

EVALUACIÓN CUANTITATIVA DE LA INFLUENCIA DEL CARSO (KARST) EN EL RÉGIMEN DE ESCURRIMIENTO FLUVIAL Y SU APLICACIÓN EN EL OCCIDENTE DE CUBA*

José Evelio Gutiérrez Hernández**

Resumen

En este trabajo se analizan problemas conceptuales de la influencia del carso en el escurrimiento fluvial y se introducen varios procedimientos para evaluar el fenómeno en forma cuantitativa.

Entre los principales resultados obtenidos se destacan los siguientes. La conveniencia del uso conjunto de los métodos propuestos. La determinación del índice de azonalidad del coeficiente de escurrimiento total medio anual, como el procedimiento más eficaz entre los analizados, para evaluar, de forma indirecta, los tipos y grados de influencia cársica en el escurrimiento fluvial. La efectividad del uso comparativo del índice anterior y el coeficiente de Gigineishvilli, para determinar la influencia positiva del carso por redistribución interna del escurrimiento total dentro de la cuenca. Y la evaluación de estos aspectos en las cuencas cársicas con observaciones hidrométricas del occidente de Cuba.

Summary

In this paper the conceptual problems of the influence of karst on runoff were analyzed, moreover the procedures to evaluate the above phenomenon in a quantitative manner, were introduced.

Among the main results obtained, some of the most outstanding are. The convenience of the simultaneous use of the different methods proposed. The determination of the azonality index the annual runoff rate, as the best method, to evaluate, indirectly, the types and degrees of karstic influence on surface flow. The effectiveness of the comparative use of the above mentioned index and the Gigineishvilli index, to determine the positive influence of karst, by redistribution of total runoff into the drainage basins. And the evaluation of such issues on karstic basins with hydrometric stations, in the western part of Cuba.

Introducción

Es de amplio dominio que existe una notable influencia de las condiciones geólogo-geomorfológicas en el régimen hidrológico de los territorios, entre las que destacan, de manera especial, el carso, cuyos importantes mecanismos están insuficientemente estudiados, debido a su complejidad.

* Recibido: 23 de septiembre de 1994.

** Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, San Lázaro y L., Vedado, Ciudad Habana, Cuba.

Para Cuba, y especialmente para la región occidental, su interés de estudio es elevado, dadas la extensión geográfica y el desarrollo del mismo. Téngase en cuenta que más de tres cuartas partes del área emergida de esta región está constituida por rocas carbonatadas (con diferente grado de carsificación), y que la mayoría de los ríos del territorio se mueven sobre paisajes de tal naturaleza. Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados, tanto en Cuba como en el extranjero, están enfocados a estudiar el régimen local de flujo en algunas áreas, pero muy pocos abordan el estudio de la influencia del carso en el régimen hidrológico a nivel de cuenca (cuenca hidrológica superficial: CHS), especialmente en el escurrimiento fluvial.

Para evaluar y caracterizar las principales regularidades del carso en el escurrimiento fluvial —que es uno de los aspectos hidrológicos de mayor importancia, y un difícil empeño en el que se ha avanzado poco— se tomaron como base los resultados de los principales estudios efectuados en Cuba, incluidos los de este autor (véanse Referencias citadas); se utilizó la CHS como contexto territorial, y, como método de análisis, el balance hídrico o la evaluación estadística de sus componentes.

Tal evaluación se realizó a partir de las corrientes que constan de observaciones de escurrimiento —y de sus respectivas cuencas— hasta sus estaciones hidrométricas, partiendo del periodo anual representativo 1965-1987, definido por el autor para esta región (Gutiérrez, 1994c).

Análisis teórico y enfoque del problema

Según se aprecia en los datos de los registros hidrométricos de la red de estaciones, en los valores de los elementos del balance hídrico de los diferentes trabajos aplicados en Cuba (González y Gutiérrez, 1979; Pérez *et al.*, 1984; Batista y Rodríguez, 1986; Gutiérrez, 1994a y b), así como en los estudios publicados en el país acerca de la influencia hidrológica del

carso, gran parte de las precipitaciones que tienen lugar sobre los territorios cársicos se infiltran en su interior, jugando un papel importante en los almacenamientos subterráneos y en la regulación del escurrimiento fluvial.

Los anterior también afecta la relación funcional lluvia-escurrimiento y la relación cuantitativa zonal entre los diferentes elementos del balance hídrico: precipitación total (P), escurrimiento total (R), componente superficial de R (S), componente subterránea de R (U), evaporación total (Et), humedecimiento natural del territorio (W), los cuales están estrechamente ligados entre sí. Estas regularidades, por supuesto, tienen un carácter diferencial (se manifiestan con distinta magnitud) en dependencia del tipo y grado de desarrollo cársico existente, de la ubicación local del área cársica dentro de la cuenca y de otros factores, que también pueden provocar flujos subterráneos significativos entre cuencas adyacentes, con inclinación del balance hidrológico hacia una de las partes.

Estos aspectos indican la amplia diversidad de modificaciones que puede experimentar el escurrimiento a expensas del carso (regulaciones cársicas). Al respecto, Batista Silva y Rodríguez Rubio (1986) plantean en su artículo "Determinación de la influencia del carso en el régimen de escurrimiento de los ríos de Cuba", lo siguiente: "Dependiendo del tipo y del grado de desarrollo cársico, su influencia puede manifestarse en todos los parámetros del escurrimiento fluvial o en algunos de ellos en particular"; y argumentan, también, más adelante:

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 exsurgencias 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.

