

Comparación hidrológica entre cuencas con diferentes condiciones climáticas en Cuba

Julio Iván González Piedra

email: igch0698@gmail.com

Facultad de Geografía, Universidad de La Habana.

RESUMEN

Se analizan las diferencias hidrológicas en dos cuencas hidrográficas de Cuba ubicadas en dos extremos del país, la cuenca San Diego en Pinar del Río y la de Baconao en Santiago de Cuba, ambas con series de cincuenta años. Según Índice de Lang y por la clasificación de Köppen mejorada, San Diego clasifica como húmeda (Aw_2) y Baconao como subhúmeda (Aw_1). La lámina de escurrimiento en San Diego es 1,4 veces el valor de Baconao. La cuenca del río San Diego supera entre dos y cuatro veces a la cuenca Baconao en el escurrimiento de años secos de altas probabilidades R_{90} y R_{99} . En San Diego los indicadores rendimiento hídrico y eficiencia hidrológica son mayores que en Baconao en 1,6 veces. Se demuestra la influencia de las características fisicogeográficas en la diferenciación hidrológica.

Palabras clave: escurrimiento, eficiencia hidrológica, probabilidad, rendimiento hídrico.

Hydrological comparison between watersheds with different climatic conditions in Cuba

ABSTRACT

The hydrological differences are analyzed in two Cuban hydrographic watersheds located at the country extremes, the San Diego watershed in Pinar del Río and Baconao in Santiago de Cuba, both with series of fifty years. According to the Lang Index and the improved Köppen classification, San Diego classifies as wet (Aw_2) and Baconao as subhumid (Aw_1). The runoff depth in San Diego is 1,4 times the value of Baconao. San Diego watershed exceeds the Baconao one by two to four times in annual runoff for dry years with high probabilities R_{90} and R_{99} . In San Diego, the indicators for water yield and hydrological efficiency are higher than in Baconao in the order of 1,6 times. The influence of physiogeographical characteristics on hydrological differentiation is demonstrated.

Keywords: runoff, hydrological efficiency, probability, water yield.

INTRODUCCIÓN

En las últimas cinco décadas el tema del manejo de los recursos hídricos se ha hecho imprescindible en todos los foros y eventos medioambientales a nivel mundial. El impacto del Cambio Climático, el uso irracional de los recursos naturales y el creciente deterioro del medio ambiente en general, han acelerado la atención de la comunidad científica internacional de los cinco continentes en el recurso agua específicamente por la importancia que éste tiene para la vida. El enfoque de la hidrología comparativa brinda la posibilidad de un análisis del comportamiento hidrológico en cuencas hidrográficas, humedales, acuíferos, en condiciones geográficas diferentes y según objetivos propuestos en la investigación. Según (Kovacs 1993) el objetivo principal de la hidrología comparativa es determinar cómo el balance hídrico depende de las condiciones geográficas. (Woo and Liu 2006) plantean la importancia de la hidrología comparativa en buscar regiones con similitudes geográficas y estudiar los procesos y las respuestas hidrológicas en sus respectivas cuencas tal y como lo hicieron en su estudio en Canadá y China. Por su parte (Park 2010) plantea con precisión que las condiciones hidrológicas están indistintamente distribuidas regional y nacionalmente y cada cuenca es una individualidad, añadiendo la utilidad de los modelos distribuidos del escurrimiento en la comparación espacial de cuencas con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Como se conoce, el clima de nuestro planeta está en correspondencia con las fajas latitudinales. La Isla de Cuba, larga y estrecha, se encuentra entre los 19° 50' y los 23° 10' de latitud según el Nuevo Atlas Nacional de Cuba (NANC 1989) se reconoce un solo tipo de clima *Aw* (tropical, estacionalmente húmedo) según clasificación de Köppen, con recursos hídricos escasos, las cifras oficiales señalan que los recursos hídricos potenciales por habitante por año es de 3400 m³, considerada baja. En Cuba la gestión de los recursos naturales en general y en especial el agua es centralizada por el estado cubano a través del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). La distribución de los recursos hídricos es desigual en las tres regiones de Cuba, sin embargo la política del uso, distribución y costo del agua para los diferentes sectores de la economía no contempla diferenciaciones lo que no estimula el ahorro y el uso racional del recurso. Mientras más escaso es el recurso mayor valor debe tener.

