

Discusión al artículo
“Modelos regionales de escurrimientos máximos
instantáneos en la república mexicana”
(Domínguez-Mora *et al.*)
Vol. VII, núm. 5, septiembre-octubre de 2016,
pp. 15-32

Polemista: Daniel Francisco Campos Aranda
Profesor jubilado de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México
campos_aranda@hotmail.com

DOI: 10.24850/j-tyca-2017-04-D2R2

Aclaración inicial

El polemista expone errores y amplía conceptos teóricos utilizados por el autor, con el objetivo básico de dar al lector y al usuario potencial del artículo una panorámica completa de los análisis regionales de frecuencia de gastos máximos anuales y del alcance real del estudio. Al autor, las observaciones del polemista le pueden ser útiles cuando actualice el estudio cada cinco años, como lo propone al final de su artículo. Tales observaciones se presentan según tres tópicos: (a) aspectos operativos del análisis regional; (b) deducción de ecuaciones empíricas del gasto medio anual, y (c) estimación del tiempo de concentración de las cuencas.

Errores de omisión respecto a los análisis regionales

Relativo a la calidad estadística de los datos hidrométricos

El polemista destaca que no se expuso. ¿Cómo se verificó la homogeneidad, independencia y ausencia de componentes determinísticas en los registros hidrométricos originales? En concreto, ¿cómo se verificó que los 309 registros de datos son estacionarios? Lo anterior es fundamental antes de proceder a verificar la homogeneidad hidrológica regional, ya que si existe tendencia en los registros, debe ser tomada en cuenta en el análisis regional, como lo han mostrado Cunderlik y Burn (2003), y Leclerc y Ouarda (2007).

El polemista indica que como mínimo se debió aplicar la prueba de discordancias (Hosking & Wallis, 1997; Campos-Aranda, 2010) a los registros de datos hidrométricos de cada región o grupo de regiones adoptado, para detectar registros anómalos y eliminarlos; o bien, para comprobar que eran adecuados y continuar con la verificación de la homogeneidad hidrológica regional.

Relativo al agrupamiento de regiones y estaciones hidrométricas

En el primer párrafo de la página 22, el autor menciona: “Los grupos de regiones hidrológicas se establecieron como se indica en el cuadro 1 (ver figura 2).”

El polemista formula la pregunta siguiente: ¿tal agrupamiento se debe a escasez de registros hidrométricos o a similitud de comportamiento hidrológico? Cualquiera que sea la respuesta, se debió indicar cómo fue verificado que tal agrupamiento resultaba conveniente y/o aceptable.

El polemista indica que el inciso de la página 18 titulado “Agrupación de regiones”, se debió llamar “Agrupación de estaciones hidrométricas”, ya que ahí se describe cómo se formaron los grupos G1, G2 y G3, y cómo se verificaron espacialmente en cada región. Esta subdivisión, el polemista la considera inadecuada o no conveniente, ya que al formar 18 regiones (cuadro 1) y haber procesado 309 estaciones hidrométricas, se obtienen en promedio 17 estaciones en cada zona geográfica y tal cantidad, afortunadamente, está próxima al número máximo que se ha

recomendado de 20 estaciones por región homogénea (Hosking & Wallis, 1997).

Relativo a la homogeneidad hidrológica regional con datos hidrométricos

Con excepción del texto del último párrafo de la "Introducción", en el cual el autor indica que: "Además, tomando en cuenta la similitud en las características estadísticas de los gastos máximos registrados en grupos de cuencas, se desarrolló un análisis regional que permite...", el polemista destaca que no se verificó la homogeneidad hidrológica de las regiones ni de los grupos que con ellas se formaron. Por lo tanto, todos los resultados del cuadro 4 del autor son cuestionables. Para realizar tal análisis con base en los datos disponibles de gasto máximo anual se recomienda consultar a Hosking y Wallis (1997), Escalante-Sandoval y Reyes-Chávez (2002), y Campos-Aranda (2010), además de todas las referencias citadas por el autor en el cuerpo central de la "Introducción".

Relativo a la homogeneidad hidrológica regional con fechas de crecientes

El autor indica en la "Introducción" que el agrupamiento de cuencas se ha basado principalmente en dos tipos de variables para establecer la similitud entre cuencas: (1) sus características fisiográficas, y (2) las propiedades estadísticas del registro de crecientes y de los datos climatológicos disponibles.

