

DETERMINACION DE MODELOS REGIONALES DE CALCULO HIDROLOGICO PARA EL OCCIDENTE DE LA ISLA DE CUBA, Y SU REPRESENTACION CARTOGRAFICA.

Dr. José Evelio Gutiérrez Hernández
Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, Cuba.

INTRODUCCION:

El comportamiento espacial de las variables hidrológicas sigue por lo general determinadas normas o reglas de comportamiento, a las que se denominan "leyes de distribución espacial". Estas características suelen definirse a través de expresiones matemáticas concretas (ecuaciones), conocidas como modelos de cálculo o "modelos de distribución espacial", que son de gran importancia teórica y práctica en el campo de la Hidrología.

En tal sentido se recomienda un procedimiento práctico en este trabajo para la determinación empírica de ciertos modelos hidrológicos espaciales, que contemplan aspectos claves del proceso. Además, se realiza una evaluación cuantitativa del comportamiento espacial de algunas de las principales variables hidrológicas del occidente de la isla de Cuba (a través de modelos) por regiones y subregiones, a partir de una información más completa y actualizada que la empleada en trabajos anteriores en el país, sobre la base de los procedimientos referidos.

También, por último, se desarrolla una representación cartográfica de los modelos obtenidos para el territorio, todo lo cual es parte de la tesis doctoral del autor, presentada el pasado año.

El estudio de las regularidades espaciales de los recursos hídricos y del perfeccionamiento de los modelos de cálculo hidrológico de las variables analizadas es de significativa importancia para la proyección hidroeconómica del área, a la vez que constituye un tema de mucha actualidad.

PROBLEMAS TEORICO-METODOLOGICOS:

Los modelos de cálculo regionales se obtienen a partir de estudios minuciosos, generalmente empíricos -como el que sustenta al presente- consistente en la búsqueda de funciones de dependencia matemática (basadas regularmente en ajustes mínimo-cuadráticos), tomando como referencia ciertos rasgos físicos, como la altitud, o algunas otras variables hidroclimatológicas, con las cuales pueda existir relación espacial significativa.

Entre las principales utilidades de estos modelos se pueden citar las siguientes:

- Permiten conocer los principales factores regionales asociados al comportamiento de cada variable, y la forma de relación entre ellos.
- Sirven de base para el trazado de isolineas.
- Posibilitan el cálculo aproximado de sus magnitudes, en áreas y puntos de interés; en especial en aquellos carentes de observación.
- Son esenciales para cálculos de proyectos y otros objetivos importantes.

Los modelos deben ser en lo más posibles efectivos (presentar índices de correlación elevados en este caso) y simples (tener composición y estructura sencillas), de modo que sean funcionales.

Sin embargo, su obtención no es fácil, debido al numeroso grupo de factores que intervienen en el comportamiento de las distintas variables hidrológicas en cada lugar, y a su variada influencia. Debido a esto último, una de las cuestiones esenciales y primarias en el modelamiento hidrológico espacial radica, precisamente, en la determinación de "macrounidades hidrológicas" (regiones y subregiones hidrológicas); es decir, en la definición de los espacios hidrológicamente homogéneos del territorio en relación a cada variable específica, como el marco óptimo para la definición de estos modelos. Intentar su determinación en espacios diferentes a estos (áreas hidrológicamente heterogéneas) no es viable; de aquí la importancia de evaluar esto, que, a criterio del autor es indispensable, y que en la práctica no se tienen en cuenta generalmente.

Nótese que en el párrafo anterior se hace referencia a la determinación de unidades hidrológicas espaciales por variable, debido a que, incluso, no todas las variables hidrológicas presentan comportamiento homogéneo en un mismo nivel taxonómico de regionalización: algunas pueden manifestar homogeneidad a nivel de región hidrológica, otras a nivel de subregión, y otras incluso a nivel local (por localidades hidrológicas).

Como se desprende de los párrafos que anteceden, la definición de los modelos hidrológicos espaciales debe hacerse, por tanto, teniendo en cuenta ambos aspectos simultáneamente: las variables de estudio, y las macrounidades hidrológicas correspondientes.