Esta variedad y multiplicidad de regulaciones (que algunas veces también producen efectos contrarios que se contrarrestan espacialmente) determinan que uno de los aspectos de mayor interés en el estudio del escurrimiento en cuencas fluviales cársticas recaiga en el “balance medio del escurrimiento”; o sea, en el valor promedio (del escurrimiento y de sus componentes), resultante de la acción combinada de todos esos efectos. Este balance, a grandes rasgos, destaca dos situaciones generales (con diferente grado de magnitud), según el tipo de efecto predominante.

- Incidencia positiva del carso en el escurrimiento de la cuenca (cuando se produce la incorporación a la misma de recursos hídricos procedentes de otras cuencas o de acuíferos cercanos, provocando un incremento en su escurrimiento medio).
- Incidencia negativa del carso en el escurrimiento de la cuenca (cuando parte de las aguas o recursos hídricos de la misma se mueven subterráneamente hacia otras cuencas o acuíferos adyacentes, provocando una disminución en su escurrimiento medio).

Debe decirse que muchas veces el carso también provoca una redistribución interna del escurrimiento dentro de la propia cuenca, lo cual no influye necesariamente en el balance hidrológico general de la misma (o sea, no varía en lo esencial la magnitud del escurrimiento total), sino que tiende a incrementar su componente subterránea (U) y regular su comportamiento –haciéndolo menos variable– lo que constituye también una “forma de incidencia positiva del carso en el escurrimiento”.

Evaluación

Las situaciones o efectos expuestos, en los que puede simplificarse esta variada y compleja influencia, son los que se evaluarán; de forma indirecta.

Los métodos más utilizados hasta el presente para evaluar la incidencia del carso en el escurrimiento de las cuencas fluviales son:

a) la comparación del Gasto Específico (módulo) medio anual de las cuencas cársicas con el Gasto Específico zonal –utilizando una cuenca típica de la región hidrológica o cuenca patrón– (Markova, 1970);

b) la comparación de la variabilidad del escurrimiento dentro del año (a partir del gasto medio mensual o quincenal) de cada cuenca cársica, con respecto a la variabilidad zonal (Gigineishvilli, 1979; Batista y Rodríguez, 1986). En este caso se emplearon ambos métodos, con modificaciones; y otro, consistente en un análisis deductivo de las ecuaciones de dependencia del escurrimiento total R (presentado por el autor (1994c) para estos mismos ríos); realizándose un análisis comparativo entre todos ellos. Todos estos procedimientos requieren, a su vez, de una evaluación individual del desarrollo cársico de las cuencas y de una valoración de los elementos del balance hídrico, aspectos que están implícitos en cada uno de ellos de una u otra forma.

El desarrollo cársico individual de cada cuenca fue estimado a partir del “coeficiente de desarrollo exocársico”, Kde^1 –introducido por el autor– cuyas magnitudes y tipología cársica predominante se muestran en la **tabla 1**.

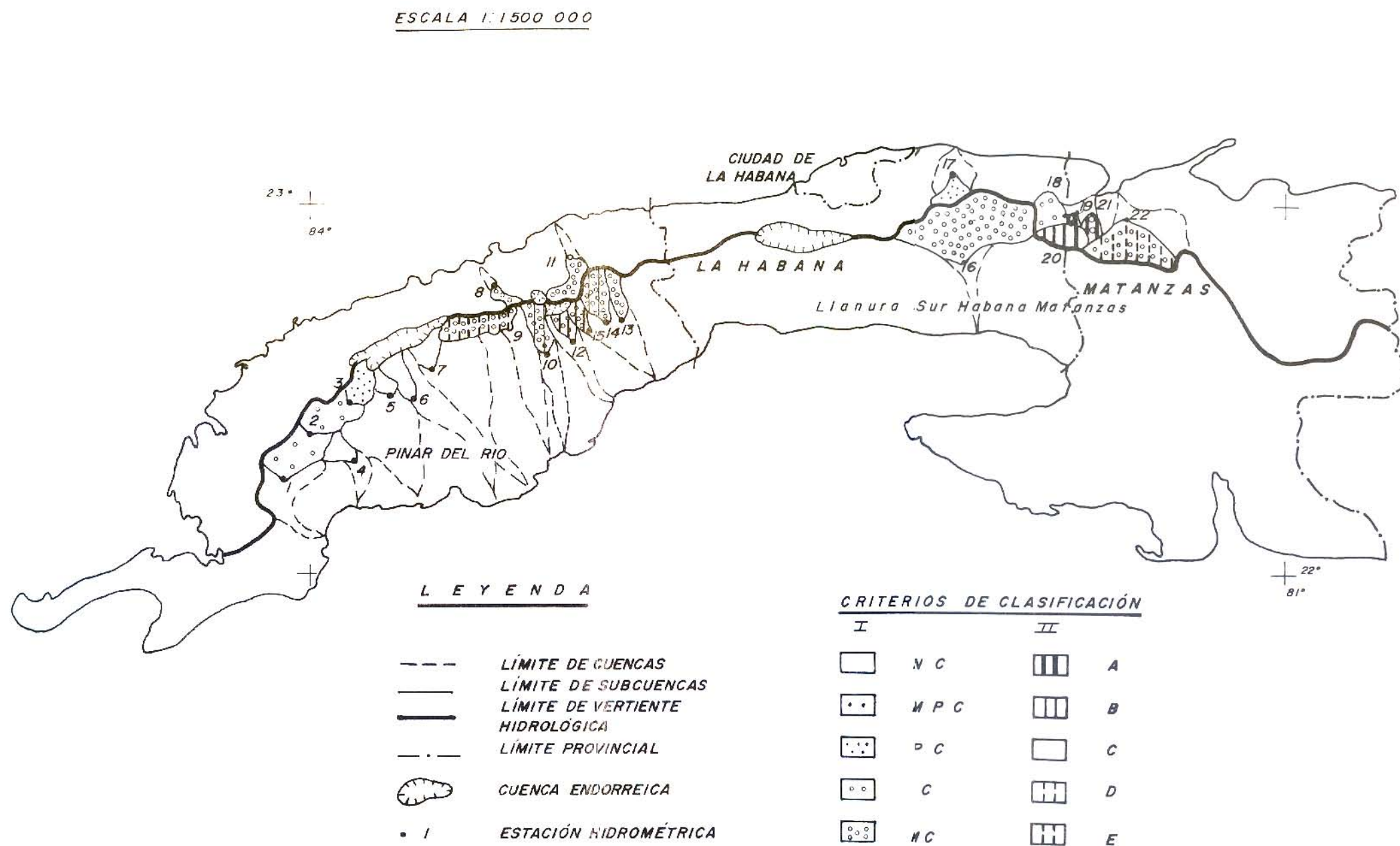
¹ Coeficiente superficial de las áreas que presentan “formas exocársicas o de absorción” dentro de la cuenca, el cual se calcula a través de la siguiente expresión: $Kde = 100(Ak/Ac)$; donde Ak es la superficie total de las áreas exocársicas y Ac , el área total de la cuenca.