Esta investigación se presenta con un doble objetivo. El primero, demostrar que aunque se reconoce un solo clima para todo el territorio cubano, existen determinadas condiciones fisicogeográficas que hacen posible una subdivisión interna de dicho clima, que a su vez hace evidenciar consecuentemente diferenciaciones de otra naturaleza como las hidrológicas. Ello conlleva a un segundo objetivo, que es analizar esas diferencias hidrológicas en cuanto a límites cuantitativos teniendo en cuenta que las cuencas hidrográficas cubanas no son tan iguales pero tampoco tan diferentes, en dependencia de la escala en que se analicen. Las cuencas hidrográficas seleccionadas son Baconao en la provincia de Santiago de Cuba y San Diego en la provincia de Pinar del Río, ver figura 1. Dichas cuencas están separadas latitudinalmente por solo 3 grados y 20 minutos, y longitudinalmente por 7 grados y 30 minutos (aproximadamente 900 km). Toda la información básica fue elaborada y validada por el INRH y entregada en formato tabular en Excel y las capas de ArcGis 10.1. Las principales características fisicogeográficas de ambas cuencas se dan en la tabla 1 y se refieren al relieve según su altimetría y pendientes, a los tipos de suelos y cobertura vegetal, así como a algunos parámetros climáticos como la lluvia, insolación, radiación solar global y humedad relativa. Los caudales de

agua observados y medidos diariamente en las respectivas estaciones hidrométricas de sus corrientes fluviales se cuentan en series de decenas de años.

BREVE CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS CUENCAS DE ESTUDIO

Cuba tiene 642 cuencas hidrográficas, con una divisoria central que atraviesa todo el territorio y hace que prácticamente el 50 % drene hacia el sur y el otro 50 % hacia el norte. Cuba se encuentra bajo la acción de un importante centro atmosférico: el Anticiclón Subtropical del Atlántico Norte y por tal razón se sienten los efectos de una masa de aire tropical marítima. Esta influencia anticiclónica provoca una marcada estacionalidad de la lluvia, la cual se evidencia claramente en todo el territorio nacional, enmarcadas en dos etapas o períodos; uno lluvioso que comprende los meses de mayo - octubre y otro poco lluvioso en los meses menos cálidos de noviembre – abril. La configuración alargada y estrecha de La Isla de Cuba, y la especial disposición de las alturas en forma de eje central, condiciona una red de drenaje caracterizada por ríos de recorridos cortos; lo que aunado al comportamiento estacional de las precipitaciones, condicionan que el caudal de los ríos en los meses de noviembre a abril presente valores mínimos y en los meses de mayo a octubre y bajo la influencia de diferentes fenómenos meteorológicos tropicales, como tormentas locales severas, ondas del este, ciclones tropicales, en cuestión de horas y en ocasiones de días pueden ver transitar enormes volúmenes de agua. La provincia de Pinar del Río tiene dos vertientes, norte y sur, San Diego dreña hacia el sur, mientras que Baconao se encuentra ubicada en la vertiente sur del macizo montañoso de la Sierra Maestra y sus aguas drenan al sur de la provincia de Santiago de Cuba. La figura 1 muestra la ubicación geográfica de las cuencas de estudio en el contexto cubano.

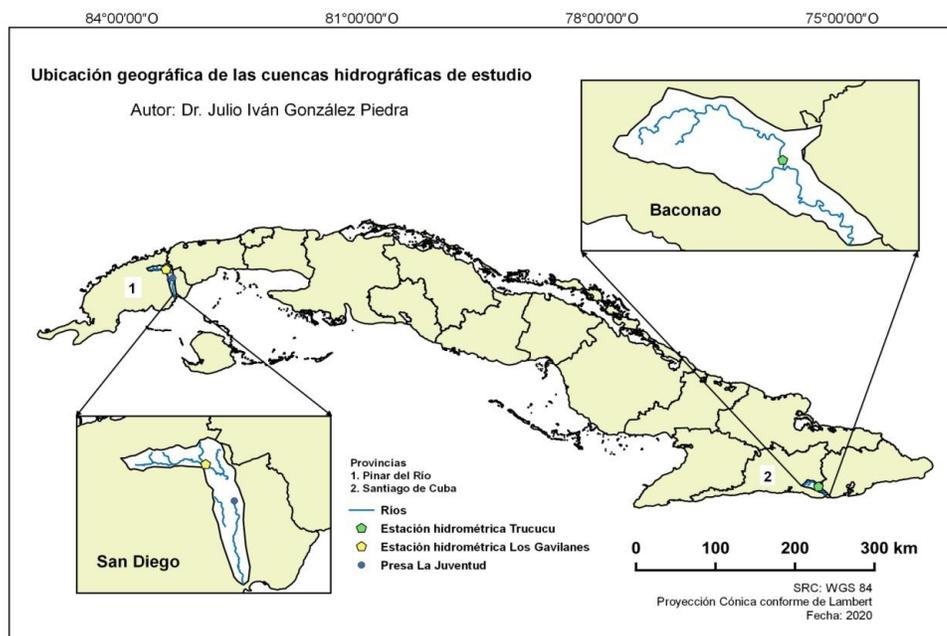


Figura1. Ubicación geográfica de las cuencas hidrográficas San Diego en Pinar del Río y Baconao en Santiago de Cuba