El polemista ha encontrado (Burn, 1997; Cunderlik & Burn, 2002) que el principal argumento contrario al uso de las características fisiográficas es que no hay garantía de que la semejanza fisiográfica implique similitud en la respuesta hidrológica, sobre todo si las cuencas están distantes, o tienen coberturas de suelo y vegetación diferentes. Por otra parte, el problema básico con respecto al uso de los datos hidrométricos implica una situación espuria (Clarke, 2010), pues tales datos se usan para formar las regiones y también para verificar su homogeneidad.

Por lo anterior, el polemista sugiere tomar en cuenta una verificación de la homogeneidad hidrológica regional con base en la fecha de ocurrencia media y la regularidad estacional de los gastos máximos anuales, ya que una similitud en tales parámetros implica una semejanza en características fisiográficas y meteorológicas. En México, el estudio de la fechas de ocurrencia de las crecientes fue introducido por Ramírez, Gutiérrez-López y Ruiz-Silva (2009), y ha sido aplicado por Campos-Aranda (2014).

Relativo al análisis probabilístico de las series normalizadas

En opinión del polemista faltó indicar:

1. Respecto a las funciones de distribución de probabilidades (FDP), se debió citar: ¿cuáles fueron las utilizadas? y ¿se aplicaron las FDP establecidas bajo precepto, es decir: Log-Pearson tipo III, General de Valores Extremos y Logística Generalizada?
2. ¿La estimación de los parámetros de ajuste de las FDP se realizó con el método de momentos, con el de máxima verosimilitud, con el de momentos L o con cuál?
3. ¿Cómo se seleccionó el mejor ajuste de las FDP? ¿Se aplicaron pruebas o test estadísticos o se empleó el error estándar de ajuste?

Para dar respuesta a las preguntas de los incisos 1, 2 y 3, el polemista sugiere consultar las referencias: Hosking y Wallis (1997); Rao y Hamed (2000); Asquith (2011), y Meylan, Fabre y Musy (2012).

Errores de concepto al estimar MQMIA

En opinión del polemista, existe un error conceptual en seleccionar al tiempo de concentración (T_c) de cada cuenca como la segunda variable predictiva en la estimación de la creciente o gasto medio anual (Q_{ma}), designado por el autor MQMIA. Este error se observa en los resultados mostrados por el autor en el

cuadro 5, cuyas ecuaciones empíricas en función del área de cuenca (A) y del T_c en las regiones hidrológicas 25 y 28-29 tienen exponente cero en el T_c , y en las regiones 20-21, 26VM, 27 y 30, el exponente del T_c es positivo.

El polemista también considera otro error conceptual la selección como cuarta variable predictiva de la retención potencial máxima (S), pues tal cantidad se estima (ecuación (2)) con base en el número N de la curva de escurrimiento y tal parámetro hidrológico conlleva una estimación subjetiva (Mockus, 1972; Campos-Aranda, 2015).

El autor señala, en el primer párrafo de las "Conclusiones y recomendaciones", que el Q_{ma} es el concepto eje del método expuesto, "...de tal manera que al relacionarla con características medibles en cualquier cuenca (área, tiempo de concentración, promedio espacial de la media de precipitaciones máximas anuales, retención potencial máxima) es posible estimarla de forma sencilla, aun para cuencas no aforadas y..."

El polemista opina que únicamente el área de cuenca puede ser medida y el resto de variables predictivas utilizadas por el autor debe ser estimada; para el caso del T_c , con base en varias ecuaciones empíricas aplicadas sin ser extrapoladas, como se explica posteriormente.

El autor indica en el cuarto párrafo de las "Conclusiones y recomendaciones" que "... varios grupos de regiones tuvieron exponentes positivos asociados con la retención potencial máxima y/o tiempo de concentración, lo cual no parece lógico, por lo que se recomienda..."

En opinión del polemista, la obtención de exponentes positivos en las dos variables predictivas citadas (S y T_c) implica una relación no funcional o incorrecta de la ecuación empírica del Q_{ma} , ya que tanto S y T_c , al ser mayores, originan un Q_{ma} menor y viceversa; por lo tanto, deben aparecer como denominadores en la fórmula empírica deducida. El autor obtiene (cuadro 5) seis ecuaciones empíricas incorrectas en el T_c y nueve en S , de las veinte que presenta de cada una.