Tabla 1. Valores del coeficiente de desarrollo exocársico (Kde) y características de las cuencas hidrológicas superficiales del occidente de Cuba (hasta los puntos de observación), según Kde

C H S	Estación	Kde (%) (valor aprox.)	Categoría cársica
1 Cuyaguaje	Portales	34	C
2 Cuyaguaje	La Güira	37	C
3 Cuyaguaje	V-Aniversario	27	PC
4 San J. y M.	El Tabaco	0	NC
5 Guamá	H. de Guamá	0	NC
6 P. Viejo	La Conchita	0	NC
7 Hondo	Piloto	0	NC
8 Caimito	El Central	75	MC
9 San Diego	Los Gavilanes	55	MC
10 Los Palacios	El Rosario	70	MC
11 Mani-Mani	M. de Guajaibón	55	MC
12 Bacunagua	Santo Domingo	55	MC
13 San Cristóbal	La Campana	60	MC
14 Santa Cruz	Santa Ana	90	MC
15 Taco-Taco	El Jardín	90	MC
16 Mayabeque	Pedroso	60	MC
17 Jaruco	Las Cávilas	29	PC
18 San Agustín	San Ag-I	32	C
19 San Agustín	San Ag-III	45	C
20 Cañas	Cañas	50	MC
21 San Juan	San Juan	38	C
22 Canimar	Paso Piedras	40	C

Categoría cársica de las cuencas según Kde:

0	NC	(no cársica)
< 10	MPC	(muy poco cársica)
10-29	PC	(poco cársica)
30-50	C	(cársica)
> 50	MC	(muy cársica)



Mapa 1. Clasificación de las cuencas cársicas del occidente de Cuba.

Tipos y subtipos de carso con desarrollo significativo de la zona exocársica, utilizados para calcular K_d :

- Carso de alturas complejas plegadas y falladas, constituidas por gruesas series estratificadas de rocas carbonatadas con cadenas de mogotes, hoyos y valles fluvio-cársicos, abiertos entre calizas y pizarras arcillosas.
- Carso constituido por delgadas capas calcáreas y no calcáreas, interestratificado, con cadenas de cerros aplanados en cuchillas.
- Carso de alturas plegadas o plegadas y falladas constituidas por estratos sedimentarios carbonatados.

Método A

Según este método las cuencas cuyos coeficientes se alejan de la unidad, por encima de su valor, indican incidencia positiva del carso en el escurrimiento (por ingreso de recursos externos), y viceversa.

También se incluyeron las áreas con manifestaciones elevadas de formas cársicas de absorción, pertenecientes a otros tipos de carso.

Sin embargo, se propone variar la expresión de cálculo (el coeficiente de escurrimiento total medio anual K_r , en lugar del gasto específico, que es un parámetro más adecuado en climas húmedos debido a la variación que experimenta el módulo de escurrimiento anual con la precipitación de la cuenca, sobre todo en las áreas montañosas; regularidad que no ocurre en el caso de K_r).

$$Dr = 100 \left(\frac{Kr - Kz}{Kz} \right) \quad (1)$$

siendo

Dr: desviación relativa del coeficiente de escurrimiento total promedio anual de la cuenca, Kr, con respecto al coeficiente de escurrimiento zonal, Kz (índice de azonalidad de Kr); expresado en %.

Kz = Rp/Pp, donde Rp y Pp son el escurrimiento y la precipitación promedio anuales de la cuenca patrón; en mm.

