

VERIFICACIÓN DE LAS DOS SUBREGIONES DEL BAJO RÍO PÁNUCO, A TRAVÉS DE ÍNDICES DE ESTACIONALIDAD Y PRUEBA ESTADÍSTICA ELEMENTAL

Daniel Francisco Campos Aranda
Profesor Jubilado de la UASLP
campos_aranda@hotmail.com

Resumen

Las *crecientes de diseño* permiten el dimensionamiento y/o la revisión de todo tipo de obra hidráulica, por ello son la estimación hidrológica más frecuente. Su mejor aproximación se logra procesando probabilísticamente el registro de gasto máximo anual. La escasez generalizada en los sitios de interés de los registros citados ha conducido al manejo regional de la información disponible, a través de los llamados *métodos regionales* del análisis de frecuencia de crecientes. Tales métodos requieren del establecimiento de una *región homogénea*, es decir, de la definición de un grupo de registros que tienen similitud estadística y que por ello son semejantes desde un punto de vista hidrológico. La similitud citada también se puede buscar con base en las características temporales de las crecientes como son sus fechas de ocurrencia, incluso a través de las propiedades fisiográficas de las cuencas de cada estación hidrométrica. En este trabajo, se procesaron los registros de gasto máximo anual y sus respectivas fechas de ocurrencia de 36 estaciones hidrométricas de la subregión del Bajo Río Pánuco de la Región Hidrológica No. 26 Parcial, que incluye los ríos Tempoal, Moctezuma, Tampaón y Guayalejo o Tamesí. De inicio se aplicó la *prueba de Discordancias* basada en los cocientes de momentos L , detectando varios registros anómalos. Después se calcularon dos *índices de estacionalidad* en cada registro, el día medio de las crecientes (DMC) y el asociado a la regularidad de ocurrencias (\bar{r}), el contraste de los valores obtenidos en la subregión del Bajo Río Pánuco y del Río Guayalejo, estableció que tales subregiones son independientes, debido a que presentan DMC y valores de \bar{r} diferentes. Los valores dispersos de los índices de estacionalidad proceden de los registros encontrados anómalos, por lo cual el análisis de estacionalidad de las crecientes ratifica los resultados de la prueba de Discordancias. En seguida, se aplicó la *prueba del rango regional normalizado* la cual permitió verificar la conveniencia estadística de la división en las dos subregiones citadas. Para las tres técnicas regionales utilizadas, se presentan sus ecuaciones y se describe con detalle su aplicación. Por último, se formulan las conclusiones las cuales resumen los resultados y sugieren la aplicación de los análisis realizados antes del procesamiento de los registros disponibles de gasto máximo anual con métodos regionales.

Palabras clave: momentos L , cocientes L , discordancias, día medio de las crecientes, dispersión de las crecientes, coeficiente de variación, rango regional normalizado, Río Guayalejo o Tamesí, Río Pánuco.

INTRODUCCIÓN.

Las *crecientes de diseño*, también denominadas *avenidas máximas*, son estimaciones del gasto máximo anual de un río o arroyo asociadas a una cierta probabilidad de excedencia, cuyo

recíproco es el periodo de retorno o intervalo promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor. Esta estimación hidrológica es la más frecuente, debido a que las crecientes de diseño permiten la planeación y el dimensionamiento de todas las obras hidráulicas que van a construirse y la revisión de la seguridad asociada a las que ya están operando.

El análisis de frecuencia de crecientes (AFC) es el método más exacto para obtener la estimación citada y consiste en el ajuste de un modelo probabilístico al registro de gastos máximos anuales para realizar las inferencias buscadas o *predicciones*. La escasez generalizada de tales registros en los sitios de interés ha conducido al desarrollo de los llamados *métodos regionales* del AFC.

Estos métodos utilizan toda la información de gastos máximos anuales disponible en una región o zona geográfica que puede ser considerada homogénea desde un punto de vista hidrológico y por ello sus resultados son aplicables en cualquier sitio o cuenca sin aforos ubicada dentro de tal región. Por lo anterior, los métodos regionales implican dos operaciones básicas: la primera es la definición de la región homogénea y la segunda es la aplicación del procedimiento específico que conjunta la información y conduce a las predicciones buscadas (Cunnane, 1988; GREHYS, 1996a; Hosking & Wallis, 1997; Escalante y Reyes, 2002; Campos, 2007, 2012). Se ha llegado a concluir (Ouarda *et al.*, 2001) que el establecimiento de la región homogénea es esencial para alcanzar predicciones confiables, ya que los diferentes enfoques de procesamiento de la información conducen a resultados similares (GREHYS, 1996b).