Tabla 1. Principales variables geográficas diferenciadoras de las cuencas de estudio
[Fuente:elaborada por el autor]

| Variable geográfica | San Diego | Baconao |
|---|---|--|
| Lluvia promedio anual, mm | 1697 | 1263 |
| Insolación anual, h | 2700 | 2900 |
| Radiación solar global, MJ /m ² /día | 16,5 | 17,1 |
| Relieve (altitud promedio), msnm | 100 | 491 |
| Pendiente promedio cuenca, m/km | 86,3 | 343 |
| Longitud río principal, km | 87,5 | 41,1 |
| Densidad de drenaje, km / km ² | 0,8 | 1,01 |
| Geología | Pizarras, calizas, margas | Granitos, rocas vulcanógenas sedimentarias, arcillas arenosas |
| Suelos | Esqueléticos, poco evolucionados, litosol | Pardo grisáceo, ferralítico amarillento, fersialítico pardo rojizo |
| Uso de la tierra | Agricultura de subsistencia y maderas preciosas | Cafetales, cultivos varios y potreros de uso extensivo |
| Vegetación | Bosque siempreverde, palma real y cultivos varios | Bosques pluvisilva, pinares, bosques semidecíduos mesófilo y micrófilo |

La cuenca hidrográfica San Diego se encuentra ubicada en la provincia de Pinar del Río, la más occidental de Cuba. Su área de drenaje hasta la costa sur es de 442 km², de los cuales 157 km² cuentan hasta la estación hidrométrica Los Gavilanes que comenzó a medir los caudales en el año 1961, mientras que hasta el embalse La Juventud se cuentan 257 km² (Rodríguez 2013). Ocupa parte de las regiones de Montañas de la Sierra de los Órganos y Montañas de la Sierra del Rosario, pertenecientes al sub-distrito Montañas de la Cordillera de Guaniguanico, también ocupa parte de la región Llanura Sur de Pinar del Río, perteneciente al subdistrito Llanuras de Pinar del Río, según Mateo y Acevedo (NANC 1989). La temperatura promedio mensual oscila entre los 25 y los 28 grados centígrados. Su geología es compleja debido a que confluyen en ella unidades de las secuencias de la Sierra de los Órganos y de la Sierra del Rosario. Hacia la Sierra del Rosario afloran ampliamente calizas estratificadas, micríticas, biomicríticas, calcilitas y calcarenitas de la Formación Artemisa. El relieve de la cuenca está representado por las Alturas de Pizarras del Sur, que son alturas erosivo-denudativas que no sobrepasan los 350 msnm, se extienden de este a oeste en el curso inferior del río San Diego, la altitud promedio hasta la estación Los Gavilanes es de 100 msnm y la pendiente promedio es de 86,3 m / km, evidenciando que no es una cuenca muy diseccionada por el relieve.

Los ríos que brotan en la vertiente sur de estas alturas de pizarras bañan la llanura sur de Pinar del Río. Su fuente de alimentación es básicamente pluvial y la red fluvial comienza a desarrollarse por encima de los 300 msnm en las Alturas de Pizarras del Sur. Aparte del río principal Caiguanabo - San Diego, se encuentran otras corrientes fluviales de relativa importancia como son El Catalina y El Hondo, además de gran número de corrientes estacionales (Rodríguez 2013). Los suelos que se encuentran son los esqueléticos (Poco Evolucionados Litosol) con afloramientos rocosos, y asociados a las depresiones se encuentran suelos Ferralítico Rojo Lixiviado y Fersialítico Pardo Rojizo.

Los suelos Fluvisoles se encuentran asociados al cauce del río. La cuenca presenta todavía diferentes núcleos de su vegetación original producto de las propias condiciones naturales en las cuales se desarrollan. Se caracteriza por el predominio de los complejos de vegetación de mogotes. En la parte correspondiente a la Sierra del Rosario, se describen diferentes tipos de bosques: Bosque siempre verde alto, Bosque siempre verde medio, Bosque siempre verde bajo y Bosque semidecídulo. En línea general casi todo el sector del valle fluvial se encuentra ocupado por cultivos menores.

La cuenca hidrográfica Baconao se encuentra en la provincia de Santiago de Cuba, en el municipio del mismo nombre, extremo oriental de la Isla de Cuba. Su área total de drenaje es de 278 km² y su río principal mide 60,7 km según el Centro Oriental de Ecosistemas y Biodiversidad (COEB 2004). Hasta la estación hidrométrica Trucucú tiene 167 km². Nace en la localidad de Santa Isabel, a una altitud aproximada de 850 msnm. Su densidad de drenaje es de aproximadamente 1,02 km / km².