Se seleccionaron dos cuencas patrones, una para la subregión comprendida por los ríos montañosos (cuencas del Pinar del Río) y otra para la subregión correspondiente a los ríos (cuencas) no montañosos (Habana-Matanzas): Hondo, estación Piloto, y Jaruco, estación Las Cávilas,² respectivamente.

A su vez se establecieron cinco categorías en relación con los valores de Dr, que indican el tipo y grado de incidencia del carso (el tipo estará dado por el signo, y el grado por la magnitud del índice) (Tabla 2).

Los resultados individuales de la aplicación de este método se resumen en la **tabla 3**, donde se destacan, dentro de la categoría A, las cuencas Cañas, San Ag. III, San Juan, El Jardín y Santo Domingo; también con incidencia cársica positiva, pero menos notable, El Rosario y Santa Ana; con incidencia cársica negativa Canimar; y con alta incidencia cársica negativa San Diego-Los Gavilanes. El resto de las cuencas estudiadas clasifican dentro de la categoría C (sin incidencia significativa). Debe agregarse, además, que aunque no se evalúan por carencia de datos, las cuencas de las corrientes estacionales de la Llanura (cársica) Sur de Habana - Matanzas,³ cuyos valores de R y Kr son muy bajos, en su mayoría

² Se asumió esta cuenca como patrón, aun cuando es considerada "poco cársica", a falta de otra "no cársica" (con registros hidrométricos), pertenecientes al área no montañosa.

³ Zona de intenso desarrollo cársico y poca densidad de drenaje, correspondiente a la cobertura oligo-miocénica de la región, donde yacen los principales acuíferos del país.

corresponden al grupo E, con una magnitud de $Dr \ll -20$. Otras corrientes temporales situadas en esta misma área o al norte de dichas provincias (sobre territorios cársicos), con menor grado de intermitencia, pueden corresponder al grupo D.

Tabla 2. Tipos y grados de incidencia cársica en el escurrimiento fluvial de las CHS, según Dr

Categoría	Condición	Tipo y grado de incidencia
A	$Dr > 20$	Alta incidencia positiva
B	$10 < Dr \leq 10$	Incidencia negativa
C	$-10 \leq Dr \leq -10$	No hay incidencia significativa
D	$-20 \leq Dr < -10$	Incidencia negativa
E	$Dr < -20$	Alta incidencia negativa

Más adelante se realizan algunos otros comentarios acerca de estos resultados.

También se ha desarrollado un método para el cálculo aproximado del balance neto de intercambio hidrológico de las cuencas cársicas que complementa esta metodología, permitiendo estimar, además del tipo y grado de incidencia, su magnitud (Gutiérrez, 1994c).

Método B

Este otro procedimiento consiste en relacionar (matemáticamente) la variabilidad mensual del escurrimiento de cada río con el de una corriente perteneciente a una cuenca no cársica del área (patrón zonal) –utilizando sus coeficientes de variación C_v respectivos (véase la expresión de cálculo)– e inferir la influencia del curso de la cuenca en el escurrimiento de cada uno (previa caracterización individual de dicho fenómeno), a partir de la desviación

de este índice con respecto a la unidad. Es decir, que identifica la diferencia de la variabilidad del escurrimiento fluvial de las cuencas cárnicas, con respecto a la variabilidad del escurrimiento zonal, como una afectación (regulación hidrológica) provocada por este fenómeno.

Tabla 3. Grado y categoría de la incidencia cárnica de las cuencas de este tipo, correspondientes al occidente de Cuba

Estación	R	P	Kr	Kz	Kde	Dr	Categ.
Portales	731	1 694	0.43	0.45	34	- 4	C
La Güira	752	1 733	0.43	0.45	37	- 4	C
V-Anivers.	821	1 777	0.46	0.45	27	+ 2	C
El Central	886	1 867	0.47	0.45	75	+ 4	C
Gavilanes	552	1 692	0.33	0.45	55	- 27	E
Rosario	986	1 912	0.52	0.45	70	+ 16	B
M. Guajaibón	994	2 286	0.43	0.45	55	- 4	C
Sto. Domingo	942	1 637	0.58	0.45	55	+ 29	A
Campana	934	2 026	0.46	0.45	60	+ 2	C
Sta. Ana	998	2 012	0.50	0.45	90	+ 11	B
El Jardín	1 161	1 955	0.59	0.45	90	+ 31	A
Pedroso	419	1 411	0.29	0.27	60	+ 7	C
San Ag. I	431	1 419	0.29	0.27	32	+ 7	C
San Ag. III	647	1 478	0.43	0.27	45	+ 59	A
Cañas	764	1 508	0.51	0.27	50	+ 89	A
San Juan	529	1 483	0.36	0.27	38	+ 33	A
Canimar	361	1 532	0.23	0.27	40	- 15	D

Cuenca Patrón subregión montañosa de P. Río: Hondo, Piloto.

Cuenca patrón subregión no montañosa Habana-Matanzas: Jaruco, Cávilas.

