

CARACTERIZACIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CANOABO EN EL ESTADO CARABOBO, VENEZUELA. I. ANÁLISIS CLIMÁTICO Y DE PRODUCCIÓN DE AGUA

CHARACTERIZATION OF THE RIVER BASIN CANOABO IN THE STATE CARABOBO, VENEZUELA. I. CLIMATIC ANALYSIS AND OF WATER PRODUCTION

Víctor A. Sevilla L.*, Juan A. Comerma G.** y Oscar Silva***

*Investigador. Pequiven. Gerencia Agroambiental. Morón, estado Carabobo. Venezuela. Email: victor.sevilla@pequiven.com

**Investigador jubilado. INIA. Email: fliacomermas@cantv.net

***Profesor. UCV. Facultad de Agronomía. Maracay, estado Aragua. Venezuela. Email: osilva@agr.ucv.ve

RESUMEN

El objetivo del trabajo es caracterizar el clima y la producción de agua en la cuenca del río Canoabo, Venezuela, analizando la información disponible, escasa e incompleta, y empleando, de manera combinada metodologías convencionales, modelos digitales de terreno y de simulación e interpolación (EPIC, SWAT, BALDIA y Co-Krigging), para así lograr resultados cartografiados, rápidos y confiables. Los resultados muestran que la distribución de la temperatura y evapotranspiración siguen la zonalidad vertical de las curvas de nivel, que van desde 130 hasta 1 700 m.s.n.m. Por su parte, la precipitación es bastante uniforme, sólo con un ligero aumento hacia las zonas más altas, pero por la reducción de la temperatura en ese mismo sentido, se logra una diferenciada situación del número de meses húmedos, los cuales van desde 6 en las zonas bajas hasta 10 meses en las más altas. La producción media anual de agua de la cuenca es del orden de $36,7 \times 10^6 \text{ m}^3$. La contribución fundamental de este trabajo radica en las zonas altas es determinante no sólo en un mayor balance hídrico, sino de una considerablemente menor escorrentía por la presencia de bosques, en comparación con las áreas sabanizadas. La contribución fundamental de este trabajo radica en la combinación de métodos convencionales con modelos predictivos y espacializadores permitieron, con poca data climática, generar resultados considerados confiables.

Palabras Clave: Cuenca hidrográfica; recursos naturales; climatología y modelos de simulación.

SUMMARY

The purpose of the present paper is to characterize the climate and water production in a watershed of river Canoabo, Venezuela, that has incomplete and scarce information, combining conventional methods with a digital elevation model, and simulations models like EPIC, SWAT, Baldia and co-krigging, to reach quick and satisfactory mappable products. Results showed that temperature and evapotranspiration follow the contour lines and an elevation function, which range from 130 m to near 1 700 m.o.s.l. Rainfall is rather uniform throughout the watershed, only a noticeable increase occurs with elevation, but affecting drastically the number of wet months which range from 6 in the lower valleys to 10 or more in the high mountains. The average annual water production in the watershed is $36.7 \times 10^6 \text{ m}^3$. The contribution to water production of the high mountains is notorious, not only for the more positive water balance but also due to the dense cover of the forest reducing runoff in comparison to the pasture lands lower down. The combination of conventional methods together with models that helps predicting and mapping variables which were scarce, supports the idea of trustable results.

Key Words: Watersheds; natural resources; climatology and simulations models.

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Canoabo es un área estratégica para la economía y la sociedad de una parte importante de la región costera centro-occidental de Venezuela: abastece de agua a un grupo de industrias de refinación de hidrocarburos, petroquímica y generación de energía eléctrica. Además, es la única cuenca local que cuenta con un embalse.

La cuenca del río Canoabo, ubicada al oeste del estado Carabobo, Venezuela contribuye a suplir de agua a las poblaciones del eje Urama - Puerto Cabello y a un grupo de industrias básicas. La producción de agua está condicionada inicialmente por el clima, de allí lo indispensable de su caracterización, pero adicionalmente, es un elemento básico para las evaluaciones agroambientales y desarrollo de planes de uso y manejo.

Últimamente ha presentando signos de degradación ambiental como consecuencia de la deforestación de bosques, erosión de los suelos, sedimentación y contaminación por vertido de aguas servidas a los cursos de agua. Con ello, se amenaza la estabilidad y compromete la prestación de servicios ambientales y socio productivos.

El principal servicio ambiental de una cuenca hidrográfica, la producción de agua, está condicionado particularmente por el clima, de allí lo indispensable de su caracterización y evaluación. Adicionalmente, el clima es un factor básico para la evaluación y planificación del ambiente en cuanto regular el uso, conservar los recursos naturales y lograr la sostenibilidad de los servicios que presta la cuenca.

Como es el caso común de muchas cuencas hidrográficas de importancia, la información básica en la cuenca del río Canoabo es escasa e incompleta, lo cual pondría una limitante tanto para la evaluación como la planificación de la misma. No obstante, el uso combinado de herramientas de apoyo para la investigación y gestión ambiental como lo son los modelos de simulación hidrológica y los sistemas de información geográfica, pueden ser particularmente útiles a los fines de compilar, procesar y derivar información ambiental y mejorar el proceso de toma de decisiones que implica el manejo de cuencas hidrográficas.