Otros dos aspectos de particular importancia en la elaboración de modelos hidrológicos regionales, es la representatividad temporal y espacial de los datos. La primera está dada por el período utilizado para el cálculo de las variables hidrológicas, de modo que las observaciones obtenidas, o sea la muestra temporal utilizada, sea estadísticamente representativa de su población, ya que, como se conoce, las series de tiempo de parámetros hidrológicos presentan diversos tipos de variaciones (aleatorias, estacionales, cíclicas) que inciden fuertemente en los cálculos y que deben ser tenidos muy en cuenta. La segunda está dada por la utilización de estaciones cuyos lugares de emplazamiento sean típicos (representativos) de cada territorio o unidad hidrológica, dada por sus características físico-geográficas.

Estos dos factores tampoco son considerados correctamente siempre, sobre todo la representatividad temporal, que en el problema que nos ocupa debe corresponder a uno ó a varios períodos cíclicos. Particular atención recomienda el autor al respecto.

A modo de síntesis debe decirse que, si se desean encontrar modelos de cálculo óptimos para las diferentes áreas de un territorio (en este caso del occidente de Cuba), sobre todo con propósitos cartográficos, es necesario partir de análisis diferenciados en tres aspectos esenciales: desde el punto de vista territorial, con respecto al(a los) factor(es) de relación a utilizar, y con respecto a la estructura funcional (estructura de la ecuación matemática); partiendo de los niveles locales.

Este análisis debe efectuarse atendiendo a los tres aspectos mencionados, de forma simultánea, a través de un procedimiento de análisis exploratorio de ajuste mínimo cuadrático, consistente en definir las funciones matemáticas y los sectores (subregiones) de óptimo ajuste (a partir de los principales factores de dependencia de cada variable),

apoyados en el uso de las técnicas de computación. O sea, de un proceso de búsqueda simultánea de: las variables explicativas, de las áreas más homogéneas en sus dependencias, y de las funciones mínimo-cuadráticas de mejor ajuste en cada una de ellas (lineal, no lineal, múltiple,...).

Por supuesto que este tratamiento por áreas separadas (regiones y subregiones), determina menor cantidad de valores para el ajuste matemático de cada función, lo que se traduce no solamente en una disminución de la suma de las desviaciones de los puntos, sino también en una disminución de tales puntos (o sea de "n"), lo que hace que los parámetros de la correlación sean más exigentes. También es sin dudas un método más laborioso, pero que puede brindar resultados superiores, sobre todo si se cuenta con una cantidad suficiente de registros de datos completos, ya que la función lograda guardará mejor correspondencia con el comportamiento local de la variable y posibilitará la obtención de estimados más reales.

Razones como las que han sido referidas anteriormente, obligan a los científicos de la Hidrología a prestar mayor dedicación a las cuestiones metodológicas del modelamiento en este campo, aún poco consolidadas.

Para la elaboración de los modelos empíricos de referencia se sugiere, en consecuencia, el procedimiento o conjunto de tareas que se expone en síntesis a continuación:

- Selección de las estaciones (representatividad espacial),
- Análisis de ciclicidad y definición del período de estudio (representatividad temporal),
- Determinación de los factores de dependencia potenciales de la variable,
- Evaluación de la calidad de los datos (uso de pruebas de hipótesis: Homogeneidad, ..) y limpieza de la serie,
- Cálculo de los parámetros de estudio (estadígrafos),
- Análisis exploratorio de ajuste mínimo-cuadrático, y definición de los modelos, por variable y por unidad espacial.
- Determinación de unidades hidrológicas espaciales: regiones, subregiones.
- Definición de las variables independientes (explicativas): Regresión múltiple paso a paso.
- Definición de las funciones de mejor ajuste (lineal, no lineal, múltiple,..): uso de programas especializados.