Es también un procedimiento relativamente sencillo, pero más que el anterior debe aplicarse con discreción, teniendo en cuenta que la regulación natural del régimen fluvial está determinado además por otros factores importantes; tales como el régimen de precipitación

de la cuenca, la cantidad de afluentes, el área receptora, la permeabilidad de la cuenca (dada por el complejo fisicogeográfico propio de la cuenca), la presencia de flujos subsuperficiales, etc. Es decir, que aunque constituye un valioso indicador de la afectación cársica del escurrimiento (especialmente en los casos más significativos) en virtud de que el carso desarrollado es el factor de más fuerte influencia en el flujo de las aguas de los territorios –y por tanto en la regulación del escurrimiento– sus resultados deben ser analizados cuidadosamente. Este procedimiento, a diferencia del anterior, resulta sensible (detecta) a la incidencia positiva del carso en el escurrimiento por redistribución interna del mismo dentro de la cuenca; aunque no permite diferenciarla de la incidencia positiva provocada por ingresos externos. De esto se deduce que el análisis comparativo de los resultados de los métodos A y B puede contribuir a identificar las cuencas beneficiadas por una y otra causa.

La expresión utilizada es la siguiente:

$$K = \frac{CV_o}{CV_z} \quad (2)$$

donde:

CV_o = coeficiente de variación de los escurrimientos mensuales promedio anuales.

CV_z = coeficiente zonal de variación de los escurrimientos mensuales promedio anuales (cuenca patrón).

K puede oscilar entre 0 y 2 dependiendo del tamaño y grado de heterogeneidad de la cuenca fluvial de cada región o subregión hidrológica, cuyos rangos numéricos indican diferentes niveles de variación del gasto, y permiten evaluar el grado de estabilidad de los ríos. En este caso se tomaron las categorías propuestas para las condiciones de Cuba por Batista y Rodríguez, en la primera aplicación de esta metodología efectuada para Cuba, y que define los siguientes cinco niveles (**Tabla 4**).

Tabla 4. Categorías de los ríos de Cuba, en función del grado de regulación y de la influencia del carso en el régimen de escurrimiento

Categoría o Tipo	K
I (muy estables)	< 0.6
II (estables)	) 0.6 - 0.9)
III (zonales)	) 0.9 - 1.10)
IV (inestables)	(1.10 - 1.40)
V (muy inestables)	> 1.40

En la **tabla 5** se recogen los valores de K para cada cuenca, así como CVo, CVz, la categoría o tipo de corriente, etcétera.

Método C

Este procedimiento permite inferir la influencia cárstica en el escurrimiento de las cuencas fluviales a partir de la estructura de las funciones lineales de relación $R=f(P)$ y $R=f(R')$. Según esta teoría, la magnitud y el signo del intercepto y del término independiente de estas ecuaciones (y la relación numérica entre ambas) permiten inducir el grado de intercambio hidrológico de las cuencas cársicas y otras influencias (Gutiérrez, 1994b).

Si se extraen los resultados del análisis deductivo de las ecuaciones de dependencia de R (de la fuente citada) y se sintetizan en una tabla conjuntamente con las derivaciones de los dos métodos expuestos (véase **Tabla 6**), se puede obtener el siguiente conjunto de conclusiones.

Tabla 5. Valor del coeficiente K y categoría de los ríos del occidente de Cuba según su grado de regulación y la afectación cársica de su régimen de escurrimiento

Estación	R	Dm	CVo	CVz	K	Categ.
Portales	731	602	0.824	0.825	0.999	III
La Güira	752	657	0.874	0.825	1.059	III
V-Anivers.	821	665	0.810	0.825	0.982	III
El Central	886	596	0.673	0.825	0.816	II
Gavilanes	552	411	0.745	0.825	0.903	III
Rosario	986	786	0.797	0.825	0.966	III
M. Guajaibón	994	581	0.585	0.825	0.709	II
Sto. Domingo	942	784	0.832	0.825	1.008	III
Campana	934	595	0.637	0.825	0.772	II
Sta. Ana	998	681	0.682	0.825	0.827	II
El Jardín	1 161	827	0.712	0.825	0.863	II
Pedroso	419	126	0.301	0.644	0.467	I
San Ag. I	431	179	0.415	0.644	0.644	II
San Ag. III	647	124	0.192	0.644	0.298	I
Cañas	764	163	0.213	0.644	0.331	I
San Juan	529	176	0.332	0.644	0.516	I
Canimar	361	303	0.838	0.644	1.301	IV

Tabla 6. Tabla comparativa de la evaluación del grado de incidencia cársica en el escurrimiento medio anual de las cuencas cársicas del occidente de Cuba, según diferentes métodos

M é t o d o s

Índice de azonalidad de Kr (Dr)		Coeficiente de Giginshvilli (K)		Análisis/ecuaciones de dependencia de R	
Categorías	Cuencas	Categorías	Cuencas	Categorías	Cuencas
(A) alta incidencia positiva (Dr>20)	Cañas San Ag.-III San Juan El Jardín Sto. Domingo	(I) muy estables K<0.6	Cañas San Ag.-III San Juan Pedroso	alto coeficiente de escurrimiento subterráneo (*)	Cañas San Ag.-III San Juan Rosario El Jardín Pedroso
(B) incidencia positiva (10<Dr≤20)	Rosario Sta. Ana	(II) estables)0.6-0.9)	El Jardín Sta. Ana M. Guajaibón Campana San Ag.-I El Central		
(C) no incidencia significativa (-10≤DR Dr≤10)	V-Aniv. La Campana M. Guajaib. La Güira Portales Pedroso San Ag.-I El Central	(III) zonales)0.9-1.10)	Rosario V-Aniv. Portales La Güira San Diego Gavilanes		Sta. Ana San Diego M. Guajaibón La Campana El Central V-Anivers. La Güira Portales
(D) incidencia negativa (-20≤ Dr Dr <-10)	Canimar	(IV) inestable)1.10-1.40)	Canimar	bajo coef. de escurrimiento subterráneo (**)	Canimar Gavilanes
(E) alta incidencia negativa (Dr < -20)	Gavilanes	(V) muy inestables K>1.40	—		

(*) Probable incidencia positiva.