El *objetivo* de este trabajo consiste en exponer brevemente los procedimientos más simples que permiten detectar que registros de gasto máximo anual deben ser eliminados o separados del subconjunto que forma una región hidrológicamente homogénea. Estas técnicas son: (1) el análisis de discordancias, (2) los índices de estacionalidad y (3) la prueba del rango regional normalizado. Los métodos anteriores se aplicaron a los 36 registros de gasto máximo anual disponibles en las estaciones hidrométricas de la cuenca del Bajo Río Pánuco que corresponde a la Región Hidrológica No. 26 parcial. Los resultados permitieron verificar la presencia de dos subregiones, la del río Pánuco y la del río Guayalejo o Tamesí; además establecen los registros que las integran, después de eliminar los no similares con el resto.

DESARROLLO.

Información hidrométrica procesada.

La Región Hidrológica No. 26 (Pánuco) es una de las más grandes del país, tiene un desarrollo aproximado en línea recta de norte a sur de 540 km y de este a oeste de 370 km; abarca desde la latitud de la ciudad de Puebla (19° 03' N.) hasta más al norte de ciudad Victoria, Tamaulipas (23° 55' N.). En esta región se han definido tres subregiones: (1) el Alto Pánuco que incluye al sur a la cuenca cerrada del Valle de México y al norte al área drenada por la Laguna de Metztlán y a otras cuencas que llegan aproximadamente hasta la latitud 23° 35' N.; (2) el Bajo Pánuco que está formado por los ríos Tempoal, Moctezuma y Tampaón, los dos primeros drenan de manera aproximada de sur a norte y el tercero de oeste a este; y (3) el Río Guayalejo o Tamesí, que fluye de norte a sur y se une al Pánuco cerca de su desembocadura, junto a la ciudad de Tampico, Tamaulipas.

Todos los registros hidrométricos procesados proceden del sistema BANDAS (IMTA, 2002), obtenidos bajo el formato de “gastos máximos anuales” que incluye los datos siguientes: año, mes, día, hora, gasto máximo (m³/s) y lectura de escala (m). En las primeras cinco columnas del Cuadro 1 se tienen las características generales de las 36 estaciones hidrométricas procesadas expuestas en orden creciente de tamaño de cuenca, en cada una de las dos subregiones: 26 del Bajo río Pánuco y 10 del río Tamesí. Se observa que los registros disponibles varían de 15 a 64 años en la primera subregión y de 21 a 60 en la segunda.

Revisión de datos mediante Discordancias.

Antes de aplicar los métodos regionales del AFC, se debe verificar que los gastos máximos anuales disponibles no presenten anomalías importantes. Por suerte, los valores erróneos, los eventos dispersos (*outliers*), la tendencia y los saltos o cambios en la media de los datos, son reflejados en los momentos L del registro. Por ello, una mezcla conveniente de los cocientes L en un solo estadístico (D_i) que mida la *discordancia* entre los cocientes L del registro analizado y los promedio de grupo, se ha sugerido como prueba básica para detectar sitios que son discordantes con el grupo como un todo (Hosking & Wallis, 1997). Esta prueba ha sido aplicada en varias subregiones de México por Campos (2010).

Las ecuaciones para la estimación muestral de los momentos L y sus cocientes se resumen a continuación (Stedinger *et al.*, 1993; Hosking & Wallis, 1997; Escalante y Reyes, 2002 y Campos, 2010). En una muestra de tamaño n , ordenada de menor a mayor ($x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$) los estimadores muestrales insesgados de los momentos de probabilidad pesada β_r son:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad (1)$$

$$b_1 = \frac{1}{n} \sum_{j=2}^n \frac{(j-1)}{(n-1)} x_j \quad (2)$$

$$b_2 = \frac{1}{n} \sum_{j=3}^n \frac{(j-1)(j-2)}{(n-1)(n-2)} x_j \quad (3)$$

con la expresión general siguiente:

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-r)}{(n-1)(n-2)\dots(n-r)} x_j \quad (4)$$

Los momentos L son las combinaciones lineales siguientes:

Cuadro 1. Características generales, parámetros estadísticos e índices de estacionalidad del gasto máximo anual en las 36 estaciones hidrométricas indicadas de la Región Hidrológica No. 26 Parcial (Bajo Río Pánuco).