El clima se caracteriza por sus altas temperaturas generalmente por encima de los 27 grados centígrados y humedad relativa igualmente por encima del 80 % haciendo muy alta la sensación de calor durante todo el año (COEB 2004). Predominan los vientos alisios del noreste que alternan con los del sureste una parte del año. Dos estaciones de lluvia al igual que para todo el país, una húmeda de mayo a octubre y otra relativamente seca de noviembre a abril, donde prácticamente el 75 % – 80 % de la lluvia anual precipita en el periodo húmedo o lluvioso (NANC 1989). La geología es algo diversa al encontrarse granitos de importante magnitud, así como rocas calcáreas y sedimentarias de origen volcánico, existen además importantes yacimientos de hierro, manganeso y cobre, entre otros no metálicos como arenas aluviales, calizas marmolitizadas, arcillas, y piedras ornamentales, destacándose la existencia de fallas entre 7° y 9° que causan los sismos en toda la región.

El relieve es muy irregular predominando las alturas entre 201 msnm y 400 msnm, el resto de los rangos presenta una disminución paulatina en la medida que se aumenta en altitud, los mayores valores se alcanzan en la Sierra de la Gran Piedra. Las características de la cuenca en relación con los valores de pendiente determinan la factibilidad del relieve para diferentes actividades económicas, presentando una parte del área valores superiores a 321 m / km. Los suelos predominantes son Pardo grisáceo, Ferralítico amarillento, Fersialítico pardo rojizo y en general asociados al fenómeno del vulcanismo y algunos pocos esqueléticos debido a la erosión, sobre los cuales se halla una vegetación de Bosque semidecídulo mesófilo, Bosque semidecídulo micrófilo y algunos cultivos varios, pastos y forestales muy dispersos en toda el área.

CARACTERÍSTICAS DE LA LLUVIA Y EL ESCURRIMIENTO

La información pluviométrica e hidrométrica de la cuenca San Diego es de 50 años y comprende el periodo 1963 – 2012, al igual que la cuenca Baconao con 50 años y comprende el periodo 1960 – 2009. Toda la información básica fue elaborada y validada por el INRH y entregada en formato tabular en Excel y las capas de ArcGis 10,1. Para el análisis estadístico y los resultados tabulados y gráficos se utilizó el software Statgraphics Centurion XV. Se utilizaron de manera auxiliar los mapas publicados en diferentes atlas, así como material de consulta publicados por diferentes autores en temas de paisajes, suelos, hidrología, climatología, citados en la bibliografía del presente artículo.

Dada la larga data de las series analizadas en ambas cuencas donde el número de años “n” tiende a ser elevado “N”, el autor consideró oportuno un análisis estadístico que refleje el comportamiento de las variables analizadas sin transformaciones innecesarias. Las variables analizadas fueron la lluvia y el escurrimiento, tanto mensual como anual. Resultó imprescindible conocer el nivel de acuosidad de años secos, elemento muy importante desde el punto de vista comparativo en el caso del escurrimiento, por lo que se determinaron los valores de años secos correspondientes a las probabilidades de sobrepaso del 90 % y 99 % según modelos de distribución teórica de mejor ajuste.

Los parámetros estadísticos más importantes calculados son: valor medio de la lluvia anual (P) en mma través de la media aritmética y coeficiente de variación (Cv) para $n = N$, (ecuaciones 1 y 2).

$$P = \sum Pi/N \quad (1)$$

$$Cv = SP_i/P \quad (2)$$

Donde: P_i : valores anuales de la lluvia en mm; SP_i : desviación estándar de la serie P_i ;

N : número de años, considerado representativo del periodo hiperanual o de muchos años para ambas cuencas. Los mismos parámetros estadísticos fueron determinados para el escurrimiento anual (R) y se dan en la tabla 2.

Método de determinación del Índice de Aridez anual (Ca)

Para la determinación del Índice de Aridez anual (Ca) a modo de comparación entre las dos cuencas, se utilizó la relación entre la lluvia promedio anual (P) y la evapotranspiración potencial anual (ETP). La evapotranspiración potencial anual (en cm) fue determinada por la fórmula de Thornthwaite and Mather de 1955 (Brooks 1997):

$$ETP = 1,6 (10 T_m/I)^A \quad (3)$$

Donde: T_m : temperatura promedio mensual del aire ($^{\circ}C$), I : índice de calor anual.

