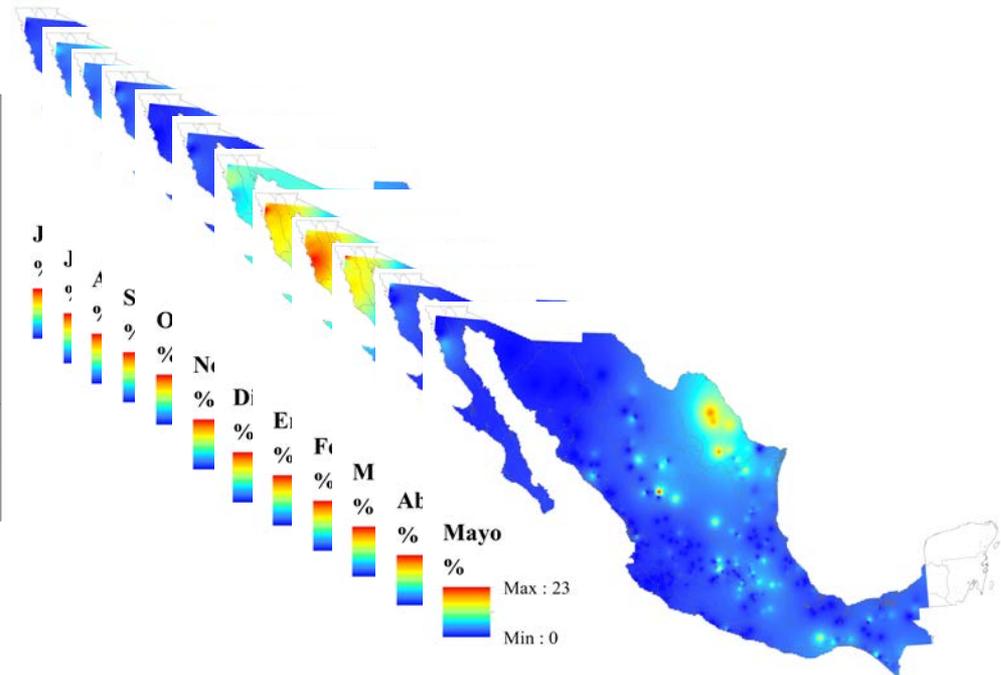
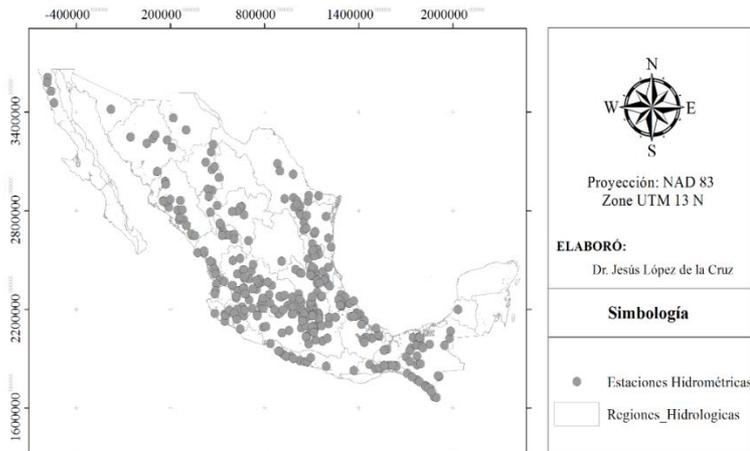
359 estaciones hidrométricas





Distribución estacional de las crecidas máximas anuales

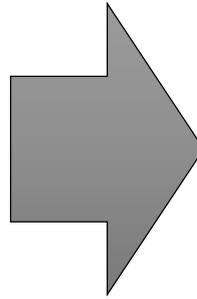
La distribución estacional de las crecidas máximas en los ríos de estudio está marcada por una importante heterogeneidad especial.





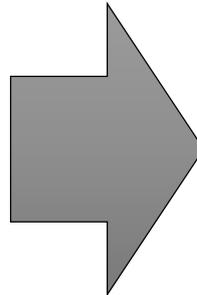
Test estadísticos

Cambios bruscos



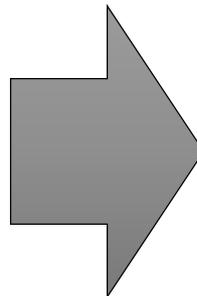
Test de Pettitt

Tendencias



Test de Mann-Kendall

Dependencia en los
parámetros de la
distribución con respecto al
tiempo



Modelos GAMLSS



Modelos GAMLSS

Son paramétricos, dado que requieren asumir una distribución paramétrica para la distribución de la variable de respuesta, mientras que el enfoque semi-paramétrico se tiene en el sentido de que la modelización de los parámetros de las funciones de distribución, en función de variables explicativas, puede implicar funciones de suavizado no paramétricas.