ELABORACION DE LOS MODELOS Y CONFECCION DE LOS MAPAS:

Los recursos hídricos del occidente de la isla de Cuba son abundantes, debido fundamentalmente al clima (tropical marítimo estacionalmente húmedo) cuyos aspectos más significativos son las abundantes precipitaciones, especialmente entre los meses de mayo y octubre (período en el que ocurre casi el 80% de la misma), y la elevada evaporación durante casi todo el año (cuya magnitud potencial oscila entre 5 y 8 mm/día) que reduce en más del 50% el humedecimiento natural del territorio. El escurrimiento es elevado y variable, sobre todo en la estación seca (noviembre-abril), y constituye, junto con la precipitación y la evaporación, las tres variables hidrológicas de más interés.

Como se sabe, la mayor parte de las investigaciones en el campo de la Hidrología requieren del uso de series largas de observación como condición indispensable para la obtención de resultados científicos confiables, de los cuales se ha carecido en Cuba hasta hace muy poco. Después de 1960 fue que se creó una red regular de observación hidrológica que posibilitó algunos años después los primeros inventarios e investiga-

ciones importantes acerca de la distribución y variabilidad geográficas de tales parámetros : Davitaya y Trusov (1965); Batista (1974); Gagua, Zarembo e Izquierdo (1976); González (1981); Trusov, Izquierdo y Díaz (1983); y otros. Sin embargo en la mayoría de estos trabajos no se pudieron utilizar series largas (o fue necesario prolongar muchos de sus registros) por el limitado periodo de observación disponible, no se definió el periodo de cálculo con fundamentación adecuada, se realizó un análisis estadístico pobre de las series de datos, y otras limitaciones.

En esta oportunidad se cuenta ya con registros prolongados y completos, y se parte de un estudio estadístico amplio y detallado de las variables evaluadas, a partir del cual se definió como período recomendable para los cálculos, el período cíclico 1965-1987, que fue el utilizado.(9)

Las variables consideradas en el estudio, fueron las siguientes:

- P : precipitación promedio anual
- Cvp: coeficiente de variación de la precipitación anual
- R : escurrimiento total promedio anual
- Cv_h y Cv_s: coeficiente de variación anual del escurrimiento total estacional de los períodos húmedo y seco respectivamente
- Cv_m: coeficiente de variación mensual del escurrimiento total
- KE_t: coeficiente de evaporación total promedio anual

El territorio escogido comprende las cuatro provincias más occidentales del país y es de mucha importancia por su desarrollo agrícola, sobre todo porque en ella se cosecha gran parte de los principales renglones exportables, cuyo regadío demanda grandes cantidades de agua. También porque en esta área se encuentra la capital y otras ciudades, que requieren de grandes volúmenes de agua para el abasto industrial, a la población, y para el cultivo intensivo de productos perecederos, lo que avala la importancia del estudio de los recursos hídricos de este territorio.

La información utilizada procede de las redes de observación básica del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH).

La escala fundamental utilizada para la representación cartográfica de las variables (esquemas de isolíneas) fue de 1:500 000, siendo menor en algunos casos según la densidad de estaciones y el grado de ajuste de los modelos obtenidos, tomándose como apoyo los mapas hipsométricos a esta propia escala y a escala 1:250 000, editados por el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía (ICGC).

Análisis por variable:

- Precipitación promedio anual (P) y coeficiente de variación de la precipitación anual (Cvp):

El factor de apoyo comúnmente utilizado en la confección de los modelos de cálculo de la precipitación media anual (P) y del coeficiente de variación anual de precipitación (Cv) en muchos lugares, es la altitud (H), debido a que es uno de los factores de mayor peso en la variación espacial de estos parámetros hidrológicos (o sea, guarda elevada correlación matemática con estas variables), es un elemento fisicogeográfico estable, y además facilita grandemente su representación cartográfica.

Inicialmente se evaluó, de conjunto e individualmente para diferentes áreas, la dependencia de la precipitación respecto a la altitud ($P=f(H)$) y respecto a la distancia a la costa más próxima ($P=f(D)$), pues en nuestro criterio en las áreas predominantemente llanas del país - como Habana y Matanzas- la interioridad constituye un factor de mayor incidencia pluviométrica que la altitud, ya que en ellas los procesos convectivos son los que determinan la cantidad anual de lluvia.