El valor aproximado de I se determina teniendo en cuenta la sumatoria de las temperaturas mensuales ($\sum T_m$) y aplicando la expresión siguiente:

$$I = \Sigma(T_m/5)^{1,5} \quad (4)$$

A es un coeficiente que se determina según la ecuación (5)

$$A = 0,49 + 0,0179 I - 0,0000771 I^2 + 0,000000675 I^3 \quad (5)$$

Diferenciación climática

Otro indicador importante que se hace necesario utilizar en estas comparaciones hidrológicas es el relacionado entre la lluvia total anual (P) y la temperatura promedio anual en °C (Ta), este indicador es conocido como Índice de Lang. Dicho indicador ha servido a la Dra. Enriqueta García (García 1988) para la subdivisión de zonas climáticas en México a partir de la clasificación de Köppen mejorada por la propia autora.

En Yucatán se hizo una diferenciación para el clima de la península que es considerado como Aw (caliente subhúmedo con lluvias en verano), equivalente en Cuba al clima tropical estacionalmente húmedo. En su trabajo, García definió que existen tres subtipos del Aw , el menos húmedo o seco cuyo cociente de la relación P / Ta es inferior a 43,2 límite superior del clima Bs considerado como árido por Köppen, se reconoce como Aw_0 , mientras los más húmedos sobrepasan el valor de 55,3 y se reconocen como Aw_2 , los comprendidos entre 43,2 y 55,3 son considerados subhúmedos y se les reconoce como Aw_1 .

Disponibilidad de agua

La disponibilidad de agua de la cuenca está íntimamente vinculada al escurrimiento de la misma. El análisis del escurrimiento promedio anual de manera individual y en relación con la lluvia anual permite evidenciar la influencia de las condiciones físico-geográficas en ambas cuencas a través del coeficiente de escurrimiento C_e , al mismo tiempo se hizo necesario el análisis del escurrimiento mínimo anual R_{90} y R_{99} . Este escurrimiento mínimo da la posibilidad de conocer para años secos y secos extremos el nivel de garantía de agua para los usos más comunes de la actividad socioeconómica (R_{90}) y en especial para la población (R_{99}), de igual manera se determina el escurrimiento mínimo minimorum (l/s) y su duración en días, aspecto muy importante para evaluar el nivel de intermitencia de la corriente fluvial.

En hidrología comparativa resulta de gran interés conocer dos indicadores que implican producción y/o eficiencia hidrológica, el primero, rendimiento hídrico (Rh) que relaciona el escurrimiento de un año seco del 90 % de probabilidad y la lluvia promedio anual (R_{90} / P). Este indicador expresa que para dos cuencas con iguales o semejantes valores de lluvia promedio anual, la cuenca con el mayor valor correspondiente a un año del 90 % de probabilidad de sobrepaso del escurrimiento tiene una mayor producción de agua que la otra. El segundo, la eficiencia hidrológica (Eh) (De Araujo y González 2009) se obtiene de la relación R_{90} / R_y expresa en qué medida los valores bajos de escurrimiento correspondientes a años secos (R_{90}) están más cerca o no de los valores promedios (R) indicando poca o mucha variabilidad de la serie, este valor que oscila entre 0 y 1, en un análisis comparativo expresa que el mayor valor corresponde a la cuenca de mayor eficiencia hidrológica.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE VARIABLES HIDROLÓGICAS

Con el objetivo de lograr una comparación objetiva entre ambas cuencas se confeccionan las tablas 2 y 3 donde se muestran en cuatro grupos la información más importante de los resultados cuantitativos de la investigación y sobre los cuales se realiza la discusión posteriormente.

El primer grupo cuantifica las características climáticas más relevantes, además del periodo observado y los modelos de distribución teórica de probabilidades para las variables lluvia y escurrimiento, el segundo grupo, resume todo lo referente al régimen pluvial, siendo lo más relevante la magnitud de la lluvia promedio anual, el coeficiente de aridez y los meses de valores extremos. El tercer grupo se refiere al régimen fluvial donde se destacan los valores promedios anuales del escurrimiento y su variabilidad a través del coeficiente de variación, igualmente se reflejan los valores del coeficiente de escurrimiento y la acuosidad del mes más húmedo y más seco. El cuarto y último grupo resume la disponibilidad de agua a partir de los valores del escurrimiento mínimo R_{90} y R_{99} , de los indicadores rendimiento hídrico y eficiencia hidrológica y el caudal mínimo minimorum (l/s) y su duración en días.