Los modelos GAMLSS se encuentran implementados en la plataforma R.

$$g_k(\theta_k) = X_k \beta_k + \sum_{j=1}^{J_k} h_{jk}(x_{jk})$$

$$g_k(\theta_k) = X_k \beta_k$$

$$g_k(\theta_k) = \text{contantes}$$



Modelos GAMLSS

Distribución	Función de densidad de probabilidad	Momento de la distribución
Lognormal	$f_y(y \theta_1, \theta_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\theta_2}} \frac{1}{y} \exp\left\{-\frac{[\log(y) - \theta_1]^2}{2\theta_2^2}\right\}$ $y > 0, \theta_1 > 0, \theta_2 > 0$	$E[Y] = \omega^{1/2} e^{\theta_1}$ $Var[Y] = \omega(\omega - 1) e^{2\theta_1}$
Gumbel	$f_y(y \theta_1, \theta_2) = \frac{1}{\theta_2} \exp\left\{-\left(\frac{y - \theta_1}{\theta_2}\right) - \exp\left[-\left(\frac{y - \theta_1}{\theta_2}\right)\right]\right\}$ $-\infty < y < \infty, -\infty < \theta_1 < \infty, \theta_2 > 0$	$E[Y] = \theta_1 + \gamma\theta_2 \cong \theta_1 + 0.57722 \theta_2$ $Var[Y] = \pi^2\theta_2^2/6 \cong 1.64493\theta_2^2$

Funciones de distribución de dos parámetros.

Ampliamente utilizadas en la modelación de eventos extremos (sesgo a la izquierda).



Modelos GAMLSS

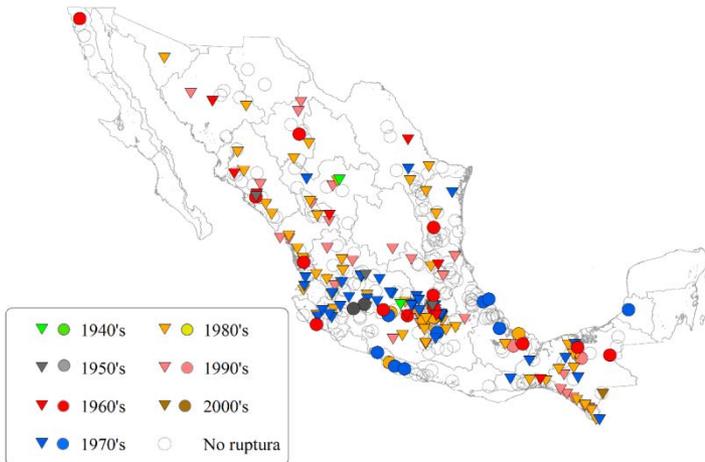
Modelos estadísticos propuestos para evaluar la dependencia de los parámetros respecto del tiempo

Modelo	θ_1	θ_2
Modelo 0: Estacionario	Constante	Constante
Modelo 1: No estacionario	Constante	Lineal
Modelo 2: No estacionario	Constante	Splines Cubicas 1
Modelo 3: No estacionario	Lineal	Constante
Modelo 4: No estacionario	Lineal	Lineal
Modelo 5: No estacionario	Lineal	Splines Cubicas 1
Modelo 6: No estacionario	Splines Cubicas 1	Constante
Modelo 7: No estacionario	Splines Cubicas 1	Lineal
Modelo 8: No estacionario	Splines Cubicas 2	Splines Cubicas 1
Modelo 9: No estacionario	Splines Cubicas 2	Splines Cubicas 2
Modelo 10: No estacionario	Splines Cubicas 1	Splines Cubicas 1
Modelo 11: No estacionario	Splines Cubicas	Lineal
Modelo 12: No estacionario	Lineal	Splines Cubicas 1



