

Influencia del carso en el régimen de escurrimiento de los ríos de Cuba.

Resultados preliminares

JOSÉ L. BATISTA SILVA y JAVIER E. RODRÍGUEZ RUBIO

RESUMEN

Mediante el tratamiento estadístico de los valores del escurrimiento mensual de muchos años, en 60 estaciones de aforo de la red hidrométrica nacional, se establece un parámetro que define el grado de estabilidad del régimen de escurrimiento fluvial y, a partir de éste, la influencia del carso en dicho régimen. La esencia del método consiste en calcular la desviación típica de los gastos promedios mensuales, con relación al gasto medio anual; y en la obtención de cuencas patrones con régimen zonal para territorios dados, que sirvan de comparación entre cuencas con poco e intenso desarrollo cársico. A partir de estos parámetros y de su comparación con los valores del escurrimiento subterráneo obtenido del análisis genético del escurrimiento fluvial, se propone una clasificación preliminar de los ríos de Cuba, en función del grado de estabilidad de su régimen de escurrimiento y del carácter e intensidad de la influencia del carso en dicho régimen. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados como indicadores para regionalizaciones hidrológicas y geomorfológicas, así como para estudios aplicados de hidrología cársica.

1. INTRODUCCIÓN

El problema de la circulación hídrica en las condiciones del carso y la determinación y cuantificación de la influencia de éste sobre el escurrimiento superficial, ha resultado sumamente conflictivo para la hidrología, y se trabaja desde hace algunos años en el desarrollo de investigaciones sobre el tema.

En Cuba, los estudios de esta línea revisten singular importancia, debido a que cerca de 70% del territorio emergido de nuestro archipiélago está constituido por rocas carbonatadas, afectadas en mayor o menor grado por el proceso de carsificación, en las cuales se concentra cerca de 90% de las reservas de aguas subterráneas y por donde circulan la inmensa mayoría de los ríos de Cuba, los cuales interactúan de una u otra forma con este medio geológico.

Manuscrito aprobado el 10 de junio de 1986.

J. L. Batista Silva y J. E. Rodríguez Rubio pertenecen al Instituto de Geografía, de la Academia de Ciencias de Cuba.

En los últimos años se han publicado artículos y monografías donde se menciona la influencia del carso en el régimen hídrico de los ríos cubanos, e incluso algunos autores (FAGUNDO y VALDÉS, 1975; FAGUNDO *et al.*, 1981; RODRÍGUEZ, 1983) han evaluado el carácter de esta influencia para casos particulares, mediante la aplicación combinada de métodos hidrológicos y físico-químicos; pero aún no ha sido evaluada la afectación del intenso desarrollo cársico del país en las características del escurrimiento fluvial, dadas nuestras condiciones tropicales.

El presente artículo, aunque no intenta responder totalmente a esta interrogante, constituye un primer paso en esta línea de investigación, y pretende realizar una caracterización preliminar de la influencia del carso en el régimen de escurrimiento de los ríos de Cuba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el procesamiento y elaboración de este artículo se ha utilizado la información de 60 estaciones hidrométricas de la red instalada y operada por el Instituto de Hidroeconomía, las que cuentan con series que varían entre 12 y 19 años. Aunque esta red de observación adolece de ciertas deficiencias en la cantidad y distribución de las estaciones, por haber sido diseñada con el único propósito de construir obras hidrotécnicas, y por lo tanto resulta insuficiente para este tipo de trabajo, se ha utilizado por no disponer en este momento de una información complementaria y tratarse de un estudio preliminar. En futuras investigaciones sugerimos la instalación de una red de apoyo equipada con limnigrafos.

La metodología aplicada en la determinación de los parámetros necesarios para el estudio y análisis de la influencia cársica en el escurrimiento, es la propuesta por GIGINEISHVILI (1979). Este autor considera que la caracterización del régimen hídrico de ríos afectados por el carso debe hacerse tanto en forma independiente como por la comparación con un río patrón con régimen zonal, es decir, que no tenga afectaciones cársicas.

Para evaluar el grado de variabilidad del escurrimiento, se emplea la desviación típica de los gastos promedios mensuales (σ) con relación al gasto medio anual

$$\sigma\% = \frac{\sigma Q}{Q} \cdot 100 = \frac{100}{Q} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} (Q_i - \bar{Q})^2}{12}}$$

donde, Q_i , Q – gasto medio mensual y anual, respectivamente.

La desviación típica de los gastos medios mensuales de los ríos estudiados la designaremos por σ , y la del río patrón por σ_p . El parámetro σ refleja solamente el grado de regulación de un río, pero la relación $\frac{\sigma}{\sigma_p}$ muestra el grado

de influencia del carso en su régimen de escurrimiento. A medida que el valor de esta relación se hace menor que 1, la estabilidad del escurrimiento tiene un

alto valor con relación al patrón zonal; por el contrario, si aumenta con relación a 1, su estabilidad es cada vez más baja.

Para el análisis de la influencia del carso en el escurrimiento de los ríos de Cuba, se dividió el territorio, según la regionalización hidrológica de BATISTA (1974), en tres regiones hidrológicas (Occidental, Central y Oriental) seleccionándose en cada una de ellas una cuenca no afectada por el carso para su utilización como cuenca patrón o de régimen zonal. Para ello fue utilizado el Mapa Carsológico de Cuba a escala 1:1 500 000 del Atlas Nacional de Cuba (1970).

Dado el carácter preliminar de este estudio y la escala regional para la que fue elaborado, se utilizó este grado de regionalización. En trabajos locales y en investigaciones regionales futuras deben seleccionarse cuencas patrones lo más cercanas posible a las cuencas en estudio, con alturas medias similares; y utilizar una regionalización hidrológica mucho más detallada, con el fin de lograr una mayor uniformidad de sus condiciones físico-geográficas.