En Pinar del Río se evaluó la primera de estas relaciones ($P=f(H)$): para toda la provincia (como territorio predominantemente alto o montañoso), para el área más elevada de la cordillera de Guaniguanico ($H>200$ m) en forma independiente, y para las dos vertientes de la provincia por separado (incluyendo la faja superior a 200 m y sin incluirla). Para el área predominantemente llana o baja de Habana-Mtzas, por su parte, se analizaron ambas dependencias $P=f(H)$ y $P=f(D)$ a través de las siguientes variantes: para todo el conjunto, para las áreas del territorio habanero y de Matanzas por separado, y para las vertientes norte y sur de ambas (también en dos variantes: unidas y separadas). Este detallado análisis se efectuó inicialmente de forma gráfica, con el propósito de definir las unidades territoriales de mejor dependencia común, y luego se evaluó el tipo de ajuste óptimo para cada caso (lineal y no lineal).

Como resultado de todo este proceso analítico, las unidades territoriales que presentaron mejor uniformidad en su dependencia funcional (subregiones definidas) fueron: la vertiente norte de Pinar del Río (incluida la faja superior a 200 m, es decir desde el parteaguas principal de la provincia hasta la costa), su vertiente sur (idem) y el área conjunta Habana-Matanzas.

Las ecuaciones o modelos de cálculo resultantes, su coeficiente de correlación (r) y su desviación media cuadrática (Sp), aparecen en la tabla I.

Tabla I: Modelo de cálculo de la precipitación media anual por subregión

subregión	ecuación	r	Sp
Vert norte P.Río	$P=1153 \cdot H^{0,106}$	0,79	0,092 (1)
Vert. sur P. Río	$P=796,3 \cdot H^{0,158}$	0,83	0,095 (2)
Habana-Matanzas	$P=1107,6 \cdot D^{0,0869}$	0,75	0,066 (3)

Para brindar una mayor fundamentación estadística respecto de la dependencia funcional del área Habana-Matanzas, se efectuó también un análisis de regresión múltiple de la precipitación en función de la altitud y de la distancia a la costa ($P=f(H,D)$), para investigar el peso relativo de ambas variables independientes.

Idéntico procedimiento fue seguido para la determinación de los modelos (ajustes) de Cvp. El análisis espacial demostró que las tres áreas de mayor similitud funcional (mejor dependencia común) respecto a la precipitación promedio anual, son las mismas que también presentan mayor similitud funcional con respecto a Cvp: vertiente norte de P. Río, vertiente sur de P. Río y Habana-Matanzas. Igual coincidencia se obtuvo con respecto a los factores de relación evaluados, que en este caso fueron tres: H, P y D.

Sin embargo, los modelos de cálculo óptimos de Cvp para cada una de estas unidades no son precisamente de tipo lineales sino parabólicos (como ocurre con la variable P), presentados anteriormente en la tabla I.

Tabla II: Modelo de cálculo de Cvp por subregión

subregión	ecuación	r	Scv
vert N -P Río	$Cvp = 33,78 \cdot H^{-0,082}$	0,75	0,085 (4)
vert S -P Río	$Cvp = 38,86 \cdot H^{-0,147}$	0,67	0,126 (5)
Habana-Mtzas.	$Cvp = 29,96 \cdot D^{-0,1}$	0,71	0,113 (6)

Nótese que los valores de la desviación media cuadrática de estos modelos (Scv) son algo superiores a los de P en la mayoría de los casos, debido a que, como se expusiera anteriormente, sus dependencias son menos fuertes comparativamente. Sin embargo, por ser inferior a 13% en todos, se aceptan.

Las expresiones expuestas en la tabla II indican que los gradientes de estas funciones, a diferencia de las de P, son de tipo inverso.

Otra característica evidente de acuerdo al tipo de dependencia de ambas variables (P y Cvp) es que el mayor gradiente de la curva corresponde a las magnitudes bajas, y disminuye paulatinamente en la medida que aumentan los valores de la función (o sea, son de incremento decreciente).