En este trabajo, se caracterizan cuantitativa y espacialmente algunas características del clima y de la producción de agua de la cuenca del río Canoabo, no sólo a los fines del propio manejo y mejoramiento de la misma, sino como aporte metodológico en cuanto a la integración de diversos métodos para el análisis espacial y funcional de procesos ambientales.

Ubicación y descripción general del área de estudio

La cuenca presenta una superficie de 14 508 ha y drena al Mar Caribe. Se ubica en la Cordillera de la Costa de Venezuela, al nor-occidente del estado Carabobo (ver Figura 1). Alberga a una población aproximada de 6 500 habitantes y surte de agua a poblaciones de importancia como Morón y Puerto Cabello (aproximadamente 300 000 habitantes) y a industrias básicas estratégicas como la refinera de hidrocarburos El Palito, la planta petroquímica de Pequiven y la planta de generación eléctrica Plantacentro, instalaciones de relevancia nacional. Cuenta con un embalse (Canoabo) de 234 ha de superficie actualmente y $80 \times 10^6 \text{ m}^3$ de capacidad, del cual se aprovechan aproximadamente $55 \times 10^6 \text{ m}^3$ para consumo humano e industrial.



FIGURA 1. Ubicación relativa de la cuenca del río Canoabo.

La cuenca cuenta con una red vial de 179 km, de regulares a malas condiciones. La mayor parte del relieve de la cuenca es montañoso (Figura 2), disectado longitudinalmente por un valle estrecho. La altitud varía entre 135 m.s.n.m., en el Piedemonte litoral del norte y 1 700 m.s.n.m., en las crestas de montaña en el sur.

El clima es variable, y depende en gran medida de la altitud, con precipitaciones que varían entre 1 000 y 1 200 mm. En las áreas bajas la zona de vida es de tipo Bosque Seco Tropical en las medias Bosque Seco Premontano y de Bosque Húmedo Premontano en las zonas altas. Las vegetaciones asociadas a dichas áreas son en general de Bosque decíduo, semidecíduo y nublado, respectivamente. La mayor parte de la cuenca ha sido afectada por la introducción de sistemas de producción agrícola de cítricos y de ganadería extensiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración de la cartografía básica, se georeferenciaron las cartas 1:25 000 del Instituto Geográfico

Venezolano Simón Bolívar (IGVSB), y se vectorizaron en pantalla la hidrografía, curvas de nivel, vialidad, poblados y cuerpos de aguas. Esta información se actualizó mediante el uso de una Imagen de Satélite (LANDSAT7 ETM 2000) y de Ortofotomapas 1:65.000 del IVGSB (año de vuelo 1996). Apoyándose en los elementos geográficos anteriormente mencionados y con base en las partes de aguas, se delimitaron los perímetros de la cuenca y subcuencas. Se elaboró un Modelo Digital de Elevación (MDE), el cual resultó un elemento fundamental para obtener las variables climáticas, temperatura y evaporación, así como también para analizar las pendientes, estimar la erosión actual y los riesgos de erosión, separar unidades de suelos, clasificar las tierras por capacidad de uso y determinar las áreas bajo inundación. Para diseñar el MDE se utilizó la herramienta TOPOGRID, de ArcGis versión 9,0 (ESRI, 2005), así como para realizar una distribución continua de la altura a partir de la interpolación ponderada inversa de la distancia (IDW). Este módulo utilizó como elementos básicos las curvas de nivel, la hidrografía, y los cuerpos de agua. Finalmente se obtuvo un mapa raster de altitud con curvas de nivel cada 10 m.

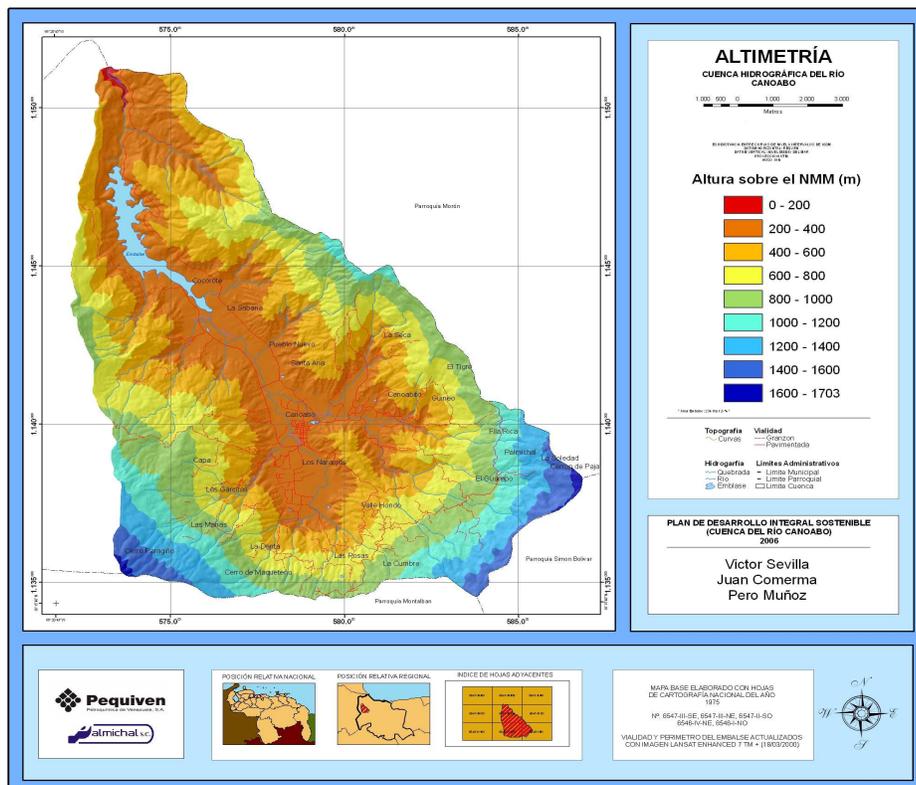


FIGURA 2. Modelo digital de elevación (MDE).