Como un importante elemento comparativo para el análisis de la influencia del carso en el régimen de escurrimiento, fue utilizado el análisis genético del escurrimiento fluvial y, en especial, su componente subterránea (U), separada del escurrimiento superficial (S), de acuerdo a la metodología propuesta por LVOVICH (1974) y desarrollada por primera vez en nuestro país en el Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba; por Karasik y sus colaboradores (KARASIK *et al.*, 1980; RODRÍGUEZ y PÉREZ, 1981).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La influencia del carso sobre el escurrimiento fluvial se manifiesta en forma de una compleja combinación de intercambio de aguas superficiales y subterráneas, positivo y negativo, que, en general, puede afectar el balance hídrico de una cuenca de diferentes formas:

Redistribución interna del escurrimiento dentro de los límites de la cuenca de recepción, sin alteración del escurrimiento medio anual.

Integración al escurrimiento de la cuenca de aguas procedentes de cuencas o acuíferos vecinos, ocasionando un balance positivo del escurrimiento medio anual.

Entrega de parte de las aguas de la cuenca, subterráneamente a otras cuencas o acuíferos vecinos, provocando un balance negativo del escurrimiento medio anual.

Lógicamente, como todo proceso natural, la influencia del carso sobre el escurrimiento no se limita sólo a los tipos básicos antes mencionados. En las zonas cársicas pueden encontrarse ríos cuyos índices de escurrimiento no se someten a una acción concisa, sino a la combinación de diferentes tipos de afectación cársica.

Dependiendo del tipo y del grado de desarrollo cársico, su influencia puede manifestarse tanto en todos los parámetros del escurrimiento fluvial (escurrimiento medio anual, distribución en un año,

fluctuaciones de muchos años, escurrimientos extremos, etc.) como por alguno de ellos en particular.

Es por ello que la determinación del carácter de la influencia del carso en el escurrimiento resulta muy difícil en la mayoría de los casos, empleando solamente el material de las observaciones hidrométricas procesado por métodos clásicos, pues se requiere del diseño de una red hidrométrica especial con observaciones sistemáticas del régimen, al menos durante un año hidrológico, así como de minuciosas prospecciones del funcionamiento hidrológico del carso. Esto se debe a que, por una parte, los problemas de la alimentación, movimiento y descarga de las aguas en el carso, suelen presentar retardos considerables en función de las características litológico-estructurales de los macizos y de los acuíferos en ellos desarrollados.

Por otra parte, la influencia del carso no siempre se manifiesta de forma puntual (ponores con pérdidas masivas de caudal en las zonas de alimentación del carso y exurgencias con grandes gastos en las zonas de emisión), sino que, por lo general, se presenta en forma areal, con amplias zonas de pérdidas difusas en la zona de alimentación, e incluso a lo largo de varios kilómetros en los propios cauces fluviales; con zonas de emisión también discretas y generalmente asociadas a la red fluvial, lo que dificulta su detección y enmascara su influencia en el régimen de escurrimiento anual, sobre todo durante el período lluvioso.

Uno de los autores del presente trabajo (RODRÍGUEZ, 1983) estudió la influencia del carso sobre el escurrimiento fluvial en la cuenca del Río Cuyaguatete, encontrando, por una parte, que dicha influencia en este río se manifiesta como una compleja combinación de diferentes tipos de afectación cársica, cuyo resultado final no afecta el escurrimiento medio anual, por producirse una redistribución interna del escurrimiento dentro de los límites de la cuenca de recepción. Por otro lado, determinó que, a pesar de que esta influencia se manifiesta parcialmente de forma puntual, se enmascara al analizar la información hidrométrica anual e hiperanual de las tres estaciones existentes en la cuenca; y solamente al analizar el período menos lluvioso (noviembre-abril en la distribución mensual del escurrimiento de la estación intermedia (La Güira), y compararla con la de las otras dos estaciones (V Aniversario y Portales II), se detecta el carácter negativo de dicha influencia para este sector de la cuenca.

Utilizando los datos mensuales de las 60 estaciones hidrométricas consideradas (Tabla 1), se calculó la desviación típica del escurrimiento mensual (σ) de los ríos, y a partir de los valores de desviación de los ríos seleccionados para cada región hidrológica (σ_p), fueron calculados los valores de la relación $\frac{\sigma}{\sigma_p}$. Para la región Occidental,

6 TABLA 1. Distribución promedio mensual y anual del escurrimiento, durante el período observado (m³/s). El río y su correspondiente estación aparecen unidos por guión.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Años	Q
OCCIDENTAL													
1. Cañas-Cañas													
3,4	3,4	3,4	3,4	3,9	5,4	4,5	4,5	5,9	4,6	3,8	3,5	16	4,14
2. San Juan-San Juan													
0,7	0,7	0,7	0,6	1,0	1,8	1,1	1,3	1,9	1,3	0,9	0,7	16	1,06
3. Mayabeque-Pedroso													
5,7	5,5	5,3	5,1	5,5	11,6	9,0	8,9	9,8	10,5	7,5	6,4	11	7,57
4. San Diego-Los Gavilanes													
0,8	0,7	0,6	0,8	2,3	5,2	3,7	4,5	5,7	4,6	2,4	1,0	20	2,69
5. Santa Cruz-Santa Ana													
0,4	0,4	0,4	0,6	1,4	3,1	1,5	1,5	2,2	2,2	1,0	0,4	16	1,26
6. San Cristóbal-La Campana													
1,7	1,2	0,9	1,3	2,6	6,0	3,5	3,5	4,9	5,9	2,4	1,4	18	2,92
7. Mani-Mani-M. Guajaibón													
1,1	1,0	1,2	1,0	2,4	6,0	3,0	3,2	4,4	4,1	2,6	1,3	16	2,55