Características generales:					Parámetros Estadísticos:					Estacionalidad:	
No.	Estación:	Clave BANDAS	A (km ²)	Años de registro (disponibles)	Q_{ma} (m ³ /s)	C_v	τ_2	τ_3	τ_4	DMC	\bar{r}
1	El Choy	26278	12.0	1960–1991 (32)	94.4	0.443	0.2553	0.0063	0.1184	Ago. 15	0.762
2	Tamasopo	26431	20.3	1972–2002 (15)	120.5	0.370	0.2132	0.0046	0.1297	Jul. 10	0.538
3	Ballesmi	26241	194.0	1973–2002 (28)	245.9	0.560	0.3065	0.2181	0.1556	Ago. 29	0.773
4	Agua Buena	26430	262.5	1973–2002 (28)	102.7	0.412	0.2332	0.0847	0.1712	Ago. 21	0.812
5	Tancuilín	26291	321.0	1961–2002 (39)	568.7	0.717	0.3594	0.3500	0.2523	Sep. 5	0.759
6	El Cardón	26286	609.0	1961–2002 (39)	508.5	0.629	0.3330	0.3195	0.1708	Ago. 30	0.669
7	Requetemu	26243	661.0	1961–2002 (39)	1010.5	0.548	0.2932	0.2761	0.1545	Sep. 12	0.740
8	Gallinas	26267	789.0	1959–2002 (44)	348.1	0.471	0.2532	0.2551	0.1712	Ago. 19	0.804
9	El Salto	26030	900.0	1930–2002 (64)	60.8	0.463	0.2529	0.2209	0.1206	Ago. 13	0.771
10	Los Hules	26277	1269.0	1960–2002 (41)	990.0	0.858	0.4112	0.4086	0.2875	Sep. 8	0.755
11	Terrerillos	26289	1493.0	1961–2002 (41)	1403.9	0.693	0.3827	0.2674	0.0598	Sep. 2	0.746
12	Micos	26285	1978.0	1961–2002 (41)	275.9	0.479	0.2449	0.2461	0.2530	Ago. 18	0.804
13	Santa Rosa	26263	3521.0	1959–2002 (44)	686.6	0.806	0.4189	0.3419	0.1652	Ago. 24	0.806
14	Vigas	26389	3571.0	1958–2002 (41)	190.7	0.990	0.5165	0.3626	0.1440	Ago. 20	0.670
15	Platón Sánchez	26433	4700.0	1979–2002 (24)	1675.7	0.757	0.6987	0.3697	0.1421	Sep. 4	0.877
16	Tempoal	26248	5275.0	1955–2002 (48)	1931.7	0.752	0.3932	0.3420	0.1565	Sep. 8	0.776
17	Tanlacut	26292	6039.0	1961–2002 (33)	248.9	1.587	0.6181	0.5899	0.3797	Ago. 21	0.782
18	Temamatla	26293	6884.0	1961–2001 (41)	1409.6	0.821	0.4275	0.3691	0.1209	Sep. 8	0.813
19	Tansabaca	26268	17532.0	1959–2002 (44)	839.5	0.993	0.5153	0.3845	0.1131	Sep. 1	0.820

20	Tierra Blanca	26270	18169.0	1960–2002 (43)	737.5	0.775	0.4153	0.3329	0.0839	Ago. 31	0.767
21	El Pujal	26272	23373.0	1954–2002 (48)	1922.7	0.637	0.3389	0.2605	0.1643	Ago. 26	0.814
22	San Vicente	26415	26768.0	1973–2001 (29)	2943.1	0.545	0.3076	0.1755	0.1009	Ago. 31	0.768
23	Tamuín	26224	29630.0	1974–2002 (27)	1508.5	0.520	0.2781	0.2770	0.2113	Ago. 31	0.825
24	El Olivo	26387	33483.0	1968–2002 (35)	2944.1	0.475	0.2718	0.1146	0.1126	Sep. 4	0.858
25	Las Adjuntas	26255	61063.0	1957–2002 (44)	3310.1	0.443	0.2512	0.1051	0.1284	Sep. 3	0.783
26	Pánuco	26424	65577.0	1973–2002 (18)	3107.0	0.460	0.2387	0.3714	0.2485	Sep. 14	0.848
27	Ahualulco (RPA)	26196	17.0	1946–1978 (32)	80.4	0.444	0.1824	0.3838	0.4071	Ago. 11	0.655
28	Ahualulco (RN)	26023	25.0	1946–2002 (56)	108.9	0.344	0.1628	0.1842	0.2622	Ago. 17	0.704
29	Mante	26334	42.0	1927–2002 (60)	67.1	0.861	0.3840	0.3834	0.3525	Ago. 7	0.777
30	Sabinas	26388	497.0	1961–2002 (41)	359.5	0.583	0.2967	0.3041	0.1950	Ago. 5	0.741
31	La Servilleta	26280	2532.0	1960–2002 (43)	446.4	0.666	0.3378	0.2652	0.2399	Ago. 9	0.779
32	Río Frío	26296	2785.0	1961–2002 (34)	572.2	0.428	0.2376	0.1351	0.1942	Ago. 14	0.727
33	La Encantada	26218	3725.0	1950–2002 (50)	359.2	1.664	0.6275	0.6218	0.4360	Ago. 22	0.726
34	San Gabriel II	26149	4937.0	1979–2002 (21)	431.1	1.282	0.6213	0.5026	0.2524	Sep. 2	0.762
35	Magiscatzin II	26249	10968.0	1955–2002 (48)	1542.5	0.743	0.3908	0.3182	0.1556	Ago. 12	0.770
36	Tamesí	26416	14923.0	1974–2002 (27)	1240.3	0.433	0.2352	0.2169	0.2432	Ago. 16	0.824

Simbología:

A área de cuenca.
 Q_{ma} gasto máximo medio anual.
 C_v coeficiente de variación del gasto máximo anual.
 τ_2 cociente $L-C_v$.
 τ_3 cociente $L-C_s$.
 τ_4 cociente $L-C_k$.