(**) Probable incidencia negativa.

Conclusiones

La tabla comparativa anterior (**Tabla 6**) arroja una alta correspondencia de los resultados de los métodos independientes utilizados; sobre todo teniendo en cuenta las diferencias lógicas de sus respectivos parámetros, las cuales brindan, a su vez, información adicional (incidencia positiva por redistribución interna del escurrimiento). Esta alta coincidencia, sin lugar a dudas, es un factor altamente favorable en relación con estos métodos.

El método A, no obstante, es el que mejor concuerda con los resultados medios de la comparación de los diferentes procedimientos, y con la realidad, por lo que resultó ser el más efectivo, y su clasificación en consecuencia, la que se propone.

Como se aprecia también, todas las cuencas en las que se manifiesta incidencia cársica (en un sentido u otro) corresponden con territorios de intenso desarrollo cársico. Esta afectación, por lo general, tiende a hacerse positiva en cuencas montañosas o de alturas, y negativa en los ríos de llanura (en especial de llanuras cársicas).

Tal característica, precisamente, explica que en los ríos aquí estudiados, correspondientes en su mayoría a alturas y montañas bajas, predomine la incidencia de tipo positiva. Las más sobresalientes, dentro de estas últimas, son las cuencas de los principales ríos que nacen en los macisos cársicos del sector centro-oriental de las Alturas Habana-Matanzas, cuya estabilidad en su escurrimiento depende fundamentalmente de la componente subterránea (la más notable de todo el occidente de Cuba), conformada en buena medida por ingresos provenientes de los acuíferos cársicos adyacentes Jaruco-Aguacate y San Juan-San Agustín-Cañas.

Los ríos que presentan incidencia cársica negativa (significativas pérdidas de caudal) del conjunto estudiado, son Canimar y San Diego (estación Los Gavilanes). En el primer caso estas pérdidas parecen trasladarse hacia la cuenca hidrogeológica Canimar-Camarioca; y en el segundo caso a través de su sector norte.

Las **figuras G-1, G-2 y G-3**, por otro lado, permiten apreciar cómo la incidencia cársica en el escurrimiento fluvial tiende a ser mayor en las cuencas hidrológicas pequeñas y en las de mayor coeficiente areal de desarrollo exocársico, siendo mayor, en consecuencia, el intercambio de aguas subterráneas de las mismas.

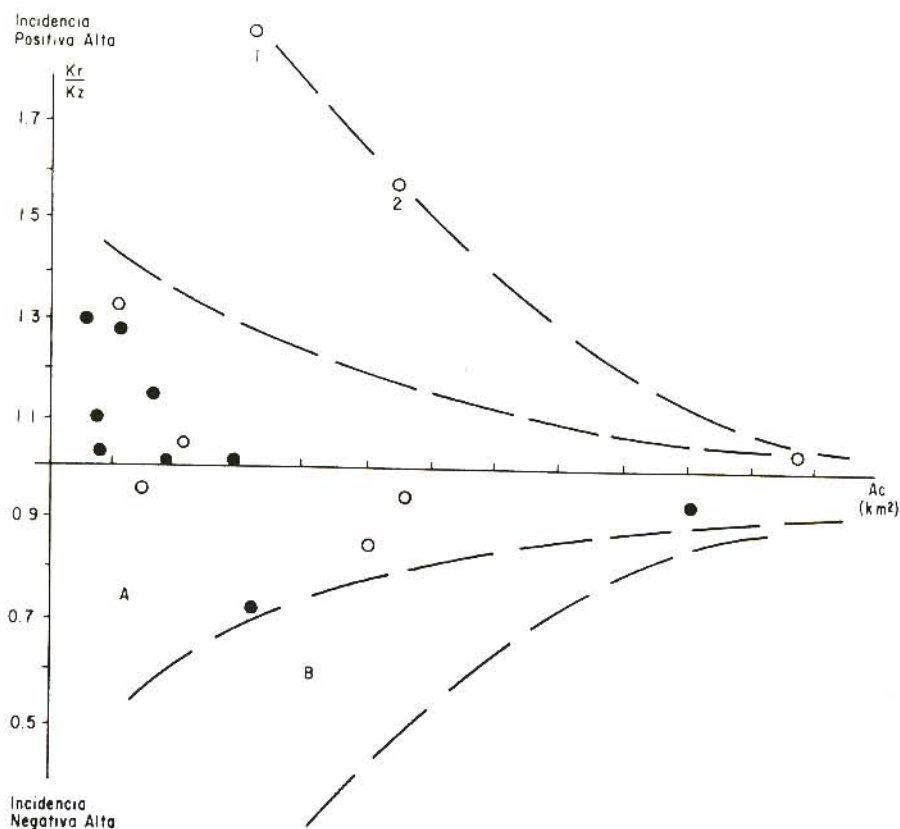


Figura G-1. Relación del coeficiente $\frac{K_r}{K_z}$ de las cuencas cársicas con su área total.