La confección de los mapas de isolíneas de P y de Cvp se efectuó a partir del trazado de las isolíneas en cada subregión por separado (según sus respectivos modelos de cálculo y apoyado de las cartas topográficas), y su posterior unión a través de un trabajo de conciliación cartográfica.

En el caso de P se utilizó una escala de representación 1:250000, mientras en el caso de Cvp se tomó una escala menor, 1:500000, debido a la menor densidad de puntos utilizados y a los resultados comparativamente inferiores de la calidad de sus ajustes (evaluados a partir de r y Sp). Ver tablas I y II.

Como criterio complementario para el trazado de las isoyetas también se determinaron los gradientes altitudinales locales de las principales elevaciones (alturas) de la subregión Habana-Matanzas, efectuándose también una adecuación de las isolíneas en los sectores comprendidos entre San José de las Lajas y Catalina de Guines, y en la localidad Aguacate- Ceiba Mocha, donde los valores puntuales resultan significativamente superiores a los valores que indica el modelo de cálculo subregional. Esto se debe al efecto orográfico producido por la existencia de elevaciones circundantes, el cual provoca un reforzamiento del proceso convectivo (que de hecho es máximo en esas áreas por estar situadas en el eje central de la parte más ancha del territorio habanero -su sector oeste- y estar influenciado a su vez por la proximidad de la península de Zapata).

Los resultados de todo este trabajo quedan plasmados en los mapas No.1 y 2, los cuales representan, asimismo, nuevas versiones al respecto, para el territorio

Las líneas discontinuas de estos mapas tienen un carácter aproximado y responden a áreas desprovistas o carentes de observaciones prolongadas, especialmente a los territorios peninsulares y sus inmediaciones, las que por sus particularidades geográficas requieren ser mejor estudiadas en el futuro.

El error de representación cartográfica de las isolíneas o "error medio" del mapa, se calculó para ambos, a partir del error estándar de los puntos: Esto es, la desviación media cuadrática de los valores observados y los valores estimados en ellos según las isoyetas; de modo similar al cálculo de la desviación estándar de las ecuaciones de ajuste. El error medio (ponderado) de la norma de precipitación anual (Sp), es de 7,16% y el del coeficiente de variación anual (Scv) de 12,23 %; que en ambos casos es un valor admisible, o sea menor que 15%.

Tanto los mapas resultantes de P y Cvp, como el de R, correspondiente al próximo epígrafe, fueron valorados con gran rigor por este autor en todos sus aspectos, y fueron analizados comparativamente con las versiones precedentes (ver Tesis Doctorado), lo cual constituye un importante argumento y aval científico para los mismos.

- Escurrimiento total promedio anual:

Los modelos regionales de escurrimiento permiten conocer el comportamiento espacial de la variable en el territorio de referencia, y permiten estimar su valor en ríos no estudiados o que no constan de suficiente información.

En este caso se suma al propósito anterior los de elaborar un mapa con datos de esta propia región hidrológica, hacerlo con registros más largos que los disponibles en oportunidades anteriores y tomar como base un período de cálculo representativo de sus variaciones multianuales -definido a través de los análisis de ciclicidad- lo cual confiere mayor precisión a la información ofrecida.

Para generalizar y modelar el comportamiento espacial del escurrimiento medio en un territorio (ya sea una magnitud absoluta, su variabilidad u otro aspecto), es usual, como se explicó antes, establecer asociaciones correlativas (lineales o no), recomendablemente a partir de una sola variable (variable independiente), y que este parámetro, a su vez, sea confiable y de fácil conocimiento. Habitualmente se utiliza la altitud, la precipitación, o en su defecto otro parámetro hidrológico afín.