DMC día medio de las crecientes.
 \bar{r} índice de estacionalidad.
RPA río Poza Azul.
RN río Nacimiento.

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (5)$$

$$\lambda_2 = 2 \cdot \beta_1 - \beta_0 \quad (6)$$

$$\lambda_3 = 6 \cdot \beta_2 - 6 \cdot \beta_1 + \beta_0 \quad (7)$$

$$\lambda_4 = 20 \cdot \beta_3 - 30 \cdot \beta_2 + 12 \cdot \beta_1 - \beta_0 \quad (8)$$

y sus cocientes (τ) de momentos L , comenzando con $L-Cv$ que es análogo a este coeficiente y después los de similitud con los coeficientes de asimetría y de curtosis, son:

$$\tau_2 = \lambda_2 / \lambda_1 \quad (9)$$

$$\tau_3 = \lambda_3 / \lambda_2 \quad (10)$$

$$\tau_4 = \lambda_4 / \lambda_2 \quad (11)$$

Suponiendo que existen N sitios en el grupo que se analiza. Se define a $\mathbf{u}_i = [\tau_2^i \ \tau_3^i \ \tau_4^i]^T$ como un vector que contiene los cocientes L : τ_2 , τ_3 y τ_4 de cada sitio i . El superíndice T significa transpuesto, ya que \mathbf{u}_i es un vector renglón. El vector promedio (no ponderado) del grupo será (Hosking & Wallis, 1997):

$$\bar{\mathbf{u}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \mathbf{u}_i \quad (12)$$

La matriz \mathbf{A} de suma de cuadrados y de productos cruzados estará definida como:

$$\mathbf{A} = \sum_{i=1}^N (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}}) \cdot (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T \quad (13)$$

Por último, la medida de la discordancia (D_i) de cada sitio será:

$$D_i = \frac{1}{3} N (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}})^T \mathbf{A}^{-1} (\mathbf{u}_i - \bar{\mathbf{u}}) \quad (14)$$

Cuando D_i es mayor que los valores críticos (D_c) del Cuadro 2, el sitio es discordante con el grupo.

Cuadro 2. Valores críticos de la Discordancia (Hosking & Wallis, 1997).

N	D_c	N	D_c	N	D_c
5	1.333	9	2.329	13	2.869
6	1.648	10	2.491	14	2.971
7	1.917	11	2.632	≥ 15	3.000
8	2.140	12	2.757	–	–

Regionalización con base en Índices de Estacionalidad.

Burn (1997), Cunderlik & Burn (2002) han encontrado que la fecha de ocurrencia media y la regularidad estacional de las crecientes o *índices de estacionalidad*, pueden ser empleados como medidas de similitud de la respuesta hidrológica de una cuenca. En efecto, la similitud en el comportamiento temporal y en la regularidad de las crecientes de dos cuencas, implica una semejanza en características fisiográficas y meteorológicas asociadas a su ubicación espacial dentro de una región.

Para obtener los índices de estacionalidad, se comienza por transformar la fecha de ocurrencia de cada gasto máximo anual a “día juliano” de 0 a 365; esto es ignorando los años bisiestos. Las fechas de enero quedan igual, pero a las de febrero se les suma 31, a las de marzo 59, a las de abril 90 y así sucesivamente hasta las de diciembre que se les agrega 334, para obtener el día juliano. En seguida se obtiene el ángulo θ_i en grados correspondiente a la fecha i de cada creciente, con solo multiplicar el día juliano por 0.9863014, que es el cociente entre 360° y 365 días. Ahora, cada fecha de una creciente anual se puede interpretar como un vector de magnitud unitaria y dirección θ_i . Teniendo n datos de crecientes, las coordenadas promedio del *día medio de las crecientes (DMC)* serán (Burn, 1997 y Cunderlik & Burn, 2002; Ramírez *et al.*, 2009):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(\theta_i) \quad (15)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sen(\theta_i) \quad (16)$$

La dirección media $\bar{\theta}$ del *DMC* en coordenadas polares será:

$$\bar{\theta} = \tan^{-1} \left(\frac{\bar{y}}{\bar{x}} \right) \quad (17)$$

y su valor en día juliano se obtiene al dividir $\bar{\theta}$ entre 0.9863014. La medida de la variabilidad de las n fechas de ocurrencia de las crecientes, en relación con el *DMC*, se puede estimar calculando la resultante media, cuya expresión es (Burn, 1997 y Cunderlik & Burn, 2002; Ramírez *et al.*, 2009):

$$\bar{r} = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (18)$$

El *índice de estacionalidad* \bar{r} es una medida adimensional de la dispersión de las crecientes, toma valores entre cero y uno. Un valor unitario indica que todas las crecientes ocurren en la misma fecha, en cambio un valor cercano a cero implica gran variabilidad de ocurrencias a lo largo de todo el año. Ramírez *et al.* (2009) establecen los siguientes cinco grados de estacionalidad: (1) muy fuerte, cuando $\bar{r} > 0.90$, (2) fuerte, cuando \bar{r} fluctúa entre 0.70 y 0.90, (3) media, cuando \bar{r} varía de 0.50 a 0.70, (4) baja, cuando \bar{r} cambia de 0.10 a 0.50 y (5) muy baja o débil, cuando $\bar{r} < 0.10$. Detalles numéricos sobre la aplicación de las ecuaciones 15 a 18 se pueden consultar en Ramírez *et al.* (2009).