En resumen, el polemista propone que en lugar de utilizar una estimación del T_c se

debieron emplear características fisiográficas de la cuenca, que son estimables por medición y que se sabe que de ellas depende el T_c (ver ecuación (1) siguiente), como son: la longitud del cauce principal, su pendiente promedio, la densidad de drenaje, etcétera. Una búsqueda de variables predictivas y su selección para evitar la multicolinealidad se puede consultar en Campos-Aranda (2013).

El polemista considera otro error de concepto la selección de la tercera variable predictiva, denominada volumen de precipitación en la cuenca (V), ya que al ser el producto de la media de la precipitación máxima diaria (PMD) anual por el área de cuenca, la ecuación (5) del autor incurre en una correlación espuria (Benson, 1965). Por otra parte, el polemista indica que siendo el Q_{ma} una predicción de periodo de retorno dos años, es acertado usar, como lo hace el autor, la media de la PMD anual como variable predictiva, pero sólo ella, lo cual ha sido verificado en otros países (Prosdocimi, Kjeldsen & Svensson, 2014).

Error de omisión de los índices de desempeño de las ecuaciones empíricas

En la figura 3, el autor expone para la Región Hidrológica núm. 18 una ecuación empírica que estima el MQMIA en función del área de cuenca, obtenida con 15 datos y con un $R^2 = 0.8173$. Para esta misma región, en la figura 5 expone otra ecuación similar, pero obtenida con nueve datos y con un $R^2 = 0.7834$. El polemista pregunta: ¿por qué se eliminaron seis cuencas de tal región? Este tipo de decisiones debe ser explicado y como mínimo indicar el intervalo de aplicación de cada ecuación empírica deducida (cuadro 5), así como sus índices de desempeño, evaluados en el dominio real (ver Campos-Aranda, 2013).

Error operativo al estimar el T_c

El polemista considera un error operativo estimar el tiempo de concentración (T_c) utilizando una sola ecuación empírica, en este caso la de

Kirpich, quizás la menos indicada de las aplicadas comúnmente. Lo anterior se intenta aclarar en los incisos siguientes, no teniendo como objetivo presentar fórmulas sino únicamente indicar dónde se pueden consultar y qué intervalo de aplicación tienen.

La incertidumbre inherente del T_c

Después del área de la cuenca, el T_c es el parámetro principal de la mayoría de los métodos hidrológicos de estimación de gastos máximos o bien se utiliza para cuantificar el tiempo al pico (T_p) del hidrograma de respuesta o el tiempo de retraso (T_L) de la cuenca. A pesar de tal universalidad, el T_c , como ha señalado McCuen (2009), no tiene una definición computacional única, y por ello recabó y expuso seis, y sugirió la siguiente como la menos incierta para tal estimación: "diferencia entre los tiempos en que ocurren los centros de masa de la lluvia en exceso y del escurrimiento directo". Grimaldi, Petroselli, Tauro y Porfiri (2012) citan dos definiciones teóricas del T_c , adicionales a las seis operativas de McCuen (2009), las cuales son: (a) tiempo que le toma a una gota de lluvia en llegar a la salida de la cuenca, partiendo de su punto más distante hidráulicamente; (b) tiempo desde el final de la lluvia en exceso hasta que finaliza el escurrimiento directo.

Grimaldi *et al.* (2012) indican que lo escaso de las mediciones de lluvia y su respuesta en escurrimiento directo ha vuelto poco práctica la estimación del T_c , incluso en cuencas pequeñas, y el uso de las ocho definiciones del T_c ha conducido a estimaciones no consistentes con un único método de cálculo. Por ello, en la práctica, el T_c se estima haciendo uso de fórmulas empíricas, que si no son aplicadas teniendo en cuenta de manera estricta su intervalo de aplicación conducirán sin duda a evaluaciones erróneas.

Ecuaciones empíricas del T_c más utilizadas en cuencas rurales

Temiz (1978) expone uno de los primeros contrastes, al menos en lengua hispana, de varias

fórmulas del T_c , T_L y T_p usando datos reales de 29 cuencas usadas por el US Army Corps of Engineers para deducir su ecuación del T_L . Encuentra que las ecuaciones contrastadas tienen la expresión general siguiente:

$$T \approx \alpha \cdot \left(\frac{L}{Sc^\beta} \right)^\gamma \quad (1)$$

siendo L la longitud del cauce principal en km; Sc , su pendiente promedio, adimensional. Temiz (1978), con base en tales datos reales, obtiene una ecuación del T_c , cuyos parámetros son $\alpha = 0.30$, $\beta = 0.50$ y $\gamma = 0.76$.