8. Paso Viejo-La Conchita													
0,5	0,5	0,5	1,3	2,9	5,0	3,1	2,5	5,4	3,6	2,1	0,7	14	2,52
9. Caimito-El Central													
0,4	0,4	0,3	0,5	0,7	2,7	2,0	4,7	2,5	1,8	1,7	0,7	13	1,27
10. Jaruco-Las Gávilas													
0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	1,3	0,7	1,6	0,8	0,8	0,7	0,3	18	0,51
11. Cuyaguatete-Portales													
1,9	1,6	1,9	4,2	9,4	31,5	17,6	0,5	27,3	16,6	9,5	2,6	20	12,2
12. Cuyaguatete-V Aniversario													
0,76	0,94	0,80	1,4	3,5	7,75	4,61	22,4	8,3	4,9	2,99	0,98	14	3,64
13. San Juan y Martínez-El Tabaco													
0,3	0,3	0,20	0,8	1,4	4,3	2,2	7,4	3,9	2,7	1,7	0,4	15	1,80
14. Guamá-Hoyo de Guamá													
0,2	0,3	0,3	0,7	1,3	3,4	1,2	3,4	2,5	1,3	1,0	0,3	12	1,14
15. Hondo-Pilotos													
0,4	0,5	0,4	0,4	1,5	4,3	2,9	1,2	4,4	2,6	1,3	0,5	16	1,9
16. Taco-Taco-El Jardín													
0,3	0,3	0,3	0,4	1,1	3,11	1,1	3,6	1,8	1,6	1,2	0,3	17	1,07

(Continúa)

TABLA 1 (Continuación)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Años	Q
					17. Bacunagua-Santo Domingo								
0,4	0,3	0,3	0,7	1,9	4,9	2,4	2,3	3,3	2,8	1,3	0,4	17	1,75
					18. Los Palacios-El Rosario								
0,6	0,7	0,8	0,9	1,6	6,8	4,1	4,8	4,9	4,0	2,2	0,7	14	2,67
					19. Canimar-Paso Las Piedras								
0,5	0,5	0,8	0,4	2,2	8,7	4,6	4,0	8,4	4,6	1,6	0,6	7	3,03
					CENTRAL								
					1. Jabacoa-Praga								
0,6	0,5	0,4	0,4	1,2	3,4	2,0	1,7	2,5	2,5	1,2	0,7	19	9,37
					2. Agabama-Sopimpa								
2,0	1,9	1,5	1,4	7,4	17,1	10,2	14,3	19,0	24,6	8,9	4,0	13	2,29
					3. Camajuani-Paso Ibarra								
0,8	0,6	0,4	0,6	2,2	4,7	2,5	2,5	3,0	6,4	2,7	1,1	16	1,07
					4. Yayabo-B. Arias								
0,3	0,3	0,2	0,3	1,1	1,7	1,1	2,1	2,0	2,4	0,9	0,4	10	3,38

5. Jatibonico del Norte-El Río													
1,0	1,0	0,6	0,6	3,1	8,6	4,0	3,2	4,6	8,7	3,6	1,6	18	9,57
6. Zaza-Paso Ventura													
2,1	1,6	1,4	1,6	8,2	24,9	12,5	11,9	15,5	23,0	8,8	3,4	19	8,21
7. Damují-Rodas													
1,7	1,5	1,5	1,1	6,1	23,1	12,9	10,2	18,2	14,4	5,0	2,2	20	3,36
8. Caunao-San Fernando													
0,8	0,6	0,5	0,4	1,6	8,8	4,4	4,1	7,1	8,1	2,8	1,1	16	6,73
9. Sagua la Grande-Sto. Domingo													
1,2	1,0	1,1	1,0	4,7	16,4	9,7	7,2	11,8	19,0	5,8	1,9	13	2,17
10. Saramaguacán-Sta. Rita													
0,5	0,4	0,3	0,2	3,5	5,8	2,2	1,8	3,0	5,6	2,2	0,6	18	4,05
11. Sevilla-La Fortaleza													
0,8	0,5	0,4	0,6	6,2	11,2	5,9	5,5	5,9	8,7	2,2	0,7	12	0,76
12. Aguas Blancas-Limones													
0,08	0,06	0,1	0,86	1,0	2,1	0,8	1,0	1,3	1,8	0,6	0,2	17	3,24
13. Chambas-Pte. C. Norte													
0,7	0,6	0,5	0,2	4,9	9,9	3,0	2,6	3,9	8,1	3,1	1,1	16	2,1

(Continúa)

6. Buey-San Miguel													
1,3	0,8	0,8	1,2	2,6	5,0	2,3	2,5	3,3	3,0	1,3	21	2,31	
7. Bayamo-La Bayamesa													
3,1	3,1	2,4	4,0	12,7	9,7	3,1	6,8	9,2	9,8	11,5	4,1	15	6,62
8. Chaparra-El Roble													
0,9	0,6	0,4	0,4	3,0	4,5	2,0	1,9	2,4	5,2	3,7	1,2	14	2,18
9. Mayarí-Río Arriba													
3,6	2,5	1,9	2,2	11,4	20,1	10,0	8,0	14,0	19,7	16,7	6,0	17	9,67
10. Sagua de Tánamo-El Infierno													
1,7	1,3	1,4	1,5	8,8	10,5	5,7	5,8	9,2	10,1	5,9	2,4	19	5,36
11. Yateras-Palenquito													
0,9	0,7	0,6	1,0	2,3	2,6	1,2	0,8	1,8	4,4	2,4	1,1	22	1,65
12. Bano-Santa Rosa													
0,5	0,5	0,5	1,0	3,1	2,3	1,1	1,3	3,1	4,1	1,9	1,1	17	1,7
13. Guá-Buenavista													
0,3	0,2	0,2	0,7	1,1	1,2	1,2	2,2	2,6	2,0	0,9	0,4	10	1,08
14. Yara-Antón Sánchez													
2,9	1,5	1,6	2,8	3,8	8,9	6,9	10,4	9,5	14,8	9,6	3,6	6	6,36

(Continúa)

TABLA 1 (Continuación)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Años	Q
2,1	2,1	1,6	2,3	10,5	10,6	2,6	3,5	6,8	7,4	6,3	3,0	17	4,9
15. Bayamo-La Virgen													
0,9	0,5	0,4	1,0	2,9	2,8	0,8	1,0	1,2	2,0	2,6	1,0	18	1,42
16. Cautillo-La Fuente													
0,1	0,1	0,06	0,1	0,3	0,5	0,1	0,3	0,5	0,5	0,3	0,2	19	0,24
17. Camazán-Limoncito													
0,4	0,3	0,1	0,09	0,8	2,0	0,7	0,4	0,6	1,4	1,1	0,3	13	0,68
18. Gibara-El Jobo													
0,2	0,1	0,2	0,3	2,2	1,8	1,3	1,5	2,9	3,9	1,8	0,4	12	1,38
19. Jaibo-Marianal													
0,3	0,4	0,2	0,4	2,5	2,7	0,8	0,5	1,6	3,6	1,4	0,3	16	1,22
20. Guaso-Caguairanes													
0,9	0,5	0,4	0,6	2,8	2,8	0,8	0,8	2,8	6,2	2,4	0,9	22	1,82
21. Baconao-Trucutú													
0,03	0,03	0,03	0,06	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1	0,06	12	0,13
22. Yareyal-Yareyal													