Prueba del Rango Regional Normalizado.

Con el propósito de comprobar numéricamente la conveniencia estadística de la subdivisión de una región hidrológica en dos o más subregiones, se puede aplicar una prueba muy simple que mide la heterogeneidad de un área o zona específica, denominada *rango regional normalizado* de los coeficientes de variación de las crecientes [$RRN(Cv)$], definido por Burn (1990) como:

$$RRN(Cv) = \frac{R(Cv)}{M(Cv)} \quad (19)$$

donde $R(Cv)$ y $M(Cv)$ son el rango y la mediana de los valores del Cv de la subregión o zona analizada. Entonces cuando el $RRN(Cv)$ aplicado por subregiones resulta menor que el de la región total, la subdivisión es conveniente.

Registros anómalos por Discordancia.

En las columnas 8, 9 y 10 del Cuadro 1 se presentan los valores de los tres cocientes de momentos L obtenidos con las ecuaciones 9, 10 y 11, para los registros disponibles de gasto máximo anual, en las 36 estaciones hidrométricas procesadas. La aplicación de la prueba de Discordancias, a través de las ecuaciones 12 a 14, para estas estaciones define tres registros con valores superiores a 3.00 que son: Platón Sánchez, ($D_i = 3.74$), Ahualulco Río Poza Azul ($D_i = 3.08$) y La Encantada ($D_i = 3.45$). Además, presentan valores de discordancia mayores de 2.00 las siguientes tres estaciones: El Choy ($D_i = 2.40$), Tamasopo ($D_i = 2.05$) y Tanlacut ($D_i = 2.42$).

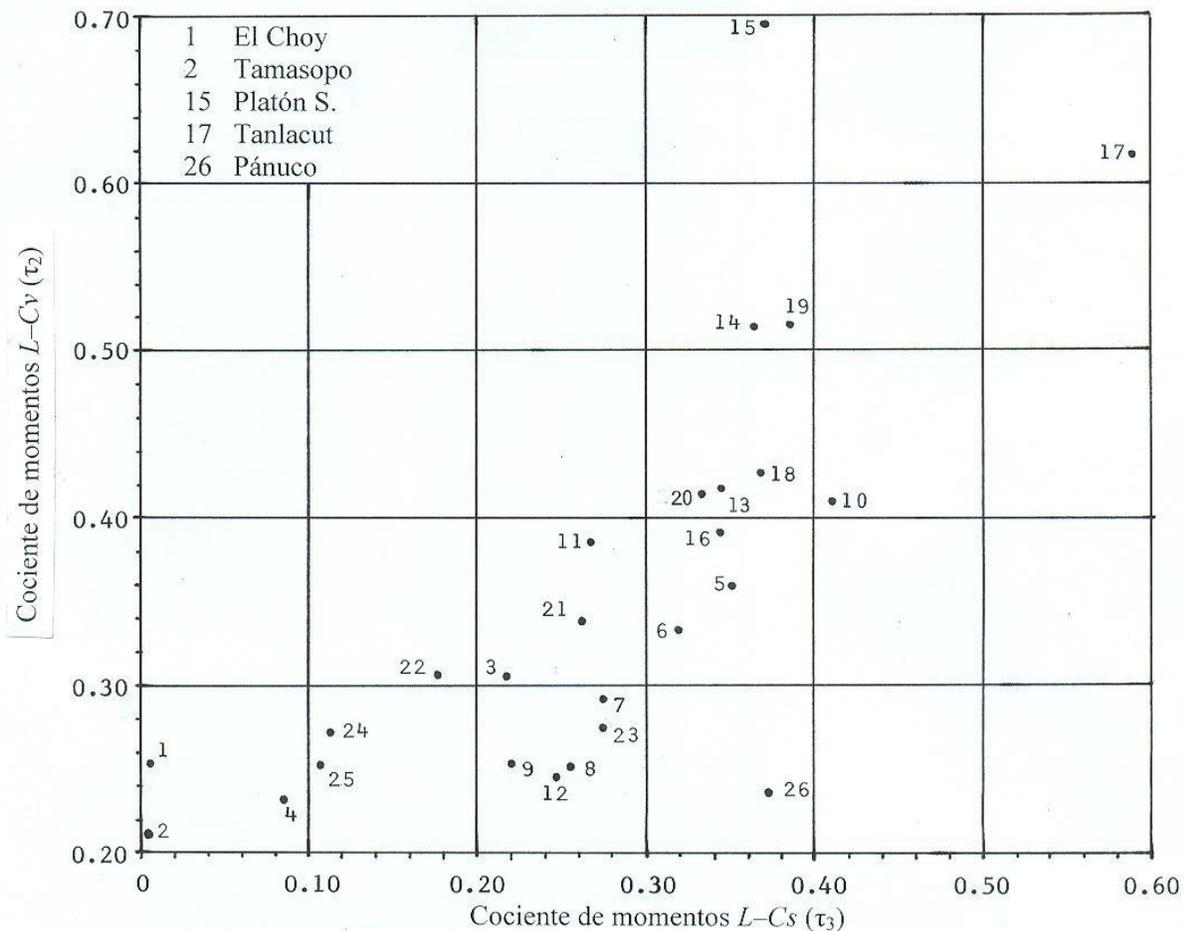
Cuando la prueba de Discordancias se aplica a las 26 estaciones hidrométricas de la subregión del Bajo Río Pánuco, se tienen cuatro registros con discordancias grandes: El Choy ($D_i = 1.98$), Tamasopo ($D_i = 1.77$), Platón Sánchez ($D_i = 3.96$), Tanlacut ($D_i = 4.28$) y Pánuco ($D_i = 1.84$). En cambio, cuando la prueba se aplica a las 10 estaciones hidrométricas de la subregión del Río Guayalejo no se tienen registros discordantes pues $D_c = 2.491$, pero los de mayor valor son: Ahualulco Río Poza Azul ($D_i = 2.15$), La Encantada ($D_i = 1.77$), San Gabriel II ($D_i = 1.19$) y Río Frío ($D_i = 1.18$). Los dos diagramas de dispersión, sugeridos por Hosking & Wallis (1997), con τ_3 en las abscisas para ambos y τ_2 en las ordenadas en uno y τ_4 en el otro, muestran para la subregión del Bajo Río Pánuco que son discordantes: El Choy, Tamasopo y Tanlacut; en cambio para la subcuenca del Río Guayalejo, los diagramas de dispersión establecen como discordantes potenciales Ahualuco Río Poza Azul, La Encantada y San Gabriel II. En la Figura 1 se muestra el primer diagrama de dispersión citado para la subregión del Bajo Río Pánuco.