● Cuencas cársicas de la subregión de Pinar del Río.

○ Cuencas cársicas de la subregión Habana-Matanzas.

1 y 2 Cuencas, Cañas y San Agustín III, pertenecientes al sistema fluvial San Juan.

A y B Áreas del gráfico correspondientes a un numeroso grupo de cuencas cársicas pequeñas y medianas de la subregión Habana-Matanzas, con incidencia negativa y K_r bajo, que no tienen estación de aforo, cuya situación es conocida.

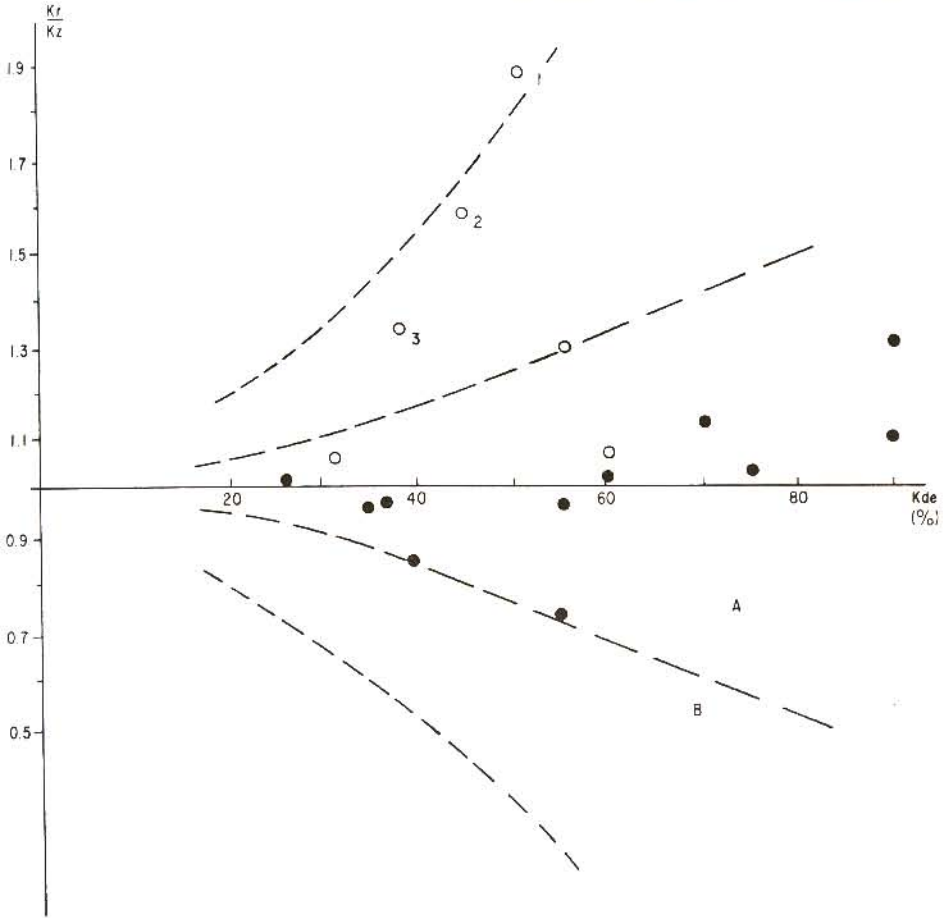


Figura G-2. Relación entre el coeficiente $\frac{K_r}{K_z}$ de las cuencas cársticas y su coeficiente de desarrollo exocárstico.

● Cuencas cársticas de la subregión de Pinar del Río.

○ Cuencas cársticas de la subregión Habana-Matanzas.

1, 2, 3 Cuencas: Cañas, San Agustín III y San Juan. pertenecientes al mismo sistema fluvial.

A y B Áreas del gráfico correspondientes a las cuencas cársticas pequeñas con K_r bajo y muy bajo y K_{de} alto de la subregión Habana-Matanzas, con incidencia cárstica negativa.