Tabla 2. Características climáticas y régimen pluvial

| Grupo 1: Características Climáticas | San Diego | Baconao |
|---|----------------------|--------------------|
| Rango temperaturas promedios anuales, Ta , °C | 25 - 28 | 27 - 30 |
| Evapotranspiración potencial promedio anual, ETP , mm | 1739 | 2096 |
| Rango de humedad relativa promedio mensual, % | 65 - 75 | 75 - 85 |
| Periodo de la serie de lluvia / Modelo de distribución teórica de probabilidades (valores anuales) | 1963 - 2012 / Normal | 1960 - 2009/Normal |
| Periodo de la serie de escurrimiento / Modelo de distribución teórica de probabilidades (valores anuales) | 1963 - 2012 / Gamma | 1960 - 2009/Gamma |
| Grupo II: Régimen Pluvial | | |
| Lluvia promedio anual, P , mm / Cv | 1697 / 0,16 | 1263 / 0,26 |
| Mediana de la lluvia anual, mm | 1664 | 1111 |
| Índice o Coeficiente de aridez (Ca) | 0,97 | 0,60 |
| Lluvia promedio mensual: mm / Cv | 133,5 / 0,56 | 94,9 / 0,91 |
| Mes más húmedo: promedio, mm / Cv | Jun 257 / 0,54 | May 174 / 0,77 |
| Mes más seco: promedio, mm / Cv | Dic 54 / 0,83 | Dic 39 / 0,85 |
| Mediana mensual: promedio, mm / Cv | 100 / 0,63 | 67,5 / 0,6 |
| Promedio de días con lluvia en el año | 124 | 105 |

Un análisis de las características climáticas (grupo I) de la tabla 2 en ambas cuencas, permite concluir que considerando un promedio de 26°C para San Diego y 28 °C para Baconao existen diferencias en la temperatura promedio del aire de al menos 2 grados, y una diferencia de 357 mm en la evapotranspiración potencial anual, la humedad relativa promedio mensual es muy similar. Las series de lluvia y escurrimiento anual tienen igual característica desde el punto de vista estadístico en lo relacionado con los modelos de distribución teórica, en ambos casos la

lluvia anual se distribuye según la distribución Normal, mientras el escurrimiento lo hace según el patrón de la distribución Gamma.

El régimen pluvial presenta mayores diferencias entre ambas cuencas, la lluvia media anual en San Diego es casi 1,34 veces la de Baconao donde es mayor la variabilidad de los valores anuales, mientras el coeficiente de aridez es menos perjudicial en San Diego (0,97) que en Baconao (0,60) que está cerca del límite superior de regiones semiáridas. La lluvia promedio mensual es superior en San Diego y menos variable que en Baconao, el número de días con lluvia en San Diego es de 124 mientras que en Baconao es solo de 105. En el caso de la aplicación del Índice de Lang por la Dra. Enriqueta García (García 1988) para la definición más precisa del tipo de clima que realmente tienen las cuencas estudiadas, las cuencas San Diego y Baconao tienen valores de 65,3 y 45,1 respectivamente, lo que evidencia la cercanía de Baconao a una condición de clima seco o subhúmedo (Aw_1), siendo San Diego lo contrario, clima húmedo (Aw_2).

Tabla 3. Características fluviales y disponibilidad de aguas superficiales

[Fuente: Elaborada por el autor]

| Grupo III: Régimen fluvial | San Diego | Baconao |
|---|------------------|-----------------|
| Escurrecimiento promedio anual, R , mm / C_v | 544 / 0,44 | 400 / 0,65 |
| Mediana del escurrimiento anual, mm | 499 | 356 |
| Coeficiente de escurrimiento promedio anual, C_e / C_v | 0,32 / 0,30 | 0,31 / 0,46 |
| Asimetría estandarizada del escurrimiento anual | 3,29 | 3,07 |
| Kurtosis estandarizada del escurrimiento anual | 2,19 | 1,20 |
| Mes más caudaloso: promedio, mm / C_v | Jun, 106 / 1,10 | oct, 85 / 1,6 |
| Mes menos caudaloso: promedio, mm / C_v | Feb, 9,8 / 1,25 | Feb, 9,7 / 1,16 |
| Mediana mensual del escurrimiento: promedio, mm / C_v | 31,5 / 0,80 | 16,3 / 0,70 |
| Grupo IV: Disponibilidad de aguas superficiales | | |
| Escurrecimiento anual del 90 % de probabilidad, R_{90} , mm | 281 | 126 |
| Rendimiento hídrico (Rh) | 0,16 | 0,10 |
| Escurrecimiento anual del 99 % de probabilidad, R_{99} , mm | 156 | 43 |
| Caudal mínimo minimorum observado: l / s / duración | 4,0 / 10 días | 0 / 30 días |
| Eficiencia hidrológica (Eh) | 0,52 | 0,31 |

Para el análisis comparativo del régimen fluvial entre dos cuencas, ver tabla 3, es importante tener en cuenta la correspondencia entre los valores anuales para un mismo año observado. Existen dos formas sencillas de demostrar lo anterior. La primera y más práctica a través de la gráfica de distribución anual del escurrimiento para un periodo común.