Resultados de los Índices de Estacionalidad

Los índices de estacionalidad tienen como ventaja fundamental no emplear los registros de gastos máximos anuales; además al ser individual su cálculo permite tomar en cuenta los resultados del análisis de discordancias. En las dos columnas finales del Cuadro 1 se muestran el día medio de

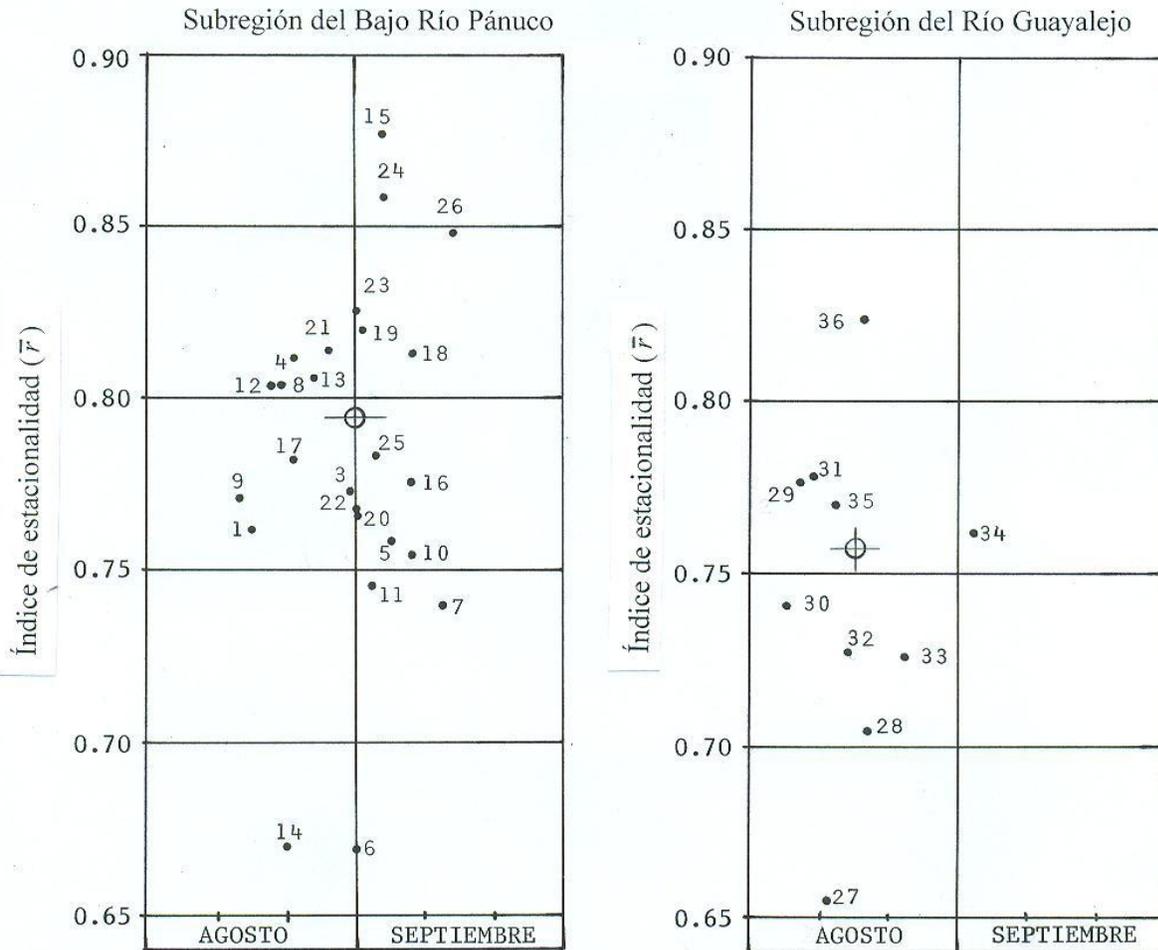
las crecientes (DMC) y el índice de estacionalidad (\bar{r}), cuyos gráficos de dispersión se muestran en la Figura 2, para las subregiones del Bajo Río Pánuco y del Río Guayalejo. Se observa que en la primera subregión las estaciones hidrométricas dispersas son tres: Tamasopo que no está dibujado ($DMC = 10$ de julio y $\bar{r} = 0.538$), El Cardón (6) y Vigas (14). Para la subregión del Río Guayalejo solo se tiene como estación de aforos dispersa Ahualulco Río Poza Azul (27), ratificando lo obtenido en el análisis de discordancias.