Para el escurrimiento este estudio fue desarrollado para todo el territorio en su conjunto y para cada una de las dos áreas (subregiones) hidrológicas definidas en el caso de R -área predominantemente montañosa y área no montañosa- por separado, para obtener modelos de óptimo ajuste; procedimiento similar al efectuado con respecto a P. En base a este criterio se obtuvieron como resultado los siguientes modelos:

- Area predominantemente montañosa (P. del Río):

$$R = \frac{H}{0,0006 H + 0,128} \quad \dots\dots\dots \text{para } r=0,8 \text{ y } Sr=11,95\% \dots\dots(7)$$

(modelo no lineal: función parabólica)

$$R = 0,7214P - 445 \quad \dots\dots\dots \text{(para } r=0,76 \text{ y } Sr=12,24\%)\dots\dots(8)$$

(modelo lineal: función polinómica de 1er. grado)

- Area predominantemente llana (Habana-Mtzas):

$$R = 0,0019P^2 - 2,41P \quad \dots\dots\dots \text{(para } r=0,93 \text{ y } Sr=11,59\%)\dots\dots(9)$$

(modelo no lineal: función polinómica de 2do. grado)

En la subregión Habana-Matanzas no existe dependencia altitudinal satisfactoria del escurrimiento total, ya que la formación de lluvia aquí, responde más a fenómenos convectivos asociados al calentamiento interior de la superficie, que al factor orográfico.

La confección del esquema de isocías de la norma de escurrimiento medio anual del territorio, por su parte, que constituye uno de los objetivos hidrológicos de más importancia, se realizó a partir de las dependencias funcionales de R anteriormente definidas, pero teniendo en cuenta las características hidrológicas de cada subregión, y las peculiaridades de la red de observación.

De este modo, para el trazado de las isocías, se utilizaron las ecuaciones anteriormente enunciadas; de la siguiente manera:

- Para el área (localidad) premontañosa y montañosa de Pinar del Río; por encima de 150 m de altitud, la ecuación (7).

- Para el área (localidad) baja de Pinar del Río; es decir por debajo de 150 m (carente de observación propia), la ecuación (8); que se consideró como la alternativa pertinente (a falta de otra mejor) ya que el modelo $R = f(P)$ de Habana-Mtzas no es válido para esta localidad; ni existe dependencia satisfactoria de R para la región occidental en su conjunto, después de probarse $R=f(H)$, $R=f(P)$, etc).

- Para el área (localidad) de Habana-Mtzas la expresión (9).

Para el trazado de las isocías en la zona montañosa y premontañosa de P. del Río, se tomó como base la carta topográfica 1:250 000; y para las restantes áreas, el mapa isoyético de la precipitación promedio anual del occidente de Cuba, de este propio autor, reducido a su escala definitiva 1:500000.

En este mapa también se representan las áreas de escurrimiento muy bajo o escaso, en las que se combinan diferentes factores no favorables a la formación de drenaje superficial, que ocupan principalmente la península y la llanura cársica de Guanahacabibes, la porción central de la península de Zapata y el área comprendida entre los ríos Capellanía y Quivicán, al sur de la Habana. (Mapa 3)

Una vez confeccionado el mapa, se evaluó el error de representación cartográfica, a partir del cálculo del error estandar ponderado (del mismo modo que en el caso de los mapas isoyéticos, explicado en el epígrafe II4), tomando como base el escurrimiento medio anual observado en cada una de las estaciones y los valores estimados para esos puntos en el mapa de isocías. El resultado de este parámetro fue 0,153, es decir, 15,3% de error. Este valor, aunque no es bajo, se encuentra en el límite admisible

establecido, resultado que no puede ser más bajo, si se tiene en cuenta el complejo carácter fisicogeográfico e hidrológico de este territorio.

- Coeficiente de variación mensual del escurrimiento total (Cvm):

La variabilidad mensual del escurrimiento, es otro parámetro que interesa de manera especial a los investigadores e ingenieros, por su desigual comportamiento en las diferentes cuencas, y por sus implicaciones en la explotación de embalses y cursos fluviales.

Su caracterización se realizó a través del coeficiente de variación del escurrimiento mensual promedio anual Cvm, el cual fue calculado por el autor para cada una de las CHS con estación hidrométrica del occidente de la isla de Cuba, a partir del año hidrológico (mayo-abril), para las cuencas de más larga observación.