La segunda, de manera analítica a través del análisis de correlación haciendo uso del coeficiente de correlación lineal de Pearson entre ambas series. En el primer caso, para las cuencas de estudio se evidencia la no relación entre los valores de ambas series, al menos en la gran mayoría de los casos, ver figura 2. A través del análisis de correlación, se obtiene que el coeficiente de correlación r de Pearson es de 0,20 no existiendo relación estadística significativa entre ambas series.

El régimen fluvial es igualmente un reflejo de estas diferencias anteriormente expuestas. La lámina promedio del escurrimiento en San Diego es superior a la de Baconao en 144 mm y con inferior variabilidad anual.

Son muy semejantes los coeficientes de escurrimiento, sin embargo resulta muy interesante que los picos del escurrimiento están muy distantes dentro del año, en San Diego el pico del mes de mayor escurrimiento es junio coincidiendo con el mes de mayor pluviosidad, mientras que en Baconao es en octubre no coincidiendo con el mes más lluvioso que es en mayo, sin embargo, son muy similares las características del mes de menor escurrimiento, en ambos casos tienen prácticamente el mismo valor y en el mismo mes.

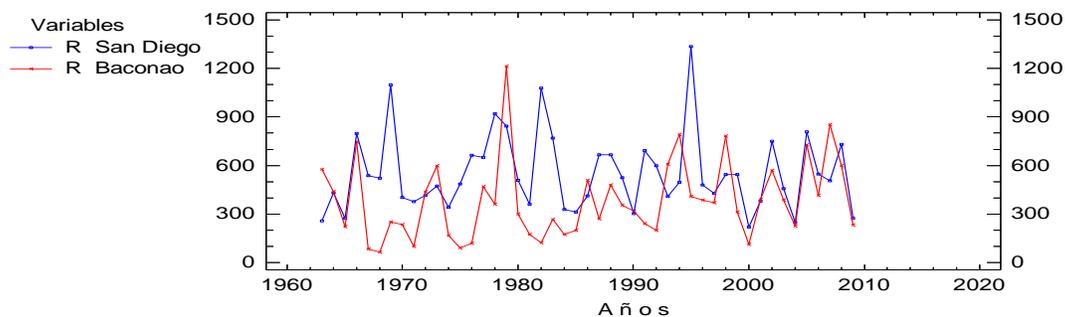


Figura 2. Distribución de la lámina de escurrimiento anual (mm) para las cuencas hidrográficas San Diego y Baconao para el periodo común 1963 – 2009

Las diferencias más notables se encuentran en la disponibilidad de agua en los años secos y muy secos, donde la ausencia del preciado líquido es más sensible. En años del 90 % de probabilidad San Diego tiene 2,23 veces más agua que Baconao, siendo aún mayor para la probabilidad del 99 % donde la diferencia es 3,63 veces.

La determinación del caudal mínimo minimorum (mínimo observado) dio como resultado 4,0 l / s durante 10 días en San Diego, mientras que en Baconao es de 0 l / s durante al menos 30 días, es decir, se interrumpe el flujo superficial. Los indicadores rendimiento hídrico y eficiencia hidrológica en San Diego son 1,6 veces más altos que en Baconao.

De manera conjunta, se hace posible una discusión acerca del comportamiento del coeficiente diferenciador K para los cuatro grupos de variables. Este coeficiente K da la medida en que un grupo de variables se diferencia de otros y se calcula de la siguiente manera:

$$K = V_{sd} / V_b \quad (6)$$

Donde: Vsd es el valor absoluto de cualquier variable hidrológica en la cuenca San Diego, mientras que Vb es lo mismo pero para la cuenca Baconao.

Como cada grupo tiene varias variables se construye una serie de n valores de K para determinar el valor promedio y su rango de valores. En el primer grupo el rango de K es de 0,1 (0,93 – 0,83) el valor medio 0,876 y su desviación estándar es 0,05, mientras que el grupo cuatro el rango de K es de 2,99, su valor promedio es de 2,02 y su desviación estándar es de 1,25, quedando demostrado lo anteriormente planteado de que las mayores diferencias están en este cuarto grupo. La gráfica de la figura 3 muestra el comportamiento del coeficiente diferenciador K para los cuatro grupos de variables hidrológicas.