2,4	3,4	2,1	3,4	24,3	26,0	19,3	9,4	19,9	32,1	10,5	4,8	15	13,1
23. Cauto-Salto Travesía													
1,1	0,5	0,4	0,4	3,6	2,8	1,5	1,5	2,9	11,5	4,2	1,2	12	2,63
24. Guantánamo-Sta. Sofía													
0,5	0,4	0,4	0,4	5,4	17,2	6,3	2,3	4,3	12,9	3,8	1,1	13	4,58
25. Salado-San Carlos													
0,1	0,09	0,05	0,07	0,8	2,0	0,7	0,6	1,2	1,3	0,6	0,1	19	0,63
26. La Rioja-Moscones													

se tomó como patrón la cuenca del Río Caimito hasta el cirre de la Estación El Central; en la región Central se utilizó la del Yayabo hasta el cierre de la estación B. Arias, y en la Oriental, la cuenca del Mayarí hasta la estación Río Arriba.

En general, y dadas las características de nuestras condiciones climáticas, los valores de σ para todo el territorio nacional resultan bastante elevados (70-112%) con relación a ríos de otras latitudes; esto es un reflejo de la inestabilidad de nuestro régimen de escurrimiento provocada fundamentalmente por la gran variabilidad de las precipitaciones como principal fuente de alimentación; pues como se puede apreciar en la Tabla 1, la mayor parte de los ríos de Cuba tienen sus más altos escurrimientos en los meses de la temporada lluviosa (mayo-octubre), disminuyendo bruscamente sus gastos en el período menos lluvioso (noviembre-abril).

Los valores de estabilidad del escurrimiento con respecto a los patrones zonales (σ/σ_p), denotan determinada relación de dependencia con los valores de variabilidad del escurrimiento (σ) y, con ciertas excepciones, su relación para determinada cuenca es directamente proporcional.

Atendiendo a estos resultados, se propone clasificar los ríos de Cuba en cinco tipos, en función del grado de regulación y de la influencia del carso en dicho régimen (Tabla 2).

Lo anteriormente expuesto no significa que en el complejo proceso de interacción de los distintos factores físico-geográficos no surjan variantes de complejos naturales que originan desviaciones de las relaciones señaladas. En la Tabla 3, donde se expone la distribución de las cuencas estudiadas en función de la clasificación propuesta, se manifiesta lo planteado anteriormente, pues nueve de las estaciones estudiadas, presentan desviaciones en los valores de σ/σ_p , lo que las sitúa en posiciones intermedias con relación a los tipos propuestos.

TABLA 2. Clasificación de los ríos de Cuba, en función del grado de regulación y de la influencia del carso en el régimen de escurrimiento.

Tipo	σ %	σ/σ_p
I Muy estables	40	0,6
II Estables	40-60	0,6 -0,9
III Zonales	60-70	0,9 -1,10
IV Inestables	70-90	1,10-1,40
V Muy inestables	90	1,40

TABLA 3. Distribución de las cuencas estudiadas, en función de la clasificación propuesta.

Tipo	Cantidad de cuencas	%	Regiones		
			Occidental	Central	Oriental
I	3	5,0	3		
II	7	11,7			7
III	17	28,3	7	1	9
IV	20	33,3	8	6	6
V	4	6,7	1		3
Ríos con desviaciones en la clasificación					
III-IV	6	10,0		5	1
IV-V	3	5,0		3	
Totales	60	100	19	15	26

Resulta altamente significativo el hecho de que los ríos del tipo I que presentan el mayor grado de estabilidad en su régimen de escurrimiento (Tabla 4) se localizan en la parte Occidental de la llanura Habana-Matanzas (Ríos Cañas, San Agustín y Mayabeque), que tienen, como es conocido, una marcada influencia positiva del carso en su régimen de alimentación; que es fundamentalmente subterráneo, a expensas de las cuencas hidrológicas cársicas San Juan - San Agustín - Cañas y Jaruco - Aguacate, respectivamente, lo que da lugar a la excepcional regulación de sus gastos. Esto se refleja claramente en el análisis genético del escurrimiento de dichos ríos (Tabla 4), los cuales presentan los mayores valores de la componente subterránea (U) del país (74, 63 y 70% de la lámina total, respectivamente).

Por constituir un caso excepcional en las condiciones de alimentación de los ríos de Cuba, los ríos del tipo I solo representan 5% del total de las cuencas estudiadas.

Los ríos del tipo II, que, aunque en menor grado que los anteriores, también presentan altos valores de estabilidad en sus regímenes de escurrimiento (Tabla 4), constituyen 11,7% de los ríos estudiados y se localizan, por una parte, en las zonas de menor variabilidad en el régimen de precipitaciones de Cuba (TRUSOV *et al.*, 1983): la vertiente N del macizo Sagua-Baracoa (Ríos Toa, Jiguaní y Moa) y la vertiente noroccidental de la Sierra Maestra (Ríos Buey, Jibacoa y Bayamo, hasta el cierre La Bayamesa); en estas dos zonas se localizan, además, los mayores valores de lluvia media hiperanual del

TABLA 4. Características hidrológicas de las cuencas fluviales utilizadas.

