

Variabilidad de las Anomalías de Caudales Medios Mensuales con el Área de la Cuenca

Catalina Góez Arango
Estudiante de Maestría
Correo electrónico: cgoeza@unalmed.edu.co

Germán Poveda Jaramillo
Profesor Asociado
Correo electrónico: gpoveda@unalmed.edu.co

Posgrado en Recursos Hidráulicos. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente.
Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Carrera 80 No 65- 223, Bloque M2.
Teléfono: 4255100. Fax: 4255103. Medellín.

Preparado para presentación en el
XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología
Sociedad Colombiana de Ingenieros
Sociedad de Ingenieros del Quindío
Universidad del Quindío
Corporación Autónoma Regional del Quindío
Armenia 29, 30 y 31 de octubre de 2004

Resumen. Se estudia la variabilidad de las anomalías estandarizadas de los caudales medios mensuales con respecto al área de drenaje de la cuenca, usando registros históricos de caudales medios mensuales sobre estaciones localizadas a lo largo del cauce principal de las cuencas de los ríos Magdalena-Cauca en Colombia y Tocantins-Purus en Brasil. Las anomalías estandarizadas se definen como las desviaciones de los caudales con respecto a la media del mes, escalados por la desviación típica mensual. Se realizaron análisis estadísticos para cuantificar la variabilidad de los momentos de la distribución de las series de anomalías, incluyendo el coeficiente de asimetría y el coeficiente de curtosis, y de cómo se comportan a medida que crece el área de drenaje de la cuenca. Se efectuaron análisis de correlación entre las series de anomalías en estaciones a lo largo de los cauces principales. Para las cuencas estudiadas se encontró un comportamiento decreciente entre los coeficientes de correlación de las anomalías a medida que el área de drenaje aumenta, hecho que puede ser el resultado de la capacidad de regulación que va adquiriendo la

cuenca a medida que el área de drenaje se incrementa. Para la cuenca del río Purus se obtuvo un comportamiento decreciente del coeficiente de correlación y de la curtosis con el área, y para las demás cuencas el comportamiento de estos momentos es variable con el área. Se encuentra que la correlación entre de las anomalías escala con el área de la cuenca propia, es decir, con la diferencia entre las áreas de drenaje de ambas estaciones. Estos resultados sirven para la estimación de las anomalías mensuales en cuencas sin medición y permiten un mejor entendimiento de la variabilidad hidrológica de los caudales a lo largo de cuencas hidrográficas, con importantes aplicaciones en el diseño, operación y manejo de recursos hídricos.

1. Introducción

La información hidroclimatológica se utiliza en la práctica de la ingeniería como un instrumento en el diseño y construcción de obras públicas, estudios de prefactibilidad de generación de energía, análisis de riesgos, predicción climatológica, etc. El uso de esta información en conjunto con el uso de herramientas estadísticas permite un mejor entendimiento y manejo de los múltiples procesos que intervienen en el complejo sistema clima.

Con este trabajo se busca encontrar algún vínculo entre las anomalías de los caudales medios mensuales y el área de drenaje, en algunas estaciones ubicadas sobre las cuencas de los ríos Magdalena-Cauca en Colombia y Tocantins-Purus en Brasil. Este tipo de análisis adquiere una gran importancia cuando se requiere evaluar procesos en los cuales las cantidades estimadas dependen del caudal a lo largo de la red.

El análisis propuesto en este trabajo consiste en la evaluación de las anomalías, las cuales con sus respectivos ajustes se pueden tomar como una alternativa de reconstrucción de datos hidrológicos, hecho que es bastante beneficioso cuando se presenta escasez de información.

2. Registro de Variables y Estaciones Seleccionadas

Los registros aquí empleados para la cuenca del Magdalena y Cauca proceden del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y los registros utilizados para la cuenca del Tocantins y Purus se tomaron de una página en Internet (LBA-HydroNET, 2004). Estos registros corresponden a series de caudales medios mensuales.

Se descartaron, de todas las series de caudales medios mensuales disponibles, aquellas cuyos períodos de registro eran menores a 19 años. Asimismo, se verificó que las estaciones tuvieran una buena distribución espacial, que los períodos de registro entre estaciones de la misma cuenca fueran iguales y que dado el caso de que existieran datos faltantes el porcentaje de éstos fuera menor al 5%. En las series que existían datos faltantes se utilizaron dos métodos diferentes para la reconstrucción de dichos vacíos (Poveda y Betancur, 1983) y a los demás datos existentes no se les hizo ningún tipo de corrección, ignorando de esta manera cualquier tipo de error que pudo existir durante la recolección.