Figura 1
Diagrama de dispersión de los cocientes de momentos L
de la subregión del Bajo Río Pánuco



Los valores medios de los índices de estacionalidad, excluidos los cuatro registros dispersos, en cada subregión son diferentes, confirmando que tales subregiones forman dos sistemas hidrológicos disímiles. En la subregión del Bajo Río Pánuco la fecha media de ocurrencia de las crecientes es el 30 de agosto y su índice de estacionalidad medio es 0.794, en cambio en la subregión del Río Guayalejo sus valores respectivos son el 15 de agosto y 0.757. Lo anterior se muestra en la Figura 2 con el círculo cruzado .

Figura 2
Fechas de ocurrencia media de las crecientes anuales e índices de estacionalidad de las estaciones hidrométricas de la Región Hidrológica No. 26



Resultados de la prueba del rango regional normalizado

Con base en los resultados de los dos análisis anteriores se establece eliminar las siguientes 9 estaciones hidrométricas, antes de aplicar la prueba del rango regional normalizado, a toda la cuenca Baja de Río Pánuco y por subregiones, éstas son: El Choy, Tamasopo, El Cardón, Vigas, Platón Sánchez, Tanlacut, Ahualulco Río Poza Azul, La Encantada y San Gabriel II. Los resultados del Cuadro 3 indican la conveniencia estadística de la subdivisión por subregiones, ya que los rangos regionales normalizados (1.049 y 0.887) resultan inferiores al de la cuenca Baja del Río Pánuco (1.157).

Cuadro 3. Estaciones hidrométricas divididas por subregiones y prueba de heterogeneidad del rango regional normalizado.

<i>Subregión del Bajo Río Pánuco</i>			<i>Subregión del Río Guayalejo o Tamesí</i>		
No.	Estación hidrométrica:	<i>C_v</i>	No.	Estación hidrométrica:	<i>C_v</i>
1	Ballesmi	0.560	1	Ahualulco (RN)	0.344
2	Agua Buena	0.412	2	Mante	0.861
3	Tancuilín	0.717	3	Sabinas	0.583
4	Requetemu	0.548	4	La Servilleta	0.666
5	Gallinas	0.471	5	Río Frío	0.428
6	El Salto	0.463	6	Magiscatzin II	0.743
7	Los Hules	0.858	7	Tamesí	0.433
8	Terrerillos	0.693	–	Valor mínimo	0.344
9	Micos	0.479	–	Valor máximo	0.861
10	Santa Rosa	0.806	–	Valor mediano	0.583
11	Tempoal	0.752	–	Valor medio	0.580
12	Temamatla	0.821	–	Rango regional normalizado	0.887
13	Tansabaca	0.993	<i>Cuenca del Bajo Río Pánuco</i>		
14	Tierra Blanca	0.775	–	Valor mínimo	0.344
15	El Pujal	0.637	–	Valor máximo	0.993
16	San Vicente	0.545	–	Valor mediano	0.560
17	Tamuín	0.520	–	Valor medio	0.610
18	El Olivo	0.475	–	Rango regional normalizado	1.159
19	Las Adjuntas	0.433			
20	Pánuco	0.460			
–	Valor mínimo	0.412			
–	Valormáximo	0.993			
–	Valor mediano	0.554			
–	Valor medio	0.621			
–	Rango regional normalizado	1.049			