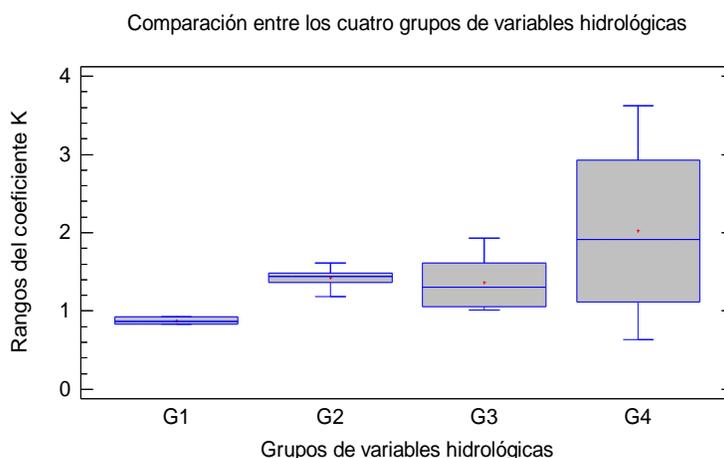


Figura 3. Comparación gráfica entre los cuatro grupos de variables hidrológicas de las cuencas hidrográficas San Diego y Baconao

CONCLUSIONES

- A partir de un enfoque geográfico – hidrológico y considerando un nivel de macro escala donde el análisis de sistema se hace presente y bajo el argumento de que siendo Cuba un país relativamente pequeño, de pocas complejidades fisicogeográficas al tener más del 70 % de su territorio con relieve de ondulado a llano, con un solo clima y con un número relativamente grande de pequeñas cuencas hidrográficas es factible llegar a la hipótesis de cierta homogeneidad hidrológica.
- El estudio demuestra con los casos de San Diego y Baconao (que pudieron ser otros) que la ubicación geográfica y las características fisicogeográficas (considerado el clima) propias de cada lugar donde se encuentran las cuencas de estudio son las causas principales de las diferencias hidrológicas entre estas.
- En estos casos específicos de San Diego y Baconao, teniendo como punto de partida una diferenciación climática interna se llega a clasificar la primera como Aw_2 (húmeda) y la segunda como Aw_1 (subhúmeda), lo que a su vez se deriva en diferencias hidrológicas

importantes tales como que la lámina promedio del escurrimiento en San Diego es 1,4 veces la de Baconao por ser mayor la lluvia promedio anual en la primera en correspondencia con el subtipo de clima Aw_2 , indicando la ponderación del clima en esta variable a pesar de la similitud de sus coeficientes de escurrimientos anuales.

- Baconao suele tener escurrimientos diarios igual a cero durante 30 días consecutivos mientras San Diego permanece con flujo fluvial durante los 365 días del año y por los 50 años observados.
- La cuenca San Diego tiene mayor rendimiento hídrico y es más eficiente hidrológicamente que Baconao en 1,6 veces debido a los altos valores de sus escurrimientos promedios de años secos del 90 % y 99 % de probabilidad.
- Como se ha podido apreciar, el autor escogió dos cuencas bien alejadas una de la otra, sin embargo, queda la incertidumbre a futuro definir el límite de diferenciación en cuencas de una misma región fisicogeográfica donde el clima sea práctica y teóricamente el mismo aun considerando alguna diferenciación en la morfometría de las cuencas, así como en los suelos, vegetación y uso del territorio.

REFERENCIAS

- Brooks K.** (1997). “Hydrology and the management of watersheds”. ISUP/Ames, ISBN 0 - 8138 - 2287 - 4, Iowa, USA.
- COEB** (2004). “Diagnóstico ambiental de seis cuencas de la provincia de Santiago de Cuba”. Reporte Técnico. Delegación provincial de INRH. Santiago de Cuba. Cuba.
- García E.** (1988). “Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen”, Indianápolis 30.D.F. México.
- De Araujo J. C. and González J.** (2009). “Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed”. Hydrological Processes, Vol 23, no.1, 1169 – 1178. Wiley Online Library. ISSN 1099 - 1085. West Sussex, United Kingdom.
- Kovacs G.** (1993). “Técnicas para la comparación interregional. En Hidrología Comparada: un enfoque ecológico a los recursos hídricos del suelo”. 133 – 145. Falkenmark M, Chapman T (eds), UNESCO – CEDEX. ISBN 8477901619 9788477901617. Madrid, España.
- NANC** (1989). “Regionalización físico-geográfica. Sección XII Paisajes”. Instituto de Geografía de la A. C. C y el Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Cuba.
- Park J.** (2010). “A study on the comparative method using AHP and GIS based distributed runoff model”. KSCE Journal of Civil Engineering, 953 - 960. Vol 14, no. 6. ISSN 1226 – 7988, Berlin. Alemania.
- Rodríguez M.** (2013). “Evaluación de las principales variables hidrológicas en la cuenca del río San Diego hasta el embalse La Juventud, Pinar del Río, Cuba”. Tesis de Maestría. Universidad de La Habana. La Habana. Cuba.

Woo L. M.K. and Liu C. (2006). “Mountain hydrology of Canada and China: a case study in comparative hydrology”. *Hydrological Processes*, Vol 8,no. 6, 573 - 587. ISSN 1099 – 1085. West Sussex. United Kingdom.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Julio Iván González Piedra <https://orcid.org/0000-0003-2006-3941>

Puesto que es el único autor, realizó el artículo en su totalidad.