Para caracterizar cuantitativamente el comportamiento espacial de Cvm y definir un modelo de cálculo que permita estimar su norma en las cuencas carentes de observaciones, se efectuaron diferentes correlaciones lineales (simples y múltiples) entre este parámetro y un conjunto de factores físico-geográficos del grupo de cuencas con registros más prolongados del territorio.

Como resultado del mismo se obtuvo la siguiente ecuación:

$$Cvm = 0,43 + 0,0029 H - 0,0083 K \text{ de } \dots\dots\dots(10)$$

donde: H es la altitud media de cada cuenca

K de es el coeficiente de desarrollo exokárstico de cada cuenca (introducido por el autor, (9)).

- Coeficiente de variación anual del escurrimiento total estacional de los períodos húmedo y seco: (Cvh y Cvs):

Otras propiedades de considerable interés, también evaluadas, son la variabilidad anual del gasto medio del período de Escurrimiento alto (período húmedo), y del período de Escurrimiento bajo (período seco), evaluaciones que se efectuaron a través de los coeficientes de variación Cvh y Cvs, respectivamente, utilizando los datos de las estaciones con observaciones más prolongadas, anteriormente referidas.

Según los resultados, estas relaciones se comportan de la siguiente manera para el occidente de la isla:

$$Cvh = 0,81 Cvo + 0,095 \quad \dots \text{ [para un } r=0,85] \dots \text{ (11)}$$

$$Cvs = 2,88 Cvo - 0,33 \quad \dots \text{ [para un } r=0,83] \dots \text{ (12)}$$

donde: Cvo es el Cv de R en cada cuenca.

- Coeficiente de evaporación total promedio anual (K_{et}):

La evaporación es uno de los tres componentes principales del balance hídrico de los territorios, y en condiciones climáticas como las de Cuba, el principal factor de pérdida de agua. También se caracteriza por el aprovechamiento natural que desarrollan las plantas

de este tipo de recurso (a través del propio proceso de evaporación foliar o transpiración), por lo que su magnitud es proporcional a la producción de materia vegetal; beneficio que puede ser inducido y convenientemente dirigido por el hombre. De aquí la importancia no sólo natural sino también económica, del estudio de este fenómeno; que de hecho constituye uno de los principales recursos hidrológicos terrestres.

La evaporación es una de las variables hidrológicas más complejas y difíciles de evaluar. En el campo de la Hidrología se estudia de forma global (como evaporación total).

Esta variable fue evaluada a partir de todas las cuencas de estudio del territorio, y para las cuencas no cársticas específicamente, como se explica más adelante.

Para el conjunto total de cuencas (que son 22), la ecuación de mejor ajuste fue la función parabólica:

$$K_{Et} = 0,79 - 0,001544 H + 0,00000164 H^2 ; (13),$$

con un coeficiente de correlación de 0,70 y una desviación media cuadrática igual a 15,1%. . Estos indicadores pueden considerarse aceptables, si se tiene en cuenta el alto porcentaje y variedad de cuencas cársticas existentes en esta región.

(Debe aclararse que la relación directa $Et=f(H)$ no se define satisfactoriamente, debido a la influencia de P. Es por eso que en su lugar se estudió $K_{Et}=Et/P$).

Como se deduce, existe una tendencia inversa generalizada entre K_{Et} y H para todo el occidente de Cuba.

La tendencia decreciente antes señalada, obedece al efecto combinado y armónico de un grupo de factores y características físicas, encargadas de producir este tipo de regularidad, lo cual pudiera sintetizarse de la siguiente manera:

Las áreas montañosas (mas elevadas) y con mayor pendiente, presentan menor capacidad evaporante de la atmósfera y menor oportunidad de evaporación, debido, además del potencial físico de la atmósfera, a la menor retención superficial y, sobretodo, a la mayor interrupción del proceso evaporante; a causa de las frecuentes precipitaciones orográficas. El efecto conjugado de este grupo de factores disminuye en los niveles intermedios (área premontañosa); y se invierte en la zona baja, en la que además de ser mayor la evaporación potencial, son también mayores la retención de agua en el terreno (por la menor pendiente), y la humedad disponible.