La caracterización climática comenzó con la selección de estaciones de Hidrocentro, MARN y Palmichal, (Cuadro 1), cuatro dentro de la cuenca y siete en sus alrededores, pero con semejanza en sus condiciones ambientales. La data fue revisada en cuanto a su calidad, longitud de los registros, existencia de datos faltantes y englobados y la presencia de información extraña.

Los datos faltantes de precipitación se generaron mediante el modelo EPIC (Williams *et al.*, 1984; USDA-ARS-BRC, 1997). Ello permitió obtener series continuas estadísticamente homogéneas. Este procedimiento consistió en: a) selección de años sin información faltante; b) cálculo de los parámetros de generación climática mediante el programa WXPM7240 accesorio de EPIC; c) estimación de datos faltantes con EPIC.

Para obtener el mapa de temperaturas, se desarrolló un Modelo digital de temperatura media anual. Para ello, se obtuvo una ecuación lineal que asoció la altitud (H; m) con la temperatura media anual (TPC; °C), la cual se aplicó al modelo digital de elevación:

$$\text{TPC} = 26,2 - 0,0059H;$$

Esta expresión tomó como base la ecuación propuesta por Jaimes y Elizalde (1990), que relaciona altura con temperatura para 200 estaciones del país, la cual se

ajustó a los valores propios mediante modificación del intercepto de la ecuación original. Estos resultados se acercaron más a las temperaturas obtenidas en la cuenca señaladas por otros estudios como el de Tarazona, (2004).

La evapotranspiración (E_{to} , mm) se estimó según la información de evaporación en tina (E, mm):

$$E_{to} = 0,8 E$$

La información de las dos únicas estaciones con registros se espacializó según la ecuación lineal obtenida de sus altitudes y evapotranspiración estimada:

$$E_{Te} = -0,8103 H + 1723,5$$

Donde:

E_{Te} : es la evapotranspiración estimada (mm).

H: la altitud para cada punto del modelo digital de elevación (m.s.n.m.).

Los límites de las delineaciones del mapa digital de evapotranspiración obtenido se corrigieron según el tipo de vegetación.

Para obtener el **Modelo digital de precipitación media anual** se usaron los valores de precipitación anuales dentro del intervalo de confianza del 95% para el período 1968 - 2003. Ello aseguraba que por lo menos en cada nueve de diez años, ocurrirían los promedios de precipitación utilizados.

CUADRO 1. Estaciones meteorológicas seleccionadas.

Estación	Serial	Origen	Tipo	Tipo de datos	Altitud (m.s.n.m.)	N° de años de registro real	Años de registros
Represa	S/S	Hidrocentro	C2	Diario	265	11	1993 - 2004
Canoabo	1370	MARNR	Pr	Diario	300	12	1967 - 2004
Palmichal	6380	Palmichal	C2	Diario	1 000	18	1988 - 2005
Cerro de Paja	S/S	Palmichal	Pr	Diario	1 650	03	1993 - 1996
Urama	1336	MARNR	Pr	Diario	19	15	1964 - 1993
La Justa	S/S	Palmichal	Pr	Diario	280	18	1988 - 2005
El topo	S/S	Palmichal	Pr	Diario	880	03	1991 - 1994
Chirgua Cabecera	1318	MARNR	Pr	Diario	770	14	1967 - 2000
Montalbán	1365	MARNR	Pr	Diario	700	10	1966 - 2004
Temerla		MARNR	Pr	Anual	435	N/A	N/A
Valencia - San Luís		MARNR	Pr	Anual	470	N/A	N/A

Los valores de precipitación se espacializaron usando el modelo de predicción CoKriging en ArcGis versión 9,0 (ESRI, 2005). Este modelo permite que otra variable, en este caso la vegetación, corrija posibles errores de estimación debido a la escasez de estaciones y a la desigualdad entre los valores. Los pasos seguidos fueron los siguientes:

- Análisis exploratorio de los datos, comprobando su consistencia y eliminando valores erróneos.
- Análisis estructural de la precipitación según su continuidad espacial mediante un semivariograma experimental y su posterior ajuste que mejor explique su variabilidad espacial.
- Predicciones mediante el Cokriging ordinario, estimando precipitación en puntos no muestreados, considerando los pesos proporcionados por el modelo y la estructura de correlación espacial de los datos.
- Validación del modelo de semivariograma, mediante el método de validación cruzada, usando las ecuaciones del Cokriging de modo retrospectivo. Así, de manera secuencial, se suprime cada dato del análisis y se predice con el resto de los datos, después se calculan para cada punto las diferencias entre el valor pronosticado y el observado. Con ello, se obtienen los errores de la predicción. El análisis de estos errores mediante ciertos estadísticos y gráficos, proporciona una medida de la bondad de ajuste del modelo usado para la estimación. Cuanto más próximas a cero sean la media de los errores y la media tipificada, menos sesgadas serán las predicciones. Así mismo, cuanto más pequeño el error cuadrático medio, más se aproxima el valor de la predicción al valor real. Para valorar la variabilidad de la predicción se utiliza el error típico medio que tiene que estar próximo al error cuadrático medio para que la variabilidad sea la correcta. Sería similar decir que el error cuadrático medio tipificado tiene que estar próximo a 1 (Cañada, 2004).