Area de cuenca (km ²)	Altura media cuenca (m)	Precipitaciones (mm)	Escrurrimiento total (mm)	Escrurrimiento subterráneo (U)		Escrurrim. superficial S mm	Coef. de variac. C _v	σ	σ/σ _p	Clasificación
				%	mm					
OCCIDENTAL										
1. Cañas-Cañas										
158	105	1 466	828	74,2	614	214	0,13	19,6	0,30	I
2. San Juan-San Juan										
56	84	1 493	602	63,2	380	222	0,19	39,7	0,60	I
3. Mayabeque										
585	130	1 630	408	70,4	287	121		29,1	0,44	I
4. San Diego-Los Gavilanes										
157	165	1 746	608	17,0	103	505	0,41	69,4	1,06	III
5. Santa Cruz-Santa Ana										
27	367	1 980	1 460	22,3	325	1 135	0,31	67,8	1,03	III
6. San Cristóbal-La Campana										
96	269	1 934	930	22,2	206	724	0,35	60,0	0,91	III
7. Mani-Mani-M. GUAJAIBÓN										
79	228	1 850	986	20,5	202	784	0,36	60,2	0,92	III

113	140	1 549	712	14,2	101	611	0,40	70,0	1,08	III
				8. Paso Viejo-La Conchita						
40	198	1 794	970	20,3	197	773	0,33	65,7	1,00	III
				9. Caimito-El Central						
44	119	1 400	373	36,2	135	238	0,54	67,2	1,02	III
				10. Jaruco-Las Gávilas						
502	170	1 727	804	12,6	101	703	0,37	83,6	1,27	IV
				11. Cuyaguataje-Portales						
145	178	1 682	792	19,2	152	640	0,38	76,1	1,16	IV
				12. Cuyaguataje-V Aniversario						
62	177	1 550	926	13,1	121	805	0,35	79,2	1,20	IV
				13. San Juan y Martínez-El Tabaco						
41	210	1 637	892	15,5	138	754	0,37	81,0	1,23	IV
				14. Guamá-Hoyo de Guamá						
84	172	1 728	751	8,9	67,	684	0,35	79,8	1,21	IV
				15. Hondo-Pilotos						
25	369	1 971	1 324	22,9	303	1 021	0,30	75,5	1,15	IV
				16. Taco-Taco-El Jardín						

(Continúa)

TABLA 4 (Continuación)

Área de cuenca (km ²)	Altura media cuenca (m)	Precipitaciones (mm)	Escurrimiento total (mm)	Escurrimiento subterráneo (U)		Escurrim. superficial S mm	Coef. de variac. C _v	σ	σ/σ _p	Clasificación
				%	mm					
17. Bacunagua-Sto. Domingo										
55	296	1 824	998	13,8	138	860	0,35	79,8	1,21	IV
18. Los Palacios-El Rosario										
102	270	1 700	881	16,4	144	737	0,36	76,8	1,17	IV
19. Canimar-Paso Las Piedras										
252	116	1 340	390	14,5	57	333		92,7	1,41	V
CENTRAL										
1. Jabacoa-Pte. Carretera										
136	41	1 434	332	42,7	142	190	0,46	67,0	0,88	III
2. Agabama-Sopimpa										
842	178	1 470	364	20,6	75	289	0,36	80,2	1,05	III-IV
3. Camajuani-Paso Ibarra										
154	140	1 397	467	34,5	161	306	0,60	76,0	0,99	III-IV
4. Yayabo-B. Arias										
70	206	1 700	548	20,3	111	437	0,48	76,9	1,00	III-IV

192	197	1 438	553	25,2	139	414	0,43	79,9	1,04	III-IV
5. Jatibonico del Norte										
848	159	1 458	368	17,5	64	304	0,45	82,9	1,08	III-IV
6. Zaza-Paso Ventura										
848	52	1 379	312	18,7	58	254	0,55	88,8	1,16	IV
7. Damuji-Rodas										
314	111	1 475	329	21,0	69	260	0,52	89,0	1,16	IV
8. Caunao-San Fernando										
726	114	1 443	330	12,0	40	290	0,62	89,5	1,17	IV
9. Sagua la Grande-Sto. Domingo										
280	100	1 400	244	19,0	46	198	0,63	87,5	1,14	IV
10. Saramaguacán-Sta. Rita										
565	93	1 372	233	10,0	23	210	0,42	87,1	1,14	IV
11. Sevilla-La Fortaleza										
124	88	1 200	188	9,4	18	170	0,37	89,1	1,16	IV
12. Aguas Blancas-Limones										
187	139	1 536	526	25,2	132	394	0,54	91,1	1,19	IV-V
13. Chambas-Pte. C. Norte										

(Continúa)

Tabla 4 (Continuación)

Área de cuenca (km ²)	Altura media cuenca (m)	Precipitaciones (mm)	Escurrimiento total (mm) *	Escurrimiento subterráneo (U)		Escurrim. superficial S mm	Coef. de variac. C _v	σ	σ/σ _p	Clasificación
				%	mm					
14. Jobabo-Jobabo										
343	78	1 277	190	9,8	19	171	0,43	93,5	1,22	IV-V
15. Cayojo-Cayojo										
78	92	1 200	198	10,7	21	177	0,56	104,9	1,37	IV-V
ORIENTAL										
1. Jaguaní-Arroyo Prieto										
182	601	2 709	1 802	22,7	409	1 393	0,24	39,5	0,60	II
2. Toa-El Toro										
326	580	1 972	615	30,2	186	429	0,30	51,1	0,77	II
3. Toa-Aguacate										
753	562	2 482	1 332	24,3	324	1 008	0,21	41,8	0,63	II
4. Yateras-Yuraguana										
478	456	1 142	206	39,2	81	125	0,45	58,9	0,89	II
5. Jibacoa-Praga										
42	308	1 986	803	21,5	192	701	0,60	52,7	0,79	II

73	611	2 159	968	22,7	220	748	0,45	53,5	0,80	II			
6. Buey-San Miguel													
540	481	1 717	408	16,7	68	340	0,64	53,3	0,82	II			
7. Bayamo-La Bayamesa													
395	95	1 200	174	17,5	30	144	0,40	71,4	1,07	III			
8. Chaparra-El Roble													
1 060	350	1 540	306	26,5	81	225	0,38	66,8	1,00	III			
9. Mayarí-Río Arriba													
325	401	1 620	521	19,5	101	420	0,24	64,9	0,98	III			
10. Sagua de Tánamo-El Infierno													
144	598	1 336	324	46,1	149	175	0,48	64,7	0,97	III			
11. Yateras-Palenquito													
128	325	1 285	416	27,3	113	303	0,42	67,4	1,01	III			
12. Bano-Santa Rosa													
56	260	1 796	732	18,2	133	599	0,43	71,9	1,08	III-IV			
13. Guá-Buena Vista													
234	544	2 030	889	14. Yara-Antón Sánchez							64,1	0,96	III