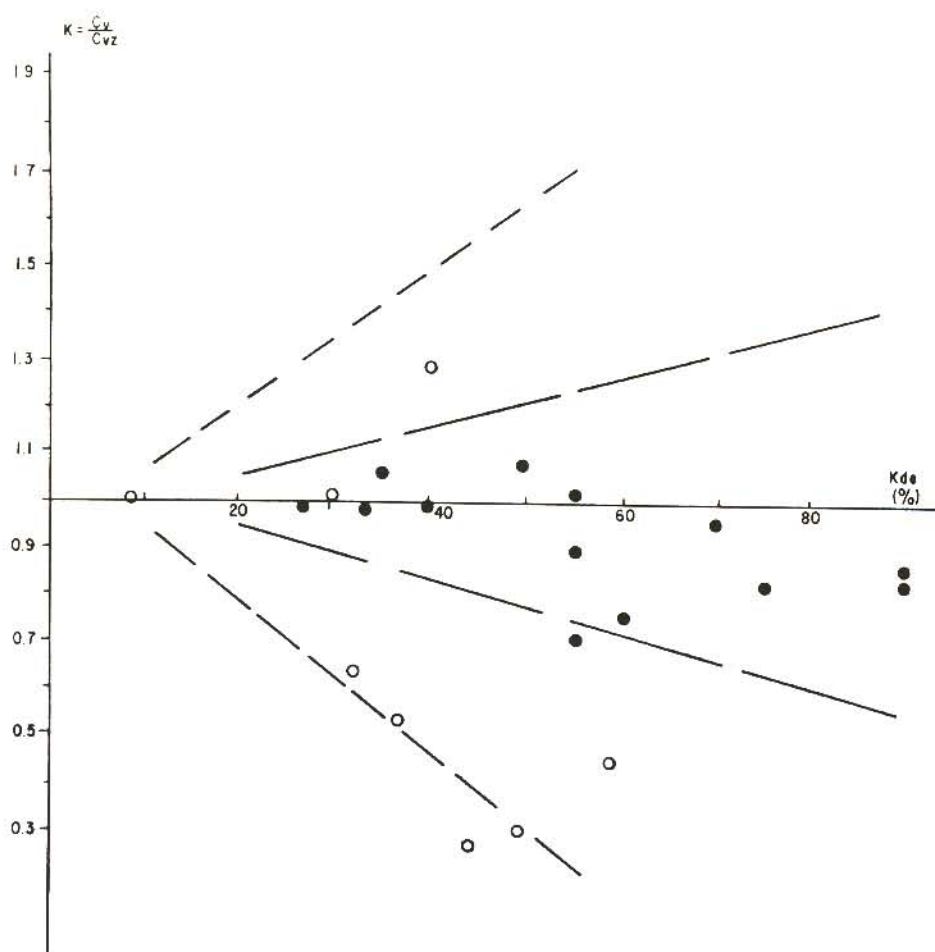


Figura G-3. Relación entre el coeficiente K de las cuencas cársicas y su coeficiente de desarrollo exocárstico.

- Cuencas cársicas de la subregión de Pinar del Río.
- Cuencas cársicas de la subregión Habana-Matanzas.

Referencias

- Batista, J. L. y J. Rodríguez (1986), "Determinación de la influencia del carso en el régimen de escurrimiento de los ríos de Cuba. Resultados preliminares", *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*, núm. 12, La Habana, pp. 56-83.
- Batista, J. L. (1991), "Distribución espacial y temporal del escurrimiento fluvial en Cuba", *Revista Voluntad Hidráulica*, núm. 84, La Habana, pp. 21-29.
- Cruz, A. V. y J. L. Valdés (1985), "Estudio de las aguas cársicas de la Sierra del Pan de Guajabón y sus inmediaciones, mediante métodos matemáticos de análisis exploratorio de los datos", *Revista Voluntad Hidráulica*, núm. 68, La Habana, pp. 25-34.
- Fagundo, J. R. *et al.* (1981), "Comportamiento químico-físico de las aguas cársicas de la cuenca del río Cuyaguaje", *Revista Ingeniería Hidráulica*, 11(3), La Habana, pp. 261-274.
- González, J. I. y J. E. Gutiérrez (1979), Características generales del balance hídrico en el occidente de Cuba, *Resúmenes II Conferencia Científica de la Universidad de La Habana*, Fac. de Geografía, 12 pp.
- González, J. I. y J. E. Gutiérrez (1984), *Hidrología General*, C. de La Habana, EMPES, 202 pp.
- González, J. I. y J. E. Gutiérrez (1991), "Aspectos teórico-metodológicos de la cuantificación del balance hídrico en cuencas cársicas", *Memorias III Encuentro de Geógrafos de América Latina*, tomo V, Toluca, pp. 109-114.
- Gigineishvili, S. N. (1979), *Aguas cársicas del Gran Cáucaso y cuestiones fundamentales de la hidrología del carso* (en ruso), Tbilisi, 121 pp.
- Gutiérrez, J. E. (1994a), "Modelos de cálculo del escurrimiento total promedio anual, en cuencas con estaciones hidrométricas del occidente de Cuba", *Resúmenes VIII Foro de Ciencia y Técnica*, Habana del Este, Ciudad Habana, p. v.
- Gutiérrez, J. E. (1994b), *Influencias del carso en el régimen hidrológico de las cuencas fluviales*, Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, 17 pp. (inédito).
- Gutiérrez, J. E. (1994c), Regularidades espaciales y temporales de los recursos hídricos del occidente de la isla de Cuba, tesis de doctorado, Universidad de La Habana, 120 pp.
- Llopis Lladó, N. (1982), *Fundamentos de hidrogeología kárstica. Introducción a la geoespeleología*, Ed. Pueblo y Educación, La Habana, 264 pp.
- Markova, O. L. (1970), *Water balance peculiarities of karst areas. Studies and reports in hydrology*, IASH-UNESCO-WMO, 11(2), pp. 524-530.

- Moleiro León, L. F. (1981), "Problemas hidrogeológicos del karst de montaña de Cuba", *Revista Voluntad Hidráulica*, núm. 55, La Habana, pp. 37-40.
- Pérez, N. *et al.* (1984), "Características cuantitativas y cualitativas del balance hídrico hiperanual de la provincia de Pinar del Río", *Resúmenes IV Conferencia Científica de la Universidad de La Habana*, Fac. de Geografía, La Habana, pp. 20-28.
- Vinogradov, Y. B. (1988), *Modelación matemática de los procesos de formación del escurrimiento*, Ed. MIR, Moscú, p. v.