Con la finalidad de obtener un **Modelo de número de meses húmedos (NMH)**, se consideró mes húmedo aquel donde la precipitación media (PP, mm) es mayor o igual a la mitad de la ETo (mm) y, además, llueve en más de la mitad de los días del mes (Parra y Puche, 2004). Relacionando los NMH con el índice PP/ETo, se logra la ecuación:

$$\text{Número de meses húmedos} = 5,7888 * \text{Ln}(\text{PP}/\text{Eto}) + 8,953$$

La cual mostró un r^2 de 0,90. Esta ecuación una vez aplicada en cada estación fue espacializada a la cuenca a través del modelo digital de PP/ETo.

Como una síntesis climática y para numerosos fines posteriores de este trabajo, se obtuvo un **Mapa de zonas de vida de Holdridge**. Ewel y Madriz (1968), señalan que se puede lograr su determinación a partir de la precipitación, temperatura y altura. Según esto, y haciendo uso de los modelos digitales correspondientes y el software ArcGis versión 9,0 (ESRI, 2005), se procedió a delinear las zonas de vida, según los intervalos propuestos por Holdridge (Ver Cuadro 2).

CUADRO 2. Definición de zonas de vida en la cuenca del río Canoabo.

		Temperatura media anual (°C)		
		16 - 18	18 - 24	24 - 26
Precipitación (mm)	850 - 1 000	Bs-Mb	Bs-P	Bms-T
	1 000 - 1 100	Bh-Mb	Bs-P	Bs-T
	1 100 - 1 250	Bh-Mb	Bh-P	Bs-T

*Bs-Mb: Bosque seco montano bajo, Bs-P: Bosque Seco Pre montano; Bms-T: Bosque muy Seco Tropical; Bh-Mb: Bosque Húmedo Montano bajo; Bs-P: Bosque Seco Pre montano; Bs-T: Bosque Seco Tropical; Bh-P: Bosque Húmedo Pre montano.

La producción de agua, es decir, el agua de origen superficial y subsuperficial que llega a diversos cauces y puede ser aprovechada, se evaluó según las características generales del río Canoabo, la magnitud de la escorrentía superficial y subsuperficial y sus variaciones espaciales. Para ello, se siguieron dos fases metodológicas: a) predictiva: empleo de los modelos BALDIA (Rojas, 2006) y SWAT (USDA- ARS-BRC, 2005) para estimar los componentes de la producción de agua y b) analógica: estimación del régimen de producción de agua de la cuenca en estudio partir de la información de una cuenca vecina (río Urama), lo cual sirvió de elemento de validación de lo anterior.

BALDIA es un programa de cálculo de balance hídrico diario escrito en Quick Basic, el cual fue desarrollado inicialmente para programación de riego en el año 1985 y luego adaptado para incluir drenaje. Este programa se basa en las relaciones agua-planta-atmósfera (Rojas, 2006). La información requerida para su empleo, es: a) precipitación diaria; b) evaporación diaria o mensual y

c) datos del suelo y cultivos. La información de salida proporcionada por BALDIA, incluye: a) percolación; b) escurrimiento; c) déficit; d) días de exceso; e) precipitación; f) precipitación máxima diaria; g) escorrentía máxima diaria; h) escorrentía total y i) evapotranspiración real.

SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un programa de modelación hidrológica diseñado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en conjunto con la Universidad de Texas (Arnolt *et al.*, 1999). Este modelo permite simular la producción de agua y sedimentos en cuencas hidrográficas, así como el efecto que en la calidad del agua tienen las prácticas agronómicas por el uso de pesticidas y fertilizantes. El SWAT se basa en un balance hídrico para determinar la entrada, salida y almacenamiento de agua en cuencas. Para la modelación, la cuenca hidrográfica se divide en pequeñas subcuencas con el fin de mejorar la exactitud de los cálculos.

El programa BALDIA se empleó para obtener el balance de componentes de la producción de agua en áreas homogéneas. Se empleó un registro de precipitación diaria de 18 años de la estación Palmichal. Mediante el modelo SWAT se estimó la distribución espacial de la magnitud de la producción de agua, dividiendo el área en microcuencas.

El mapa obtenido de producción de agua se ajustó con la ayuda del modelo digital del número de meses húmedos, con el fin de mejorar sus límites espaciales, y tomar en cuenta, además de aspectos hidrológicos e hidrográficos, elementos expresivos del comportamiento climático en la cuenca como la precipitación, evapotranspiración y pisos altitudinales. Un ejemplo de ello es la clara separación del bosque semidecídulo del bosque nublado.

CUADRO 3. Calificación de la producción de agua.