(Continúa)

Tabla 4 (Continuación)

Área de cuenca (km ²)	Altura media cuenca (m)	Precipitaciones (mm)	Escurrimiento total (mm)	Escurrimiento subterráneo (U)		Escurrim. superficial S mm	Coef. de variac. C _v	σ	σ/σ _p	Clasificación
				%	mm					
15. Bayamo-La Virgen										
143	700	2 238	1 047	24,2	253	794	0,58	64,5	0,97	III
16. Cautillo-La Fuente										
92	466	1 607	504	31,0	156	348	0,54	60,8	0,91	III
17. Camazán-Limoncito										
54	210	1 127	134	22,0	29	105	0,65	61,6	0,93	III
18. Gibara-El Jobo										
84	163	1 200	248	27,0	67	181	0,54	80,4	1,21	IV
19. Jaibo-Marianal										
163	245	1 266	294	18,5	54	240	0,55	84,3	1,27	IV
20. Guaso-Caguairanos										
64	463	1 631	606	14,8	90	516	0,50	89,9	1,35	IV
21. Baconao-Trucutú										
167	491	1 475	304	28,9	88	216	0,85	88,9	1,33	IV

territorio: 3 400 y 2 400 mm, respectivamente (GAGUA *et al.*, 1976), y los menores valores de Cv del escurrimiento medio hiperanual (BATISTA, 1982). Lo planteado anteriormente indica que, en el caso particular de estos ríos, el factor fundamental en la estabilidad de sus regímenes de escurrimiento no es la influencia del carso, sino el mayor volumen y más homogénea distribución mensual de la lámina de precipitaciones, como factor principal en su régimen de alimentación.

Por otra parte, el Río Yateras, al E de Guantánamo, también se clasifica como del tipo II hasta el cierre de la estación Yuraguana. En el caso particular de ese río sí parece existir una marcada influencia cársica en la estabilidad de su régimen de escurrimiento, lo que se refleja también en los valores significativamente altos de la componente subterránea del escurrimiento (Tabla 4), que se presenta tanto para esta estación (39,2%) como para la estación Palenquito (46,1%), situada aguas arriba de la anterior; que aunque posee un régimen zonal, sus valores se acercan bastante a la estabilidad (Tabla 4).

A pesar de que es lógico suponer que las fuentes de alimentación subterránea de este río se originan en los acuíferos cársicos desarrollados en las calizas paleógenas de la Meseta del Guaso, donde éste tiene sus cabezadas, su definición, así como las condiciones en que se produce esta alimentación, deben ser objeto de una exhaustiva investigación de carácter local.

La mayor parte de las cuencas estudiadas (72%) corresponden, como era de esperar en función de la variabilidad del régimen de precipitaciones y del desarrollo areal e intensidad de los procesos cársicos en el territorio, a regímenes zonales e inestables (tipos III y IV). En el caso de las cuencas con régimen zonal debe destacarse, en primer lugar, que el grado de regulación a que responde el patrón de zonalidades de los ríos de Cuba es significativamente bajo ($\sigma = 60-70\%$); este es un reflejo, como se ha planteado anteriormente, del alto grado de variabilidad del régimen de precipitaciones como principal fuente de alimentación, que se manifiesta también en los altos valores del Cv promedio anual del escurrimiento del país, para un período largo de tiempo, que es, según BATISTA (1982), de 0,46.

Otro factor que influye en este problema, aunque en menor grado, es la no presencia de grandes ríos, como agentes reguladores del escurrimiento producto de las condiciones de insularidad y la configuración del archipiélago cubano.

Por otra parte, con la insuficiente información de que dispone este trabajo, y el grado de generalización con que fue elaborado, solo es posible afirmar que, para los sectores de cuencas considerados,

los ríos que se clasifican como del tipo III (Tabla 4) poseen un régimen de escurrimiento zonal con respecto a los patrones seleccionados, o sea, que no presentan una significativa influencia cársica en sus regímenes de escurrimiento, o que esta influencia se compensa a lo largo de dichos sectores y no se refleja en la información de los cierres. Esto no niega la posibilidad de que en estudios más detallados pueda detectarse algún tipo de influencia cársica en el escurrimiento de estos ríos, al considerar otros cierres, estableciendo nuevas estaciones de observación.

En el caso particular del grupo de ríos de la parte centro-occidental de la Región Central (antigua Provincia de Las Villas), que como vimos anteriormente presentan desviaciones en la proporcionalidad entre los valores de σ y σ/σ_p , y que, por tanto, se clasifican en una posición intermedia entre los tipos III y IV (Tablas 3 y 4), manifiestan un régimen de escurrimiento inestable que se expresa en los elevados valores de σ . Sin embargo, los valores de la relación σ/σ_p reflejan un régimen de escurrimiento zonal, lo que evidencia que, para los cierres considerados, no es la influencia del carso la causa fundamental de la inestabilidad del régimen, y que ésta debe buscarse, en futuros trabajos, analizando detalladamente todos los factores hidrometeorológicos y físico-geográficos en general de esta región.

De igual manera deben analizarse los Ríos Damují, Caonao y Sagua la Grande, pertenecientes a esta misma región; así como el Río Saramaguacán, al NE de Camagüey, que, aunque reflejan un régimen de escurrimiento inestable, los valores de la relación σ/σ_p se acercan bastante a la zonalidad (Tabla 4); y por las litologías que interesan sus cuencas hasta los cierres considerados, tampoco parecen tener una afectación cársica significativa.

Al analizar la distribución de los ríos que presentan regímenes de escurrimiento inestables y muy inestables (tipos IV y V), se pone de manifiesto su significativa correspondencia con zonas de intenso desarrollo del carso, en su mayoría asociadas a formaciones carbonatadas del Mioceno (las más extendidas en el territorio), en las que se desarrollan los principales acuíferos cársicos del país, y en cuya alimentación desempeñan un papel muy importante las aguas fluviales colectadas e infiltradas en las cuencas de estos ríos.