La influencia del carso en este conjunto de efectos, por otro lado, hace que este fenómeno adquiera características más complejas y específicas, pero por la insuficiente cantidad de cuencas en cada uno de los niveles referidos, no se hace aconsejable desarrollar un análisis al respecto.

Para el grupo de cuencas no cársticas y muy poco cársticas (que son 5), la relación $K_{Et} = f(H)$ resultó mucho más elevada que para el total (cuencas cársticas y no cársticas), siendo su función de mejor ajuste también de tipo parabólica:

$$K_{Et} = 2,039 - 0,016 H + 0,0000434 H^2, \dots(14)$$

y su coeficiente de correlación $r=0,96$.

CONCLUSIONES:

1. Es necesario seguir profundizando y perfeccionando los aspectos conceptuales y metodológicos relacionados con el modelamiento hidrológico espacial.
2. Los resultados obtenidos a partir del procedimiento propuesto fueron muy efectivos según las evaluaciones y consideraciones efectuadas por el autor en su tesis doctoral, y los mapas elaborados, lo que avala su utilidad.
3. Tanto los modelos de cálculo definidos, como los mapas de isolíneas elaborados, constituyen nuevos aportes e importantes herramientas para la práctica hidrológica en el país.

BIBLIOGRAFIA:

1. Batista, J. L. y J. Rodríguez. Determinación de la Influencia del Carso en el Régimen de Esgurrimiento de los Ríos de Cuba. Resultados Preliminares .Ciencias de la Tierra y del Espacio, ACC. La Habana. 12: 56-83, 1986.
2. Batista, J. L. Distribución Espacial y Temporal del Esgurrimiento Fluvial en Cuba . Voluntad Hidráulica. La Habana. 84 :21-29, 1991.
3. Fernández, N. Formación y Cálculo del Esgurrimiento en los Ríos de las Provincias Orientales de Cuba. Universidad Estatal de Moscú: 1990 82p. (Tesis de Candidatura; en ruso)
4. Gagua, G.; S. Zarembo y A. Izquierdo. Sobre el Nuevo Mapa Isoyético (3ra. Versión) . Voluntad Hidráulica. La Habana. 37: 35-41, 1976.
5. González, I. Hidrología Práctica . Ciudad de la Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1988, 110p.
6. González, I. y J. E. Gutiérrez. "Hidrología General". C. de la Habana: EMPES, 1984, 202p.
7. González, I. y J. E. Gtrrez. "Aspectos Teórico-Metodológicos de la Cuantificación del Balance Hídrico en Cuencas Cársicas. Toluca, Méjico: Tercer Encuentro de Geógrafos de América Latina, Tomo V, 1991.
8. Gutiérrez, J. E. "Evaluación Cuantitativa de la Influencia del Karst en el Régimen de Esgurrimiento Fluvial, y su Aplicación en el Occidente de Cuba". Boletín Geográfico de la UNAM. México. (en prensa)
9. Gutiérrez, J. E. "Regularidades espaciales y temporales de los recursos hídricos del occidente de Cuba". Facultad de Geografía. UH, 1994. 120 p. (Tesis Doctoral).
10. Gutiérrez, J. E. e I. González. Manual de Clases Prácticas de Hidrología General . C. de la Habana: EMPES, 1986, 74 p.
11. Iñíguez, L. y J. Mateo. Geografía Física de Cuba, Componentes Naturales y Paisajes Geográficos. C. Habana: MES, 1980, 252p.

12. Nuevo Atlas Nacional de Cuba. Instituto de Geografía de la A. C. C. e Inst. Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana: 1989 (p. v.)
13. Trusov, I. I.; A. Izquierdo y L. R. Díaz. Características Espaciales y Temporales de las Precipitaciones Atmosféricas en Cuba". La Habana: Editorial Academia, 1983, 150 p.