Contraste con resultados de trabajos previos

Campos (2007) analiza las fechas de ocurrencia de las crecientes anuales de las estaciones hidrométricas de Pánuco y Tamesí, en un periodo común de 30 años, para justificar que las subregiones del Bajo Pánuco y del Río Guayalejo son independientes debido a la escasa simultaneidad de eventos. Después trabaja la primera subregión aceptando que 17 estaciones de las 26 disponibles (Cuadro 1) forman una región homogénea, lo anterior fue establecido con base exclusivamente en la relación área de cuenca contra gasto medio anual. Campos (2011) trabaja como una subregión a la cuenca del Río Guayalejo o Tamesí, verificando que cuatro de sus estaciones hidrométricas forman una región homogénea.

CONCLUSIONES.

Son resultados relevantes de las técnicas regionales aplicadas a los 36 registros de gasto máximo anual de la Región Hidrológica No. 26 Parcial (Bajo Río Pánuco), cuya características generales, estadísticas y estacionales se mostraron el Cuadro 1, los siguientes:

(1) la prueba de Discordancias, aplicada a las 36 estaciones y por subregiones, estaciones 1 a 26 y 27 a 36, detecta como registros anómalos los siete siguientes: El Choy, Tamasopo, Platón Sánchez, Tanlacut, Ahualuco Río Poza Azul, La Encantada y San Gabriel.

(2) los diagramas de dispersión relativos a los índices estacionales (Figura 2), establecen como registros que se apartan de las nubes de puntos de cada subregión a los siguientes: Tamasopo, El Cardón y Vigas en la cuenca del Bajo Río Pánuco y Ahualulco Río Poza Azul en la cuenca del Río Guayalejo.

(3) la diferencia en las fechas de ocurrencia media de las crecientes y en la regularidad promedio de éstas, en cada subregión (Figura 2), define que tales subregiones son disímiles, desde un punto de vista hidrológico.

(4) la prueba del rango regional normalizado, permite verificar la conveniencia estadística de la diferenciación de ambas subregiones.

En la literatura especializada ha quedado establecido que la exactitud de los métodos regionales de estimación de crecientes, depende de una acertada regionalización, es decir de una definición objetiva de las subregiones. Las técnicas expuestas son básicas en el establecimiento de la similitud o la discrepancia entre los registros de gasto máximo anual disponibles en una zona o región del país, por ello se recomienda su aplicación sistemática para intentar diferenciar subregiones de manera apropiada.

Referencias:

Burn, D. H. Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resources Research*, Vol. 26, No. 10, pp. 2257–2265, 1990.

Burn, D. H. Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology*, Vol. 202, pp. 212–230, 1997.

Campos A., D. F. Contraste de métodos regionales para predicción de crecientes basado en la distribución GVE, en la cuenca baja del Río Pánuco. *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. XXII, No. 2, pp. 91–105, 2007.

Campos A., D. F. Verificación de la homogeneidad regional mediante tres pruebas estadísticas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, Vol. I, No. 4, pp. 157–165, 2010.

Campos A., D. F. Estimación de envolventes de diseño por subregiones hidrológicas. *Tecnología y Ciencias del Agua*. Vol. II, No. 4, pp. 175–194, 2011.

Cunderlik, J. M. and Burn, D. H. The use of flood regime information in regional flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal*, Vol. 47, pp. 77–92, 2002.

Cunnane, C. Methods and merits of regional flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, Vol. 100, pp. 269–290, 1988.

Escalante S., C. y Reyes C., L. *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. Capítulo 8: Análisis regional hidrológico, pp. 157–202. Facultad de Ingeniería de la UNAM. México, D. F. 2002. 298 páginas.

Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique (GREHYS). Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, Vol. 186, pp. 63–84, 1996a.

Groupe de Recherche en Hydrologie Statistique (GREHYS). Inter-comparison of regional flood frequency procedures for Canadian rivers. *Journal of Hydrology*, Vol. 186, pp. 85–103, 1996b.

Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis. *Regional Frequency Analysis. An approach based on L-moments*. Chapter 3: Screening the data, pp. 44–53. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom. 1997. 224 p.

Ouarda, T. B. M. J., Giraed, C., Cavadias, G. S. and Bobée, B. Regional flood frequency estimation with canonical correlation analysis. *Journal of Hydrology*, Vol. 24, pp. 157–173, 2001.

Ramírez, A. I., Gutiérrez-López, A. y Ruiz-Silva, H. L. 2009. Análisis de la ocurrencia en el tiempo de los gastos máximos en México. *Ingeniería Hidráulica en México*, Vol. XXIV, No. 1, pp. 115–124, 2009.

Stedinger, J. R., R. M. Vogel and E. Foufoula-Georgiou. Frequency Analysis of Extreme Events. Chapter 18, pp. 18.1–18.66 in *Handbook of Hydrology*, David R. Maidment (ed.). McGraw-Hill, Inc. New York, U.S.A. 1993.