Producción de agua (mm año ⁻¹)	Calificación
Menos de 230	Baja
230 - 260	Media
260 - 280	Alta
Más de 280	Muy alta

Finalmente los niveles de producción de agua de cada microcuenca, se calificaron según la escala mostrada en el Cuadro 3.

Con la finalidad de validar los resultados obtenidos con la metodología anterior, se empleó el análisis de la escorrentía de la cuenca del río Urama. Las cuencas del río Canoabo y Temerla, conforman la cuenca del río Urama (440 km²) la cual posee registros de caudales (1945-1967), a escasos kilómetros de la confluencia del Canoabo. La similitud de los valores de precipitación para toda la cuenca de Urama indica que es posible estimar valores promedio de rendimiento de la cuenca del río Canoabo, con base en los valores medidos del río Urama.

Diversos parámetros conocidos de la cuenca del río Urama (MARNR, 1983 citado por Tarazona, 2004) fueron relacionados con valores de las características climáticas de la cuenca del río Canoabo, con lo cual se obtuvieron promedios de escorrentía. En el Cuadro 4 se muestran los parámetros empleados.

CUADRO 4. Parámetros hidrológicos de la Cuenca del río Urama empleados para estimar la escorrentía del río Canoabo.

Relación: escorrentía / precipitación	0,2
Escorrentía media	252,2 mm
Gasto mínimo de estiaje	0,2 m ³ s ⁻¹ = 0,465 l s ⁻¹ km ⁻²

Fuente: (MARNR, 1983 citado por Tarazona, 2004)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Clima

La Figura 3 muestra la distribución de la temperatura, notándose claramente una distribución vertical y concéntrica con las curvas de nivel. Los valores medios anuales varían desde 16 °C en el extremo sur (crestas de montañas), hasta 25,5 °C, en el fondo del Valle del río Canoabo. Las variables de temperaturas mínimas, media y máximas mensuales, sólo se caracterizaron para el Bosque Húmedo Premontano, por encima de los 800 m.s.n.m., debido a que es la única área que posee una estación meteorológica completa y por consiguiente

poseía datos para el análisis de las mencionadas variables. Los resultados evidenciaron un régimen bimodal, con los máximos en mayo y septiembre; y los mínimos en diciembre y febrero. En esta zona de Bosque Húmedo la variación de la temperatura interanual resultó baja, mostrando coeficientes de variación para la temperatura media de 1,8%; para la máxima 5% y para la mínima del 6%.

La Evapotranspiración presenta valores mensuales promedio entre 111 y 148 mm en las zonas bajas, y entre 62 y 92 mm en la zona de montaña. Los valores más altos de ETo anual (alrededor de 1 400 mm), corresponden al valle del río Canoabo. En las montañas, a más de 1 600 m.s.n.m., en el sector de Cerro de Paja, estos valores varían entre 400 y 600 mm.

En la Figura 4, se puede ver que la precipitación se comporta de manera relativamente uniforme, con una variación aproximada entre los 1 000 y 1 200 mm promedio anual. El patrón de mayor cobertura espacial corresponde con las áreas de bosque nublado, (especialmente por encima de 800 m de altitud). En ellas, con

una frecuencia del 95%, la precipitación varía entre 1 115 y 1 290 mm anuales, con un promedio de 1 220 mm. En menor proporción, se tienen áreas más secas, de bosque decíduo, ubicadas en el centro de la cuenca, con precipitación, al 95% de probabilidad, entre 936 y 1 038 mm anuales, con un promedio de 987 mm.

En general, la variación de los promedios anuales se consideró de baja a media, con coeficientes de variación entre 12 y 23%, los valores bajos a medios se relacionan con las posiciones altas (> a 700 m.s.n.m.) bajo bosques semidecíduos y siempreverde (nublados), por otro lado los valores altos se consiguen en tierras bajas, bajo un bosque decíduo.

El patrón de las precipitaciones es bimodal, con un máximo en julio y otro entre septiembre-octubre, un mínimo relativo en agosto y un mínimo absoluto en enero-febrero, como se muestra en la Figura 5. Se observa un período lluvioso a partir de mayo a octubre, que puede llegar a noviembre. El período seco comienza en diciembre y se extiende hasta marzo.