Las longitudes de registro elegidas fueron, para los ríos en la cuenca del Magdalena 36 años (1959-1994), para el Cauca 26 años (1965-1990), para el Tocantins 20 años (1979-1998) y para los ríos en la cuenca del Purus 19 años (1968-1986). Bajo este criterio se seleccionaron las estaciones que se muestran en la Tabla 1 (Ver Figura 1).

Tabla 1. Estaciones seleccionadas.

NÚMERO	NOMBRE ESTACIÓN	CORRIENTE	ÁREA (km ²)	LAT	LONG
1	Pte. Santander	Magdalena	15705	2.98	-75.30
2	Purificación	Magdalena	26115	3.85	-74.95
3	Nariño	Magdalena	47910	4.38	-74.85
4	Arrancaplumas	Magdalena	54359	5.18	-74.72
5	Pto. Salgar	Magdalena	56905	5.47	-74.67

6	Pto. Berrio	Magdalena	74410	6.50	-74.38
7	Calamar	Magdalena	257438	10.25	-74.92
8	Suarez	Cauca	3652	2.95	-76.70
9	La Balsa	Cauca	5451	3.08	-76.60
10	Hormiguero	Cauca	8018	3.28	-76.48
11	Juanchito	Cauca	9066	3.45	-76.48
12	Guayabal	Cauca	16036	4.40	-76.10
13	La Victoria	Cauca	16737	4.52	-76.03
14	La Virginia	Cauca	22814	4.90	-75.88
15	Irra	Cauca	25472	5.27	-75.68
16	La Pintada	Cauca	27452	5.73	-75.60
17	Pto. Valdivia	Cauca	37966	7.28	-75.38
18	La Coquera	Cauca	41699	7.97	-75.20
19	São Felix (A/B)	Tocantins	57062	-13.53	-48.13
20	Peixe	Tocantins	130352	-12.02	-48.55
21	Porto Nacional	Tocantins	173828	-10.70	-48.43
22	Tupiratins	Tocantins	243841	-8.23	-48.10
23	Carolina	Tocantins	276520	-7.33	-47.47
24	Tocantinópolis	Tocantins	290570	-6.32	-47.42
25	Descarreto	Tocantins	298559	-5.77	-47.48
26	Tucuruí	Tocantins	758000	-3.75	-49.68
27	Seringal da Caridade (PCD)	Purus	63166	-9.04	-68.57
28	Seringal Fortaleza	Purus	153016	-7.72	-66.98
29	Labrea	Purus	220351	-7.25	-64.80
30	Beaba (Cariuacanga)	Purus	347147	-5.02	-62.80