Grimaldi *et al.* (2012) contrastan las seis fórmulas siguientes: Giandotti, Johnstone-Cross, Kirpich, California Highways and Public Works, Natural Resources Conservation Service y Viparelli, esta última igual al cociente de L entre una velocidad media del flujo, que varía de 3.6 a 5.4 km/h. El contraste se realiza en cuatro cuencas del estado de Texas, EUA, con áreas de cuenca variando de 13 a 120 km², y 47, 19, 52 y 20 eventos de lluvia-escurrimiento en cada una; encuentran una gran dispersión en los T_c calculados en cada evento. Temiz (1978) y Grimaldi *et al.* (2012) encuentran que la fórmula de Giandotti sobreestima el T_c en cuencas grandes.

Respecto a la ecuación de Kirpich, Grimaldi *et al.* (2012) encuentran, al igual que Gericke y Smithers (2014), que subestima el T_c en las cuencas chicas. De acuerdo con Fang, Thompson, Cleveland, Pradhan y Malla (2008), Kirpich desarrolló su ecuación con datos de cuencas pequeñas del estado de Tennessee, EUA, que variaron de 4 hectáreas a 0.45 km², y tuvieron pendientes del 3 al 12%; señalan que sus resultados tienen sesgo en cuencas con flujo preponderante en cauces. Williams (1950) indica que el cociente $\left(\frac{L}{\sqrt{Sc}} \right)$, con Sc estimada como el desnivel total del cauce (H) en metros entre L en km, no debe exceder de 305 para estar dentro de intervalo de los datos reales usados por Kirpich.

En resumen, el polemista sugiere que si el autor desea conservar al T_c como variable predictiva, que se integre una relación de sus fórmulas empíricas y se apliquen con estricto

apego al intervalo que tuvieron los datos reales utilizados en su deducción para obtener diversas estimaciones del T_c , y entonces adoptar un valor probable y/o confiable. Este planteamiento ha sido indicado y expuesto por Campos-Aranda (2015). Gericke y Smithers (2014) presentan estas relaciones o listas exhaustivas para el T_c , T_L y T_p .