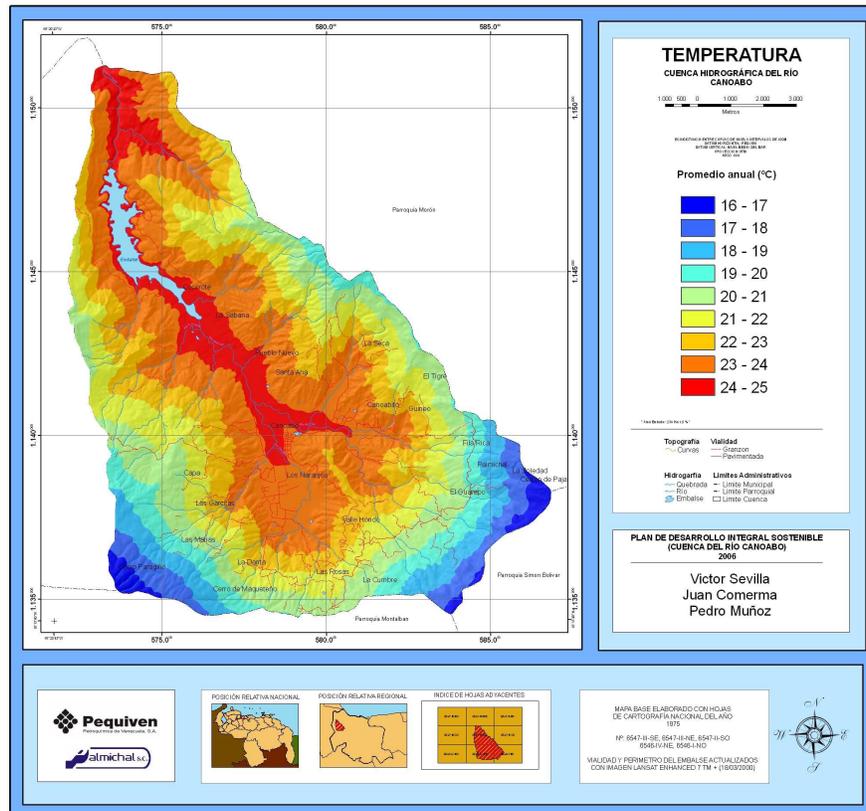


FIGURA 3. Modelo digital de temperatura media anual.

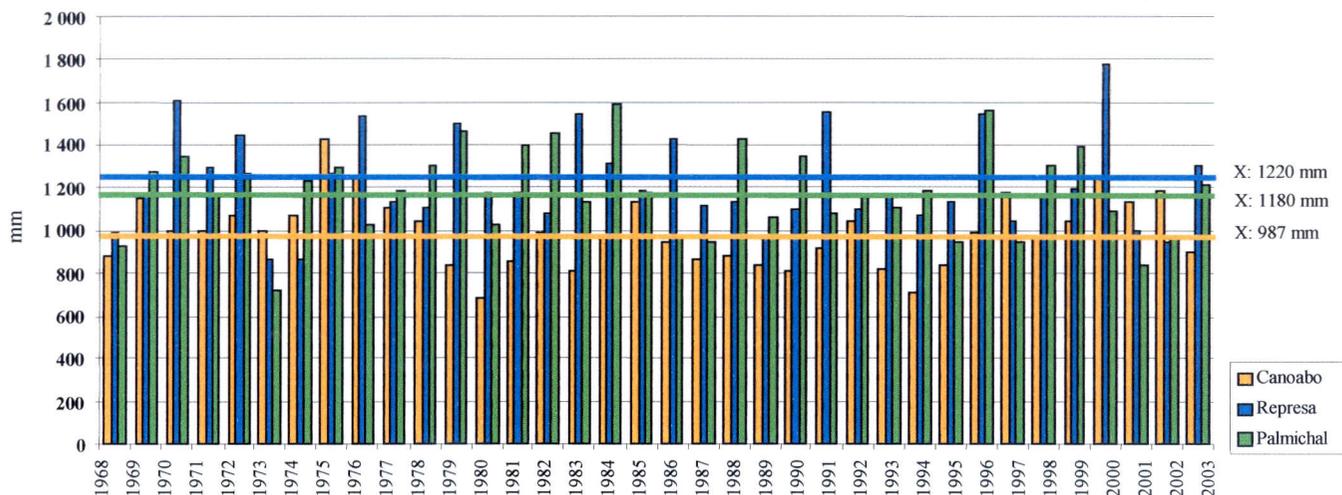


FIGURA 4. Precipitación media anual de las estaciones dentro de la cuenca.

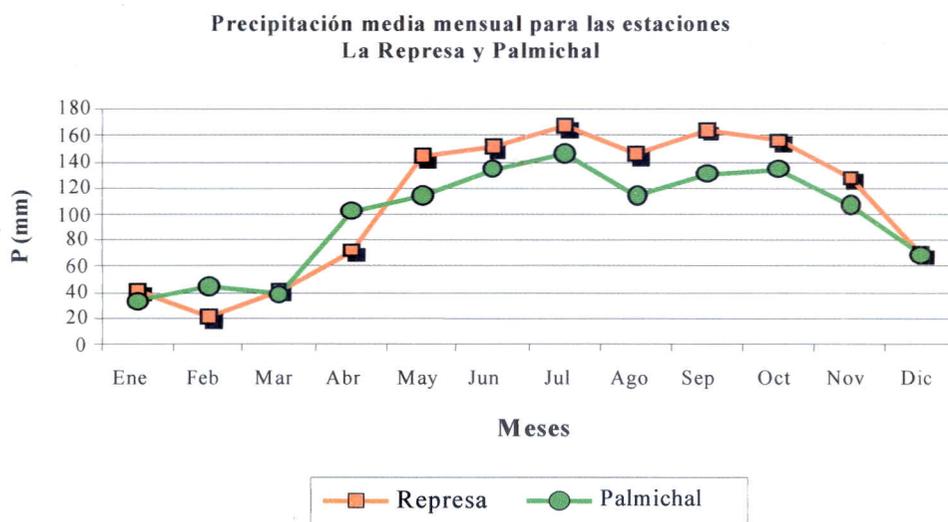


FIGURA 5. Precipitación media mensual para las estaciones La Represa y Palmichal.