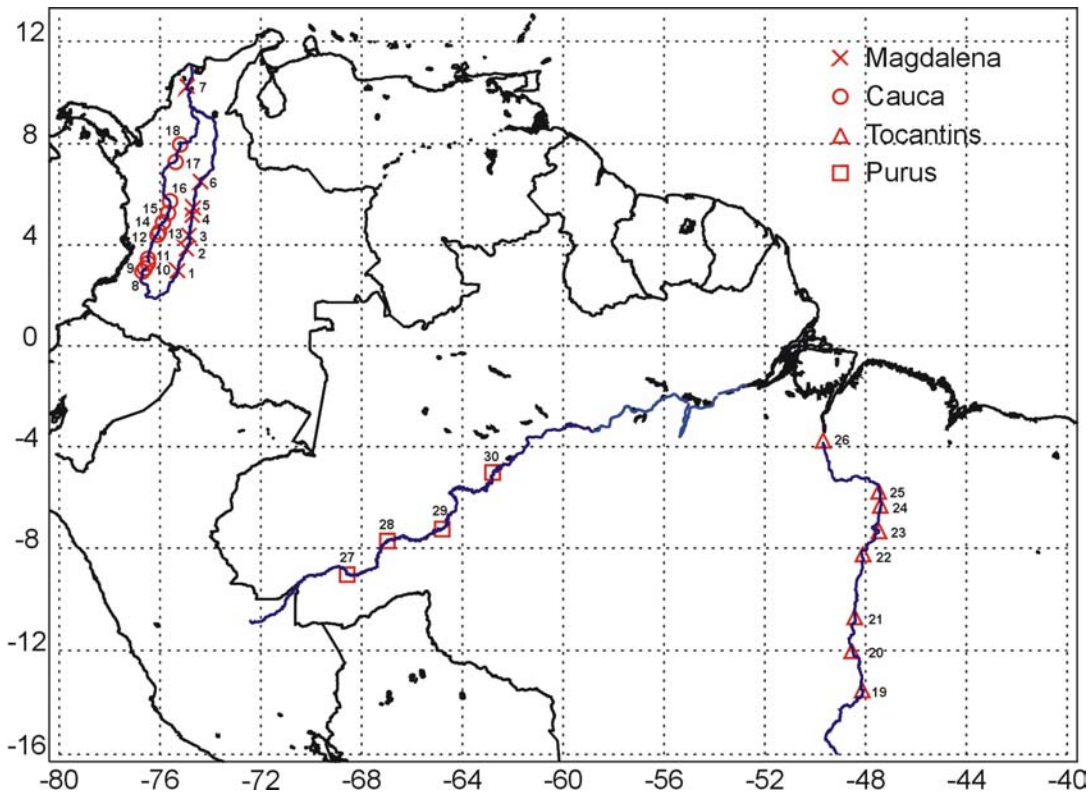


Figura 1. Ubicación de las estaciones seleccionadas.

3. Ciclo Anual de Caudales Medios Mensuales

Las series de caudales medios mensuales de los ríos Cauca y Magdalena cumplen un marcado ciclo anual y otro semianual (comportamiento bimodal), mientras que el comportamiento de los caudales medios mensuales en los ríos Tocantins y Purus presenta un evidente ciclo anual (comportamiento unimodal). Solo se muestra el resultado obtenido para una estación (Ver Figura 2.).

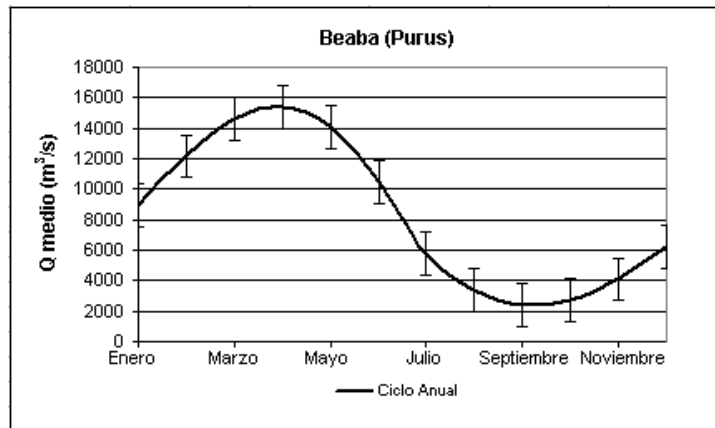


Figura 2. Ciclo Anual de caudales medios mensuales en la estación Beaba.

4. Series de Anomalías de las Estaciones Seleccionadas

Las anomalías estandarizadas se definen como las desviaciones de los caudales con respecto a la media del mes, escalados por la desviación típica mensual (Montgomery y Runger, 1996).

Para las anomalías se hizo una prueba gráfica y otra estadística para determinar si estas eran provenientes de una distribución normal. La prueba gráfica consistió en dibujar los histogramas de las series de anomalías superpuestos con la gráfica de una distribución Normal y comparar si a simple vista los histogramas de anomalías se ajustaban a la gráfica de la Normal. La Prueba de Kolmogorov-Smirnov (Press, 1989; Shahin, 1993), se aplicó con un nivel de significancia de 0.05, para todas las series de anomalías. En este caso la prueba se utilizó para verificar la hipótesis nula de que la distribución de las observaciones era Normal.

De ambas pruebas se concluyó que ninguna de las series de anomalías se distribuye normalmente. Esto también se puede corroborar con las gráficas de los coeficientes de asimetría contra el área, en las cuales se observa que para ninguna estación el coeficiente de asimetría es cero.

5. Correlaciones entre las Series de Anomalías

En la Figura 3, se presentan las correlaciones entre cada serie de anomalías y la serie de anomalías para una estación de mayor o menor área y en la Figura 4 se muestra el escalamiento de las anomalías con el área propia de drenaje de cada estación, es decir, con la diferencia de áreas entre la estación en mención y la estación inmediata de aguas arriba.