Referencias

- Asquith, W. H. (2011). *Distributional analysis with L-moment statistics using the R environment for statistical computing* (344 pp). Texas, USA: author edition (ISBN-13: 978-1463508418).
- Benson, M. A. (1965). Spurious correlation in hydraulics and hydrology. *Journal of Hydraulics Division*, 91(4), 35-42.
- Burn, D. H. (1997). Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *Journal of Hydrology*, 202(1-4), 212-230.
- Campos-Aranda, D. F. (2010). Verificación de la homogeneidad regional mediante tres pruebas estadísticas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 1(4), 157-165.
- Campos-Aranda, D. F. (2013). Estimación de la creciente media anual en la Región Hidrológica Núm. 10 de México con base en ecuaciones de regresión potencial. *Ingeniería. Investigación y Tecnología*, 14(4), 563-574.
- Campos-Aranda, D. F. (2014). Análisis Regional de Frecuencia de Crecientes en la Región Hidrológica No. 10 (Sinaloa), México. 1: Índices de estacionalidad y regiones de influencia. *Agrociencia*, 48(1), 147-158.
- Campos-Aranda, D. F. (2015). Estimación de crecientes en cuencas rurales (pp. 77-122). Capítulo 5. En: *Introducción a la Hidrología Urbana*. San Luis Potosí, México: edición del autor (307 pp.).
- Clarke, R. T. (2010). On the (mis)use of statistical methods in hydro-climatological research. *Hydrological Sciences Journal*, 55(2), 139-144.
- Cunderlik, J. M. & Burn, D. H. (2002). The use of flood regime information in regional flood frequency analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 47(1), 77-92.
- Cunderlik, J. M. & Burn, D. H. (2003). Non-stationary pooled flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 276(1-4), 210-223.
- Escalante-Sandoval, C. A. & Reyes-Chávez, L. (2002). Análisis Regional Hidrológico (pp. 157-202). Capítulo 8. En: *Técnicas Estadísticas en Hidrología*. México, DF: Facultad de Ingeniería de la UNAM.
- Fang, X., Thompson, D. B., Cleveland, T. G., Pradhan, P. & Malla, R. (2008). Time of concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 134(2), 202-211.
- Gericke, O. J. & Smithers, J. C. (2014). Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation. *Hydrological Sciences Journal*, 59(11), 1935-1971.
- Grimaldi, S., Petroselli, A., Tauro, F. & Porfiri, M. (2012). Time of concentration: a paradox in modern hydrology. *Hydrological Sciences Journal*, 57(2), 217-228.
- Hosking, J. R. M. & Wallis, J. R. (1997). *Regional Frequency Analysis. An approach based on L-moments* (224 pp.). Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- Leclerc, M. & Ouarda, T. B. M. J. (2007). Non-stationary regional flood frequency analysis at ungauged sites. *Journal of Hydrology*, 343(3-4), 254-265.
- McCuen, R. H. (2009). Uncertainty analyses of watershed time parameters. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(5), 490-498.
- Meylan, P., Fabre, A. C., & Musy, A. (2012). *Predictive hydrology. A frequency analysis approach* (212 pp.). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Mockus, V. (1972). Hydrologic soil-cover complexes. Chapter 9 (pp. 9.1-9.11). In: *National engineering handbook. Section 4: Hydrology*. Washington, DC: US Soil Conservation Service.
- Prosdocimi, I., Kjeldsen, T. R., & Svensson, C. (2014). Non-stationarity in annual and seasonal series of peak flow and precipitation in the UK. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(5), 1125-1144.
- Ramírez, A. I., Gutiérrez-López, A., & Ruiz-Silva, H. L. (2009). Análisis de la ocurrencia en el tiempo de los gastos máximos en México. *Ingeniería Hidráulica en México*, 24(1), 115-124.
- Rao, A. R., & Hamed, K. H. (2000). *Flood frequency analysis* (350 pp.). Boca Raton, USA: CRC Press.
- Temez, J. R. (1978). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales* (113 pp.). Madrid: Dirección General de Carreteras del Ministerio de Obras Públicas.
- Williams, G. R. (1950). Hydrology. Chapter IV (pp. 229-320). In: *Engineering Hydraulics*. Rouse, H. (ed.). New York: John Wiley & Sons.

RESPUESTA AL POLEMISTA

El artículo se centra en dos aspectos: 1) cómo podemos estimar *los gastos máximos anuales asociados con distintos periodos de retorno* en una cuenca para la que se cuenta con mediciones en su estación hidrométrica, y 2) cómo podemos hacerlo en sitios en donde no se cuenta con mediciones. Para ambos casos se utiliza como parámetro base el promedio de los gastos máximos anuales registrados en las estaciones hidrométricas.

En el primer caso, al dividir cada valor de los gastos máximos anuales registrados en una estación hidrométrica entre su media se obtienen valores transformados, cuya media es 1 en todas las estaciones; de tal manera que si se consideran aquellas en las que la variabilidad relativa a dicha media (el coeficiente de variación) es similar, se obtendrán muestras con la misma media y con un segundo momento semejante. Al pensar en los aspectos que inciden en esa variabilidad relativa, consideramos que, por un lado, en general, conviene no agrupar cuencas (estaciones) de diferente región hidrológica (RH) y, por otro, dentro de cada RH, analizar los aspectos que pueden incidir en la variabilidad (en relación con su media) de los gastos máximos registrados en las distintas estaciones (p. ej., la forma en que inciden los fenómenos meteorológicos y muy particularmente si son afectados de manera directa o no por los huracanes).

Dado que la hipótesis implícita es que las muestras ampliadas provienen de la misma población (se consideraron como opciones las funciones Gumbel y Doble Gumbel), se verificó la hipótesis primero con la prueba de Fisher; cuando dicha prueba llevaba a rechazarla, se generaron 10 registros sintéticos del tamaño de la muestra histórica, verificando que se obtuviera un rango de coeficientes de variación, que incluyera el rango correspondiente a las muestras históricas. Queremos enfatizar que no hablamos de "homogeneidad hidrológica", que consideramos un concepto demasiado amplio e

impreciso, y que sólo nos interesa la "homogeneidad" en relación con las variaciones de los máximos de cada año respecto a su media.