La Figura 6, muestra que la distribución de la precipitación media anual es semiconcéntrica, encontrándose que las zonas de mayor precipitación están al Sureste, en el sector montañoso de Palmichal y Cerro de Paja. Se estima que, y como es característico en estas serranías, el origen de estas lluvias sea convectivo, debido a la orogenia del lugar e impulsado por los vientos provenientes del norte.

El otro sector de mayores precipitaciones es al norte, en zonas relativamente bajas, pero que todavía están bajo un efecto residual del frente frío del norte proveniente del Mar Caribe. En sus trabajos Rojas (2006),

indica que la lluvia promedio de 1 hora está en el orden de los 35 a 55 mm y que la lluvia de 15 minutos representa entre el 40 y 50% de la lluvia total de un evento, lo cual se puede resumir en que las lluvias son de alta intensidad y de corta duración.

En cuanto al NMH es evidente que las zonas con más humedad se ubican al sur de la cuenca en ambos vértices (zona montañoso). En ellas, hay entre 10 y 12 meses húmedos, debido a factores como: a) es el área con mayor cantidad de lluvia en la cuenca (más de 1 200 mm) y b) se ubica en alturas sobre los 800 m.s.n.m., con menores temperaturas y mayor nubosidad y, por lo tanto, menor evapotranspiración.

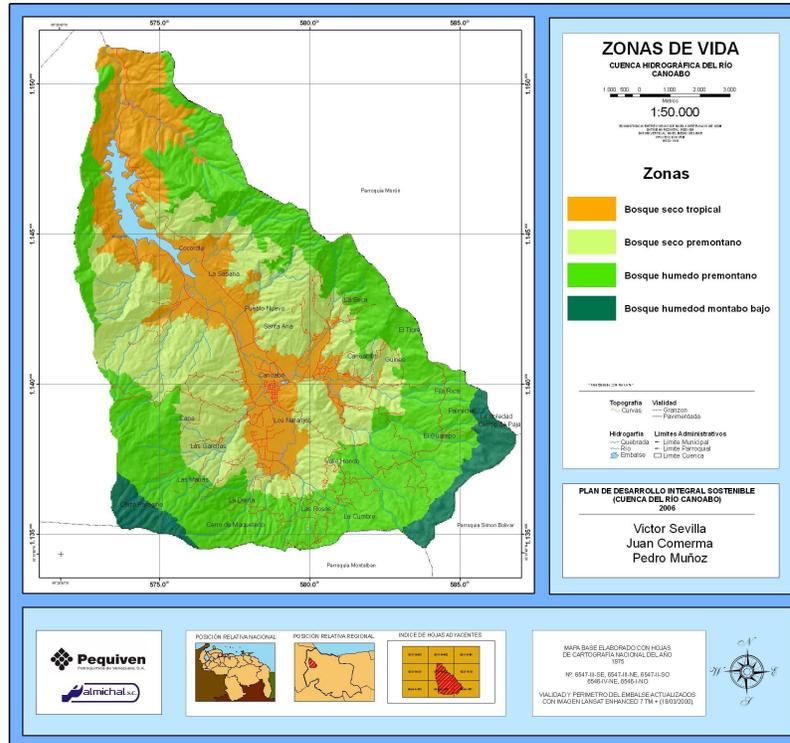


FIGURA 7. Mapa de zonas de vida según Holdridge.

El balance hídrico desarrollado mediante el modelo BALDIA, arrojó una producción de agua de alrededor de 260 mm anuales, valor muy cercano al estimado para el río Urama (244 mm) según sus parámetros hidrológicos. De manera general, apoyado en el modelo BALDIA, se estimó una producción media anual para la cuenca de $36,7 \times 10^6 \text{ m}^3$.

El modelo señala que los pastos degradados generan la mayor escorrentía superficial y que en los bosques se disminuye dicho fenómeno, además de generarse mayor flujo sub-superficial y agua subterránea. Ello se explica, principalmente, por una mayor infiltración, lo cual causa que en la época seca las cuencas boscosas siempre tengan flujo (caudal de estiaje). Complementariamente, se supone que también colabora con la producción de agua el entrapamiento de la neblina por parte de la vegetación, así como el rocío producto de la mayor humedad ambiental y temperaturas más bajas. Se estimó que los cultivos permanentes ubicados en la zona del valle producen una mayor percolación. Al ser las pendientes más bajas, las pérdidas por escorrentía son menores, y no obstante, el agua infiltrada se pierde verticalmente al no existir una vegetación lo suficientemente densa para aprovecharla.

La Figura 8 muestra como es la distribución de la producción de agua, lo que se corresponde bastante bien con los resultados esperados de acuerdo a los suelos, la precipitación y el uso actual. De esa manera, las cuencas altas con mayor precipitación y con cobertura boscosa, producen más agua; las áreas más planas permiten mayor percolación y por ende menos escorrentía y consecuentemente contribuyen más a la recarga de los acuíferos que al embalse.