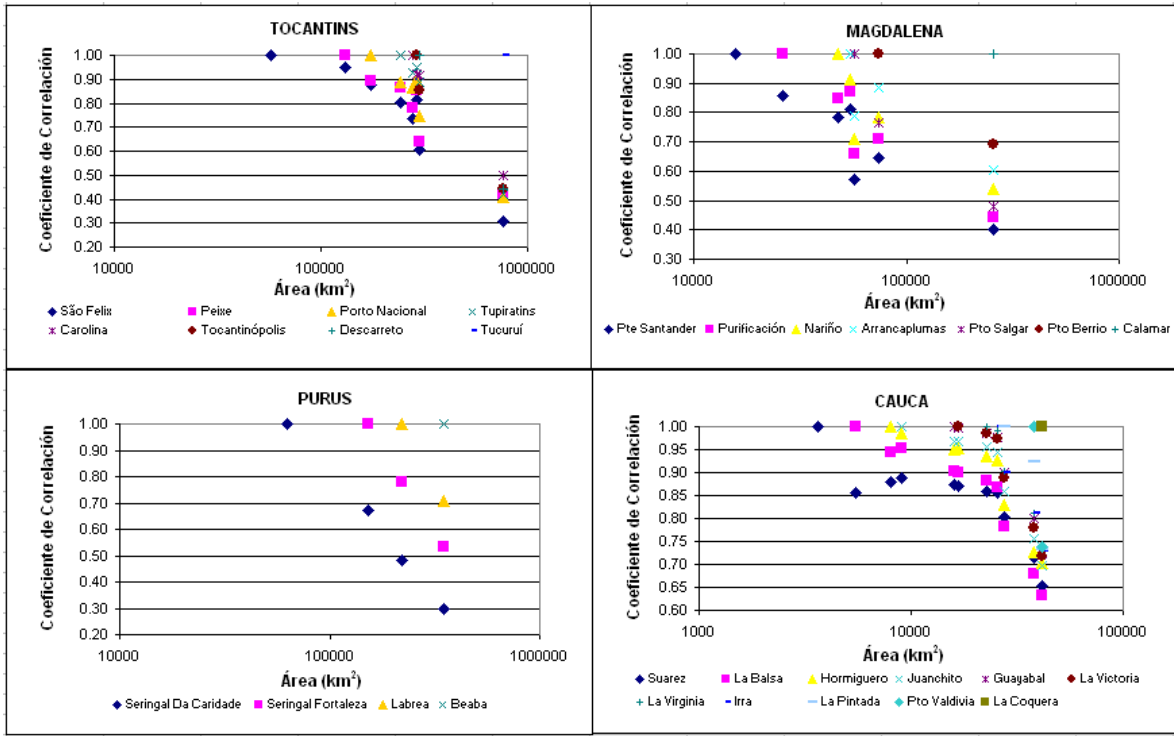


Figura 3. Correlaciones entre las anomalías de caudal medio en las estaciones seleccionadas.