En cuanto al punto 2), utilizamos nuevamente como parámetro a estimar a la media de los gastos máximos anuales, y consideramos que dicha media depende de *indicadores* de lo que llueve en la cuenca (su área y su precipitación o el producto de ambos), de las pérdidas y de la velocidad de respuesta de la cuenca. Los indicadores adecuados de las pérdidas y de la velocidad de respuesta no son evidentes; en particular, los indicadores de la velocidad de respuesta (la longitud del cauce principal, el tiempo de concentración, por ejemplo) están correlacionados con el área de la cuenca, de tal manera que, efectivamente, en la ecuación global de ajuste existe una correlación espuria. Se recomienda por ello que al seleccionar la función de ajuste se verifique que los exponentes de cada indicador tengan un sentido lógico.

Queremos resaltar que el trabajo que se está realizando ha implicado un arduo proceso de depuración de la información, que no sólo incluye la verificación de la independencia y homogeneidad de las series sino varias cosas más, dentro de las que destaca la verificación de valores muy grandes o muy chicos (en el primer caso, si ocurrió una tormenta importante, si en las cuencas vecinas también se registraron valores importantes, etc., y en el segundo de una forma más cualitativa). También se verificó que las cuencas asociadas con las estaciones hidrométricas no tuvieran obras importantes aguas arriba, es decir, que se conservara la naturaleza aleatoria de los escurrimientos.

Comentarios específicos (procurando seguir el orden en que expone el polemista)

Efectivamente, no se expone en el artículo cómo se verificó la homogeneidad y la independencia de los registros, lo que no significa que no se hiciera un análisis al respecto. En el primer caso,

se detectaron, por ejemplo, los casos de las cuencas del oriente del valle de México en los que las actividades del Plan Lago de Texcoco han hecho que los gastos máximos anuales se reduzcan de forma considerable; respecto a la independencia, es claro que al tratarse de registros de gastos máximos anuales, éstos son independientes (excepto si, por ejemplo, el máximo de un año ocurre a fines de diciembre y el del año siguiente a principios de enero). Cabe comentar que, en nuestra opinión, son ya muchos los trabajos que ocupan un gran espacio describiendo cómo a cada registro se le aplican varias pruebas de homogeneidad y de independencia.

Estamos de acuerdo en que el inciso de la página 18 titulado "Agrupación de regiones", se debió llamar "Agrupación de estaciones hidrométricas". En cambio, no estamos de acuerdo en que no se deben formar grupos dentro de las regiones; de hecho, si no se hace esa subdivisión, la hipótesis de que los valores transformados provienen de la misma población no se podría sostener.

Respecto a la sugerencia de tomar en cuenta una verificación de la homogeneidad hidrológica regional con base en la fecha de ocurrencia media y la regularidad estacional de los gastos máximos anuales, consideraremos estudiarla, aunque *a priori* no vemos su sentido.

Como ya se mencionó, se utilizaron como opciones sólo las funciones Gumbel y Doble Gumbel; la elección de una de ellas se realizó por inspección visual de la gráfica que relaciona

$x = -Ln(\ln(Tr)/(Tr-1))$ con los gastos máximos. Cuando en esa gráfica se observa la conformación de dos poblaciones usamos doble Gumbel (además, se verificó que los puntos de la segunda población provinieran de eventos meteorológicos extremos, en particular huracanes o lluvias extremas de invierno).

En efecto, la obtención de exponentes positivos en las dos variables predictivas S y Tc implica una relación incorrecta de la ecuación empírica de la media del Qma . Así lo decimos en las conclusiones y recomendaciones.

El polemista tiene razón en que faltó una explicación respecto a las figuras 3 y 5; en la primera se habían considerado 15 estaciones y se consignó el coeficiente de determinación que da el EXCEL© directamente al ajustar una función potencial (que es mayor al que se obtiene en forma más estricta con la ecuación $R^2 = (\text{variancia de } y - \text{variancia del error}) / \text{variancia de } y$).

La figura 5 tiene menos puntos debido a que se eliminaron algunas estaciones hidrométricas de las cuencas de la cuenca del Cutzamala por el manejo artificial de esa cuenca, así como la estación hidrométrica Mezcala, cuyos datos son prácticamente los mismos que los de la estación Santo Tomás.

Finalmente, agradecemos al polemista la disertación sobre el tiempo de concentración y cómo estimarlo; para nosotros sólo es un *indicador* que involucra en un solo parámetro ($l/s^{0.5}$) la velocidad de respuesta de la cuenca.