CONCLUSIONES

- El uso combinado de generadores climáticos de modelos de simulación como EPIC, con métodos de interpolación espacial como IDW y Cokriging, puede ser sumamente útil para enfrentar el análisis de información climática en cuencas hidrográficas con información escasa e incompleta. No obstante, debe tenerse presente que con ningún método se sustituye una buena disponibilidad de información y por lo tanto, es conveniente recurrir a valores de referencia que permitan establecer el grado de confiabilidad de las estimaciones o ajustes efectuados. En tal sentido, en el caso de evaluaciones de cuencas

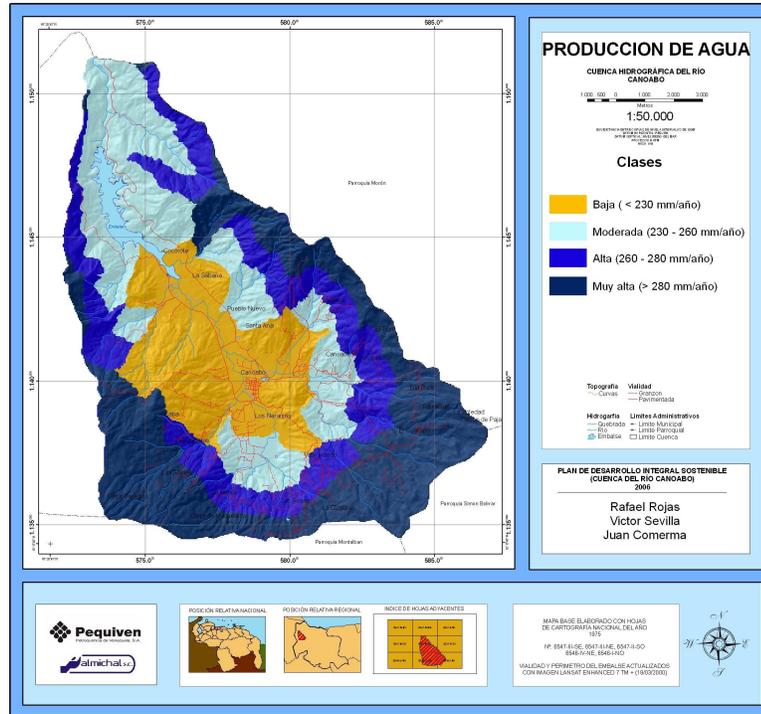


FIGURA 8. Mapa de producción de agua.

hidrográficas, es particularmente útil el uso de la vegetación como elemento de ajuste o corrección de la información climática, así como valores análogos de cuencas cercanas en cuanto a parámetros de producción de agua.

- Metodologías relativamente sencillas como el sistema BALDIA, en conjunto con modelos de simulación más complejos, como SWAT, permiten, aún en cuencas con escasa información, establecer la distribución espacial del potencial de producción de agua y discriminar áreas según el balance entre los componentes de ésta.
- Debe tenerse presente que el desbalance espacial de información en la cuenca puede ocasionar diferencias de calidad en la caracterización de la cuenca, por lo tanto, es conveniente advertir al usuario de la información al respecto.
- Aunque se considere que la precipitación es homogénea en una cuenca, por lo general no es conveniente asumir como homogéneo el régimen de humedad. En cuencas con importantes diferencias de altura, como la estudiada, existen diferencias apre-

ciables de temperatura, lo cual influye a la evapotranspiración, y consiguientemente, al balance hídrico y al potencial de producción de agua. Muestra de ello son las contrastantes formaciones vegetales identificadas en el área y la capacidad productora de agua asociada a éstas.

BIBLIOGRAFÍA

- Arnold, J. G., J. R. Williams, R. Srinivasan and K. King. 1999. Soil and Water Assessment Tool. USDA-ARS and the Texas A and M University Agricultural Experimental Station, Temple, Texas. 98 p.
- Cañada, M. 2004. Aplicación de la Geoestadística al estudio de la variabilidad espacial del ozono en los veranos de la comunidad de Madrid. Departamento de Geografía, Universidad Autónoma de Madrid. 12 p.
- ESRI, 2005. ArcGis 9.0. Redland, California, USA. www.esri.com.
- Ewel, J. y A. Madriz. 1968. Zonas de Vida de Venezuela. Editorial Sucre. Caracas-Venezuela. 264 p.

- Jaimes, E. y G. Elizalde. 1990. El factor altitud como criterio de delineación pedogeomorfológica en áreas de relieve montañoso. *Revista Agricultura Andina*. 5.17-24.
- Parra, R. y M. Puche. 2004. Informe sobre Caracterización del Régimen de Humedad de la Cuenca Alta del río Guárico. Manejo Integral de la Cuenca Alta del río Guárico, Núcleo de Investigación y Excelencia. Proyecto Iniciativa Científica Milenio. 43 p.
- Rojas, R. 2006. Caracterización Hidrológica de la Cuenca del río Canobo, en el estado Carabobo. Informe técnico. PEQUIVEN, Morón. 64 p.
- Tarazona, J. 2004. La Sostenibilidad como estrategia para el Desarrollo de las Comunidades en los Espacios Boscosos: La Experiencia en la Cuenca del río Canobo. Municipio Bejuma. Estado Carabobo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Humanidades y Educación, Escuela de Geografía. Caracas, Venezuela. 287 p.
- United States Department of Agricultural. Agricultural Research Service. USDA-ARS. 1997. EPIC. Blackland Research Center. Software. <http://www.brc.tamus.edu/epic>.
- United States Department of Agricultural. Agricultural Research Service. USDA-ARS. 2005. SWAT: Soil and Water Assesment Tool. <http://www.brc.tamus.edu/swat/>
- Williams, J., C. Jones y P. Dyke. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and productivity. *Trans. ASAVE*. 27 (1):129-144.