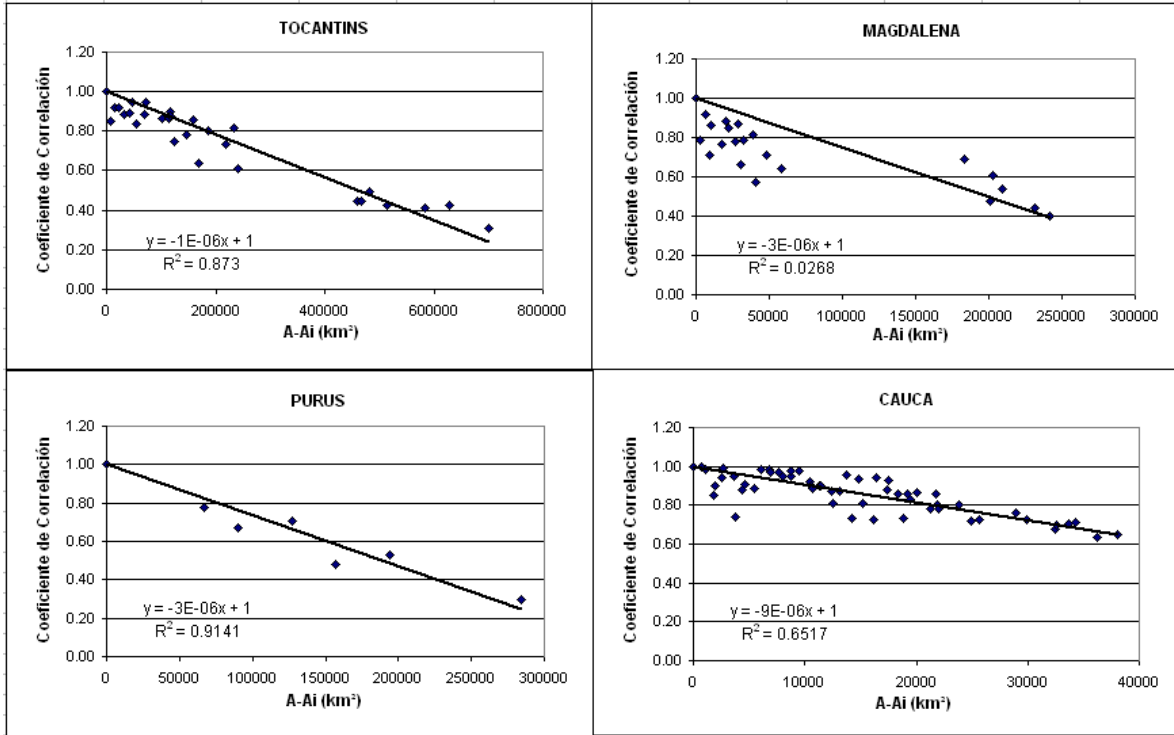


Figura 4. Correlaciones entre las anomalías de caudal medio y el área de drenaje propia de las estaciones seleccionadas.

6. Relaciones entre el Comportamiento del Caudal Medio y el Área

Se presentan a continuación las gráficas de la media, desviación estándar, coeficiente de asimetría y curtosis para todas la series de registros de los caudales medios, y las gráficas del tercer y cuarto momento de las anomalías del caudal medio interanual para todas las cuencas seleccionadas.