Al respecto debe señalarse que la densidad de la red fluvial en los territorios de desarrollo de los depósitos carbonatados del Mioceno, es menor que en territorios de otras litologías; lo que se explica por su alto coeficiente de infiltración que se deriva del incremento de la permeabilidad primaria de estas calizas, provocada por la fisuración y por el intenso desarrollo de los procesos cársicos. La no uniformidad en la distribución tridimensional de estos factores en los macizos, que da lugar a la marcada anisotropía del carso de estas

litologías; unida a la no homogénea distribución, características y espesores de la cobertura cuaternaria, provoca que en estas regiones coexistan ríos con mayor o menor grado de influencia del carso en su régimen de escurrimiento.

Este fenómeno no solo es característico de los carsos desarrollados en rocas del Mioceno, sino que puede manifestarse, y de hecho se manifiesta, en otras litologías afectadas por procesos cársicos en el país.

Un índice del balance negativo del escurrimiento provocado por la influencia del carso en los ríos con régimen inestable y muy inestable, son los bajos valores de la componente subterránea del escurrimiento (U) que se reflejan en la Tabla 4; ya que, salvo excepciones que pueden responder a condiciones hidrogeológicas locales, o a errores de apreciación en la disección de los hidrogramas, la gran mayoría de estos ríos presentan valores muy bajos, que fluctúan entre 5 y 15% del escurrimiento total.

En la región Occidental, las cuencas con régimen inestable se localizan en tres áreas fundamentales (Tabla 4): parte central de la Sierra de los Órganos (cuenca del Cuyaguaje); SE de la Provincia de Pinar del Río (ríos San Juan y Martínez, Hondo y Guamá); y vertientes S de la Sierra del Rosario (ríos Taco-Taco, Bacunagua y Los Palacios).

En el caso del Río Cuyaguaje, la influencia del carso en el balance negativo del escurrimiento de las tres estaciones instaladas ya fue demostrada, como vimos anteriormente, por RODRÍGUEZ (1983), el cual plantea en una de las conclusiones de su trabajo que, a pesar de manifestarse dicha influencia en forma de una redistribución interna del escurrimiento dentro de los límites de la cuenca, el balance no se compensa hasta la confluencia del Río Portales con el Cuyaguaje, aguas abajo de la última estación instalada, y que, por tanto, como también se demuestra en este trabajo, las tres estaciones están afectadas por el carso y presentan un balance negativo en su régimen de escurrimiento.

Tanto en los ríos del SW de la provincia de Pinar del Río como en los de la vertiente S de la Sierra del Rosario, el carácter de la inestabilidad de su régimen de escurrimiento está dado por las pérdidas de caudal que se producen de forma difusa, a través de cauces y sectores de sus cuencas; y que alimentan, tanto en el caso de los ríos de la Sierra del Rosario los reservorios desarrollados en los sistemas cársicos asociados a los tercios superiores de estos ríos en el carso de montaña, como en ambos casos los acuíferos cársicos miocénicos que integran la Cuenca Hidrogeológica Costera Sur de Pinar del Río.

Según NIKOLAEV (1968), la zona de alimentación fundamental de esta cuenca hidrogeológica está situada precisamente en su parte *N*, donde afloran las rocas del principal horizonte acuífero carsificado del Mioceno, y que él denomina "ventana hidrogeológica"; más al *S*, hasta la costa, este horizonte está cubierto por una capa considerable de depósitos arcillosos cuaternarios que limitan la infiltración. En esta faja, precisamente, es donde se producen las principales zonas de pérdidas de estos ríos y es donde se localizan los cierres que hemos considerado en este estudio.

Al *NE* de Matanzas, en la propia región hidrológica Occidental, se encuentra el Río Canímar, que es el único de los ríos estudiados en esta región que presenta un régimen de escurrimiento muy inestable (Tabla 4). Al igual que los anteriores, este río tiene una marcada influencia negativa del carso en su régimen de escurrimiento, que se manifiesta en las significativas pérdidas de caudal de su cuenca que se producen, en forma difusa, y constituyen una de las principales fuentes de alimentación de la cuenca hidrogeológica cársica Canímar-Camarioca.

En la región hidrológica Central, el núcleo principal de ríos con régimen de escurrimiento inestable y muy inestable se localiza en la zona de intenso desarrollo cársico que se extiende al *SE* de la Provincia de Las Tunas, e integra los ríos Sevilla, Jobabo, Cayoyo y Aguas Blancas (Tabla 4), los cuales entregan subterráneamente gran parte de sus aguas a los acuíferos cársicos miocénicos que conforman las cuencas hidrológicas Sevilla, Jobabo y Virama.

En el caso de la región hidrológica Oriental, que lógicamente es la región que presenta los mayores contrastes en el régimen de precipitaciones y escurrimiento del país, producto del gran mosaico de diferentes condiciones físico-geográficas que posee su territorio, los ríos con este tipo de régimen de escurrimiento se localizan en tres zonas: la vertiente *N* de la cuenca del Cauto, la cuenca de Guantánamo y el Río Gibara.

La primera de estas áreas incluye los ríos Salado, La Rioja, Yareyal y Cauto, hasta el cierre Salto Travesía. El carácter de la inestabilidad en el régimen de escurrimiento de estas corrientes parece estar dado por la influencia del carso que se desarrolla en las calizas y margas interstratificadas del Neógeno, que afloran en el borde *N* de la depresión del Cauto y alimentan al acuífero que subyace los depósitos cuaternarios en la cuenca del Cauto. Por otra parte, también es necesario evaluar el efecto de las pérdidas difusas que se producen en estos ríos, en la periferia de la depresión, a través de las intercalaciones y lentes de arenas, que constituyen el acuífero cuaternario suprayacente.