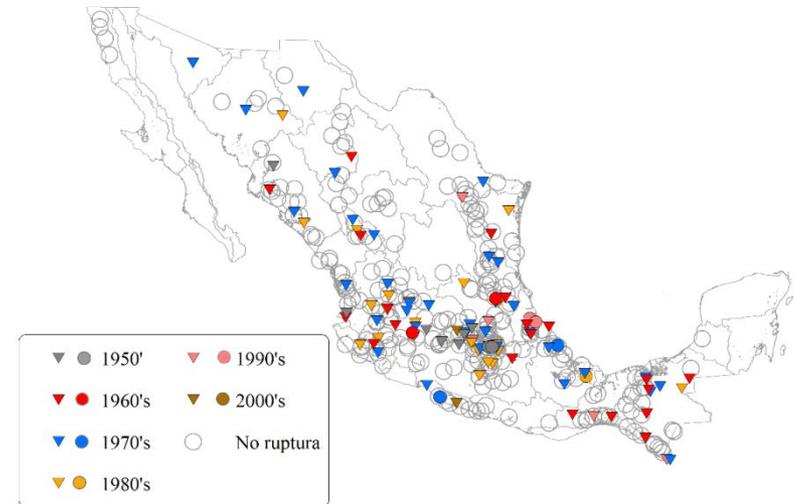
Resultados

Análisis de rupturas



Media

Varianza



* Estadísticamente significativas para $\alpha = 0.05$



Resultados

Análisis de tendencias



Media



* Estadísticamente significativas para $\alpha = 0.05$



Resultados

Análisis de tendencias antes y después de la ruptura

Media



* Estadísticamente significativas para $\alpha = 0.05$



Resultados

Análisis de tendencias antes y después de la ruptura

Varianza



* Estadísticamente significativas para $\alpha = 0.05$



Resultados

Modelación con GAMLSS

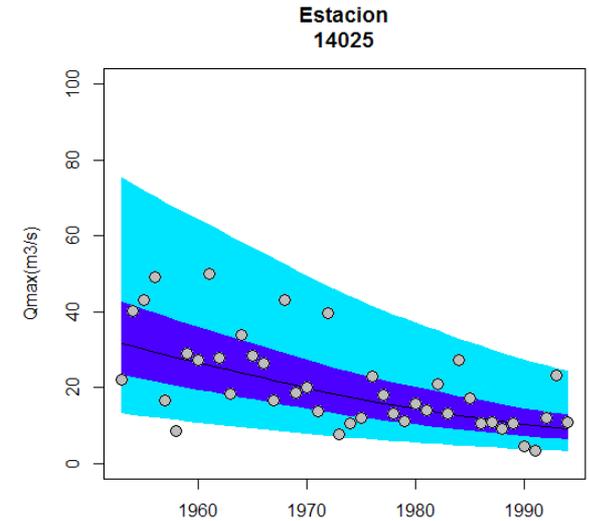
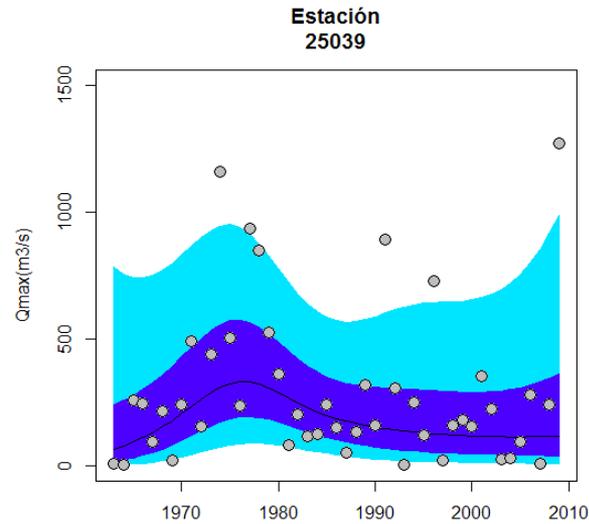
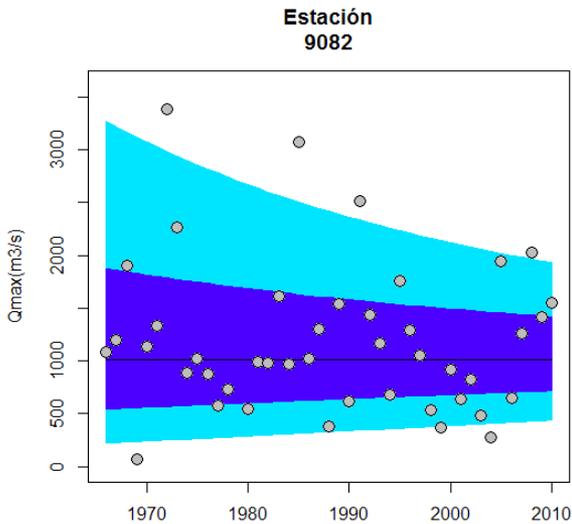
Modelo	Número de estaciones	Estacionario	No estacionaridad en θ_1	No estacionaridad en θ_2	No estacionaridad en θ_1 y θ_2
0	42	X	---	---	---
1	16	---	---	X	---
2	45	---	---	X	---
3	31	---	X	---	---
4	14	---	---	---	X
5	42	---	---	---	X
6	61	---	X	---	---
7	25	---	---	---	X
8	13	---	---	---	X
9	51	---	---	---	X
10	5	---	---	---	X
11	9	---	---	---	X
12	5	---	---	---	X