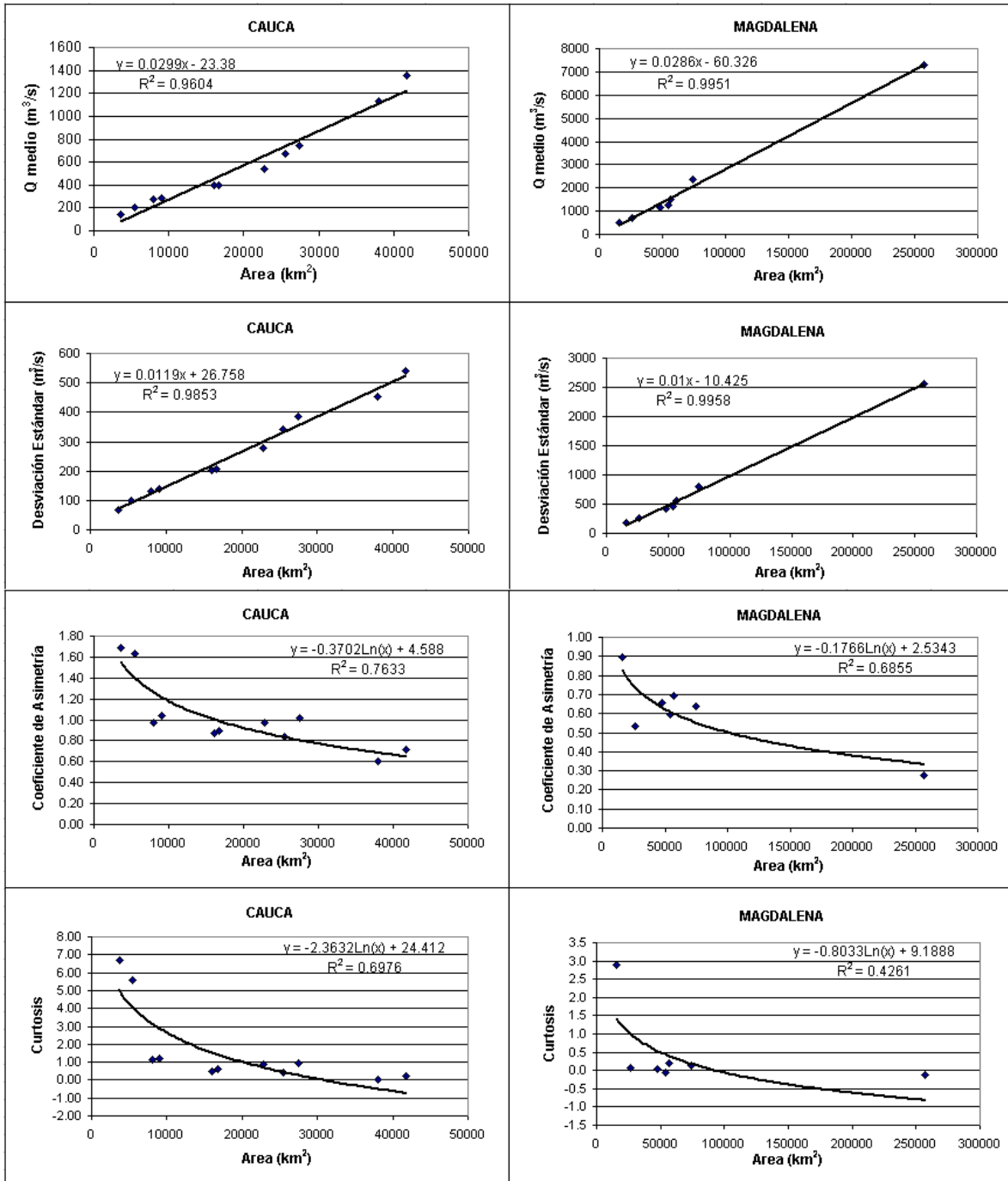


Figura 5. Relaciones entre los cuatro primeros momentos del caudal medio y el área de drenaje para las cuencas de los ríos Magdalena y Cauca.