El área de la cuenca de Guantánamo, comprende los ríos Jaibo, Guaso y Guantánamo; y más al *W*, el Río Baconao. Aunque la presencia del carso en las cuencas de algunos de estos ríos es evidente, no parece ser el factor principal que incide en la inestabilidad de sus regímenes de escurrimiento, por lo que se propone que en trabajos futuros, de manera que se dispongan de un mayor volumen de información, se profundice en el estudio de otros factores físico-geográficos que den una explicación definitiva al problema. De este mismo modo debe evaluarse el caso de la cuenca del Río Gibara, al *N* de Holguín.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- A. En función de la variabilidad del régimen de escurrimiento fluvial y del grado y tipo de influencia del carso en dicho régimen se propone una clasificación de los ríos de Cuba en cinco tipos: Muy estables, Estables, Zonales, Inestables y Muy Inestables.
- B. Los valores de la desviación típica del escurrimiento medio mensual (σ) para los ríos del territorio nacional resultan elevados con relación a ríos de otras latitudes; esto es un reflejo de la inestabilidad del régimen de escurrimiento del país, provocado fundamentalmente por la gran variabilidad de las precipitaciones como principal fuente de alimentación.
- C. Para el análisis de la influencia del carso en el régimen de escurrimiento fluvial, demostró ser un importante elemento comparativo el análisis genético del escurrimiento fluvial y, en especial, su componente subterráneo.
- D. Los ríos con régimen muy estable constituyen un caso excepcional en el régimen de escurrimiento de los ríos de Cuba y presentan una marcada influencia positiva del carso en su régimen de alimentación, lo que se refleja en los muy elevados valores de la componente subterránea.
- E. Se demuestra, como un caso particular, que en las condiciones de estabilidad del régimen de escurrimiento de los ríos de la vertiente *N* del macizo Sagua-Baracoa y de la vertiente noroccidental de la Sierra Maestra el factor principal no es la influencia del carso, sino el mayor volumen y más homogénea distribución mensual de las precipitaciones.
- F. Las mayores cuencas estudiadas corresponden a ríos con régimen de escurrimiento zonales e inestables, lo que es un reflejo de la variabilidad del régimen de precipitaciones y del desarrollo areal e intensidad de los procesos cárscicos en el territorio.

- G. El grado de regulación que responde el patrón de zonalidad de los ríos de Cuba es significativamente bajo ($\sigma = 60-70\%$), lo que se corresponde con los altos valores del Cv promedio anual del escurrimiento del país para un período largo de tiempo (0,46).
- H. En trabajos locales y en investigaciones futuras deben seleccionarse cuencas patrones lo más cercanas posible a las cuencas en estudio y utilizar una regionalización hidrológica mucho más detallada del territorio, con el fin de lograr una mayor uniformidad en sus condiciones físico-geográficas.

REFERENCIAS

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA (1970): Atlas Nacional de Cuba.
- BATISTA, J. L. (1974): División del territorio en regiones hidrológicas. *Voluntad Hidrául.*, 28/29:23-53.
- (1982): Escurrimiento medio anual y su variabilidad. *Voluntad Hidrául.*, 57:58-64.
- FAGUNDO, J. R., y VALDÉS, J. J. (1975): Estudio químico-físico del comportamiento de las aguas kársticas de la región de San Antonio de los Baños (La Habana, Cuba), mediante el uso de modelos matemáticos. *Ann. Speol.*, 30(4):643-653.
- FAGUNDO, J. R., VALDÉS, J. J., PAJÓN, J. M., y RODRÍGUEZ, J. E. (1981): Comportamiento químico-físico de las aguas kársticas de la cuenca del Río Cuyaguatije. *Ing. Hidrául.*, 11(3):261-274.
- GAGUA, G., ZAREMBO, S., e IZQUIERDO, A. (1976): Sobre el nuevo mapa isoyético (3ra versión). *Voluntad Hidrául.*, 37:35-41.
- GIGINEISHVILI, G. N. (1979): Aguas cársicas del Gran Cáucaso y cuestiones fundamentales de la hidrología del carso [en ruso]. Tibilisi, 221 pp.
- KARASIK, G. Ya., MATOS, K., y PÉREZ, W. (1980): Los recursos del escurrimiento fluvial en Cuba [en ruso]. *Academia de Ciencias de la URSS*, 72-79.
- LVOVISH, M. I. (1974): *Recursos hídricos mundiales y su futuro* [en ruso]. Editorial Misl, Moscú, 447 pp.
- NIKOLAEV, Yu. (1968): *Memoria explicativa sobre las investigaciones hidrogeológicas realizadas para la argumentación del esquema de abastecimiento de agua en la zona de Hondo, San Diego y Los Palacios, Prov. de Pinar del Río*. Archivo del Instituto de Hidroeconomía, 167 pp.
- RODRÍGUEZ, J. E. (1983): *Caracterización hidrólogo-hidrogeológica del curso de la cuenca del Río Cuyaguatije, Pinar del Río, Cuba*. Pub. Esp. Inst. Hidrocon., Palacio de las Convenciones, pp. 450-172, 4 tablas, 5 mapas, 3 figuras.
- RODRÍGUEZ, J. E., y PÉREZ, W. (1981): *Mapa del escurrimiento subterráneo de Cuba a escala 1:1 000 000 (1ra versión)*. Resúmenes III Jornada Científica del Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana, p. 31.
- TRUSOV, I. I., IZQUIERDO, A., y DÍAZ, L. R. (1983): *Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba*. Editorial Academia, 149 pp.

KARST INFLUENCE DETERMINATION IN THE RUNOFF REGIME OF THE RIVERS OF CUBA. PRELIMINARY RESULTS

ABSTRACT

By means of the statistical treatment of the monthly runoff values for many years, in 60 gauging stations of the national hydrometric net, a parameter for the definition of the fluvial runoff regime stability degree was established, and from it, the karst influence in that regime. Essentially, the method is based on the calculation of the monthly discharge average standard deviation, as a function of yearly mean discharge, and on the selection of standard basins with zonal regimes for different territories, to serve as a comparison between basins with more or less karstic process development. Starting from these parameters and their comparison with the underground runoff values obtained from the hydrograph analyses, a preliminary classification of the Cuban rivers is proposed, as a function of runoff regime stability degree and of the karstic type and intensity influence in this regime. These results may be useful in karstic hydrological applied investigations and in hydrological and geomorphological regionalizations.