- ❑ 11% no presentan dependencia en los parámetros respecto del tiempo
- ❑ 26% experimentan una dependencia en la media
- ❑ 17% experimentan dependencia en la varianza
- ❑ 45% dependencia temporal en la media y la varianza



Resultados

Modelación con GAMLSS

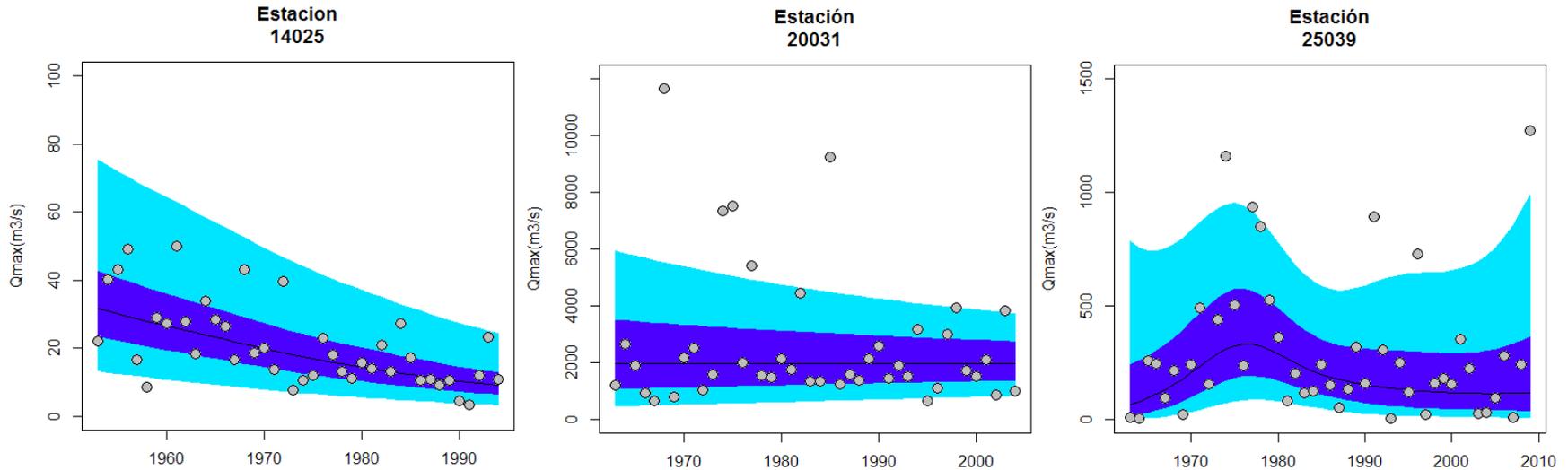


Cuantiles del 5%, 25%, 50%, 75% y 90%, los círculos grises indican los eventos observados.



Resultados

Modelación con GAMLSS



Cuantiles del 5%, 25%, 50%, 75% y 90%, los círculos grises indican los eventos observados.



Conclusiones

Se identificó que las series de crecidas experimentan diversos tipos de no estacionaridad (tendencias, cambios abruptos o una combinación de ambas), en los momentos estadísticos.

Evaluar la hipótesis de estacionaridad desde un enfoque más regional proporciona más solidez a los resultados ya que permite observar la presencia de coherencia en los resultados observados.

La presencia de no estacionaridad en las series se pueden vincular a diferentes factores, entre los que se pueden mencionar las obras de regulación en los cauces, los cambios de uso de suelo y fenómenos macroclimáticos.



Conclusiones

Los modelos GAMLSS mostraron la suficiente flexibilidad para abordar la modelación de los regímenes de crecidas en un contexto no estacionario, así como la capacidad de modelar la dependencia de los parámetros de las distribuciones con respecto a las tendencias temporales.

Los tipos de no estacionaridad observados ponen en evidencia la presencia de cambios bruscos y tendencias temporales. Sin embargo, estos son cambios que deben considerarse como recientes, por lo que cabe preguntarse si las longitudes analizadas se extendieran a 100 o más años, si estas tendencias permanecerían o habría un cambio en el signo de la tendencia o desaparecería dicha tendencia.



Conclusiones

Es necesario desarrollar e implementar nuevas metodologías que permitan incorporar la dinámica de la naturaleza en el análisis de frecuencias de crecidas.

El análisis de frecuencias en un contexto no estacionario permitirá proporcionar a los tomadores de decisiones mayor información.



¡Gracias por su atención!

Jesús López de la Cruz
jlopez71@ucol.mx



Facultad de Ingeniería Civil
Universidad de Colima

Colima, 04 de Mayo 2016