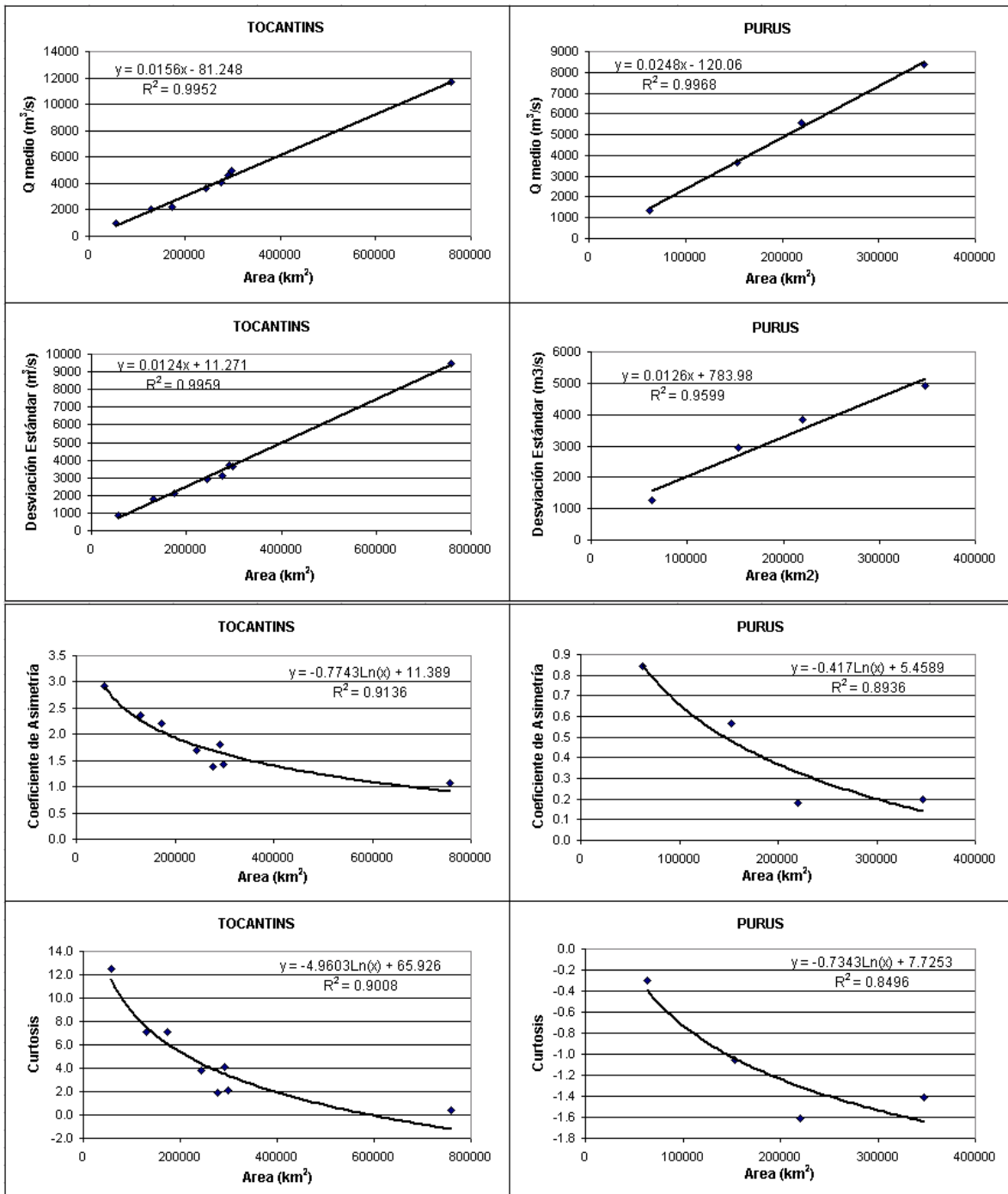


Figura 6. Relaciones entre los cuatro primeros momentos del caudal medio y el área de drenaje para las cuencas de los ríos Tocantins y Purus.

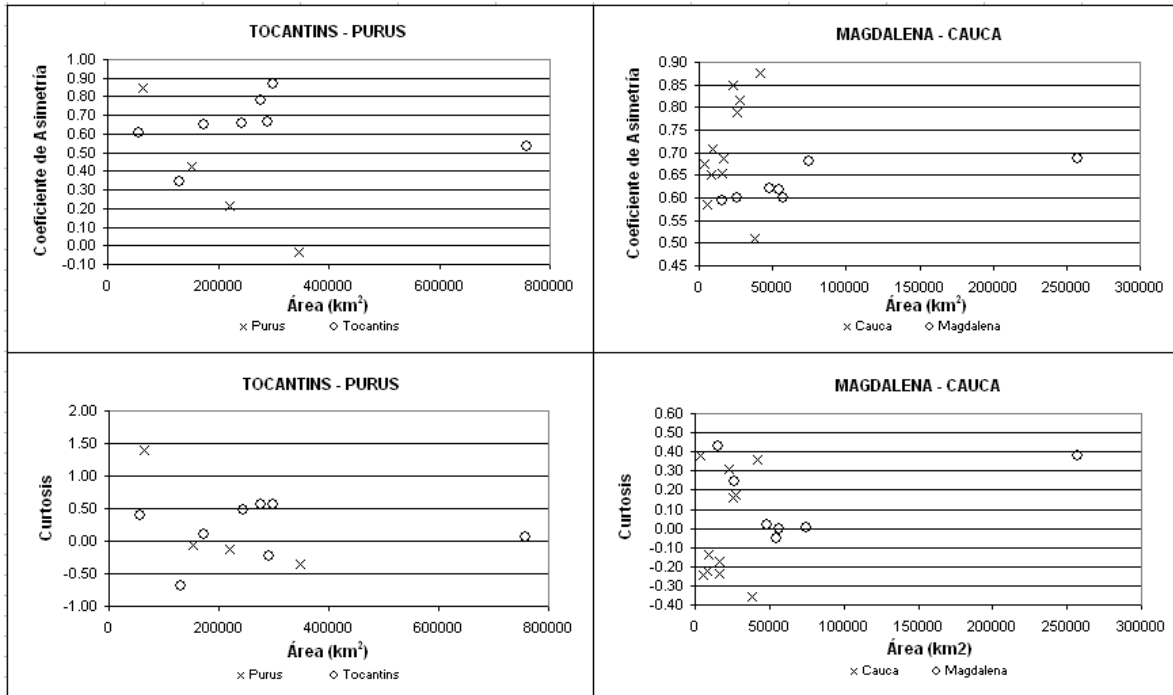


Figura 7. Relaciones entre el tercer y cuarto momento de las anomalías de los caudales medios mensuales y el área de drenaje para las cuencas de los ríos Magdalena-Cauca y Tocantins-Purus.

7. Análisis de Resultados

En la Figura 3 (correlaciones de anomalías), se observa una tendencia decreciente del coeficiente de correlación a medida que el área de drenaje aumenta, es decir, que las anomalías que se dan en una cuenca pequeña difieren de las que se presentan en cuencas más grandes. Este hecho puede ser el resultado de la capacidad de regulación que va adquiriendo el río a medida que el área de drenaje aumenta.

En la Figura 4, se nota que la correlación entre las anomalías, de las cuencas de los ríos Tocantins, Purus y Cauca, escala linealmente con el área de la cuenca propia, es decir, con la diferencia entre las áreas de drenaje de ambas estaciones. Para la cuenca del río Magdalena, aunque se observa un comportamiento decreciente, el coeficiente de correlación es muy bajo y no se puede afirmar que el decrecimiento es lineal.

De las Figuras 5 y 6, se puede observar que el caudal medio mensual y la desviación típica escalan linealmente con el área. También se nota, de la gráfica del coeficiente de asimetría, que en cuencas pequeñas el caudal medio se encuentra sesgado a la derecha, mientras que para cuencas más grandes estos sesgos van desapareciendo, es decir, la distribución de los caudales permanece mas centrada en la media. Además, se observa una disminución drástica en la curtosis, con el aumento del área, razón por la cual se podría pensar que existe un área límite a partir de la cual la distribución de los caudales medios comienza a aproximarse a una Normal. Para el tercer y cuarto momento de los caudales medios mensuales se observa un comportamiento logarítmico. Sería recomendable efectuar el mismo análisis con una mayor cantidad de estaciones y corrientes.

De la Figura 7, se nota que para la cuenca del río Purus se obtuvo un comportamiento decreciente del coeficiente de correlación y de la curtosis de las series de anomalías, con el área de drenaje, y para las

demás cuencas el comportamiento del tercer y cuarto momento de las mismas series es variable con el área.

La asimetría y la curtosis de las series de anomalías indican que estas muestras no provienen de una distribución normal, además si se observa la gráfica de la kurtosis, se nota que para estas series existe una gran intermitencia.

8. Conclusiones

A partir de este trabajo no es posible determinar claramente la relación que tienen los momentos de las anomalías de los caudales medios mensuales con el área de drenaje, en las cuencas estudiadas. Sin embargo, se observa un comportamiento decreciente de las correlaciones entre anomalías cuando el área de drenaje se incrementa y un escalamiento lineal de las correlaciones de las series de anomalías con el área de la cuenca propia.

Las series empleadas en análisis estadísticos siempre deben ser revisadas a la luz de la física del fenómeno que se está estudiando, de manera que no se presenten inconsistencias con la realidad. La no revisión previa de la información puede llevar a conclusiones equivocadas.

La robustez de las estimaciones se mejora de manera notable a medida que se aumenta la cantidad de datos con los que se trabaja.

Los resultados que se pueden dar a partir de la base propuesta para la realización de este trabajo son muy importantes desde el punto de vista práctico, ya que una buena implementación de las herramientas estadísticas, permite de una manera aproximada, realizar la reconstrucción de datos hidrológicos que servirán para su posterior utilización. No obstante, se debe tener en cuenta que las predicciones no son totalmente precisas.

Cuando se trabaja con datos reconstruidos se debe tener en cuenta que se está incluyendo una componente de incertidumbre en los resultados finales, por lo tanto las predicciones así realizadas no son totalmente precisas.

Cuando se hace este tipo de análisis, se recomienda que se efectúe paralelamente con estudios de la geomorfología y la vegetación de la cuenca, debido a que estos pueden ser unos fuertes reguladores de la intermitencia de los caudales.

9. Bibliografía

- [1] LBA-HydroNET Version 2.0 (2004). *A Regional, Electronic Hydrometeorological Data Network For The LBA Study Domain*. (<http://www.lba-hydronet.sr.unh.edu/station/maps/sa/english.html>, 2 marzo 2004).
- [2] Montgomery, D. y Runger, G. (1996). *Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería*. Santafé de Bogotá: McGraw-Hill.
- [3] Poveda, G. y Betancur, T. (1983). *Técnicas para la Reconstrucción de Registros Hidrológicos*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas. Medellín.
- [4] Press, W., et al. (1989). *Numerical Recipes*. Cambridge University Press.
- [5] Shahin, M., et al. (1993). *Statistical Analysis in Water Resources Engineering*. A.A. Balkema, Rotterdam.