

La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico

*The Orinoco River basin:
hydrographic view and its hydrological balance*

Gustavo Silva León*

Recibido: octubre, 2003 / Aceptado: mayo, 2004

Resumen

Se describe la cuenca internacional del río Orinoco en lo referente a ubicación, límites, dimensiones, extensión, regiones, ciudades, integración fluvial, clima, régimen de escorrentía y tributarios principales. Luego se aborda el balance hídrico de la cuenca, simplificando la ecuación general al caso del promedio anual, en que el aporte por precipitación es igual a la salida por escorrentía y evapotranspiración. Primero se realiza un balance ajustado al promedio histórico de 14.850 m³/s que tiene el río Orinoco en Puerto Ayacucho, a cuya cuenca de 342.000 Km² se calculan 2.660 mm/año de precipitación y 1.260 mm/año de evapotranspiración, resultando buenos indicadores de rendimiento hídrico: productividad de 43 l/s/Km² y coeficiente de escorrentía de 51 %. Este balance se extrapola a otros puntos del río Orinoco, aguas arriba y aguas abajo, incluyendo sus afluentes. Finalmente, se obtienen balances preliminares por regiones hidrográficas y por países.

Palabras clave: río Orinoco; cuenca hidrográfica; balance hídrico; Venezuela; Colombia.

Abstract

The international Orinoco River basin is described, referring to location, limits, dimensions, extension, regions, cities, fluvial integration, climate, runoff regime and main tributaries. Then, the hydrological balance of the basin is approached, simplifying the general equation to the case of the annual average, in which the contribution by rainfall is equal to the exit by runoff and evapotranspiration. First, a balance adjusted to the historical average of 14.850 m³/s that has the Orinoco River in Puerto Ayacucho is accomplished, to whose basin of 342.000 Km² an average of 2.660 mm/year of rainfall and 1.260 mm/year of evapotranspiration is calculated, resulting in good hydrological yield indicatives: productivity of 43 l/s/Km² and runoff coefficient of 51 %. This balance is extrapolated to other points of the Orinoco River, up streams and down streams, including its affluents. Finally, preliminary balances are obtained from hydrographic regions and from countries.

Key words: Orinoco River; river basin; hydrological balance; Venezuela; Colombia.

* Universidad de Los Andes, Escuela de Geografía, Mérida-Venezuela, e-mail: gsilval@ula.ve

Introducción

El Orinoco es el mayor río venezolano, el segundo más caudaloso de Sudamérica y el tercero del mundo, superado solamente por los ríos Amazonas y Congo, que como el Orinoco también desembocan en el océano Atlántico. Su extensa cuenca hidrográfica es la principal de la Sudamérica boreal, siendo compartida por Venezuela y Colombia. Además se comunica naturalmente por vía fluvial con la cuenca amazónica y Brasil, alcanzando otra salida al Atlántico.

El río Orinoco tiene estaciones hidrométricas sin información actualizada de caudales más otros sitios con registros de niveles. De sus mayores afluentes, el río Caroní y su cuenca son los mejores instrumentados para determinar los elementos climáticos y el régimen de escorrentía, porque interesa optimizar la operación del embalse de Guri y la generación de energía hidroeléctrica en el bajo Caroní, donde van instalados 13.250 MW de potencia nominal hasta 2004. Al sur del eje Apure-Orinoco y al oeste de la cuenca del río Caura no abundan las estaciones pluviométricas operativas, mientras que en la Orinoquia colombiana los datos pluviométricos e hidrométricos son limitados.

La insuficiente información dificulta realizar un balance hídrico preciso pero se necesita disponer al menos de un balance preliminar, dada la importancia del agua como recurso vital de usos múltiples y por su valor estratégico en la cuenca del Orinoco. A continuación se presenta una descripción hidrográfica de

la misma para luego abordar su balance hídrico.

Parte I: La gran cuenca del río Orinoco

Ubicación

La cuenca del río Orinoco está situada al norte de Sudamérica y de la línea ecuatorial, ocupando territorio venezolano y colombiano, como se aprecia en el mapa de la figura 1. En Venezuela se extiende por 17 de sus 23 estados: Amazonas, Bolívar, Apure, Táchira, Mérida, Trujillo, Barinas, Portuguesa, Lara, Yaracuy, Cojedes, Carabobo, Aragua, Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro; y en Colombia por 11 de sus 32 departamentos: Meta, Guaviare, Vaupés, Guainía, Vichada, Boyacá, Cundinamarca, Casanare, Arauca, Santander y Norte de Santander, más una parte del Distrito Capital que excluye a Bogotá.

La cuenca tiene dos extremos septentrionales a $10^{\circ} 18' N$ en los estados Lara y Carabobo, ubicados en los meridianos $69^{\circ} 16'$ y $68^{\circ} 11' O$, respectivamente, siendo el segundo el punto más cercano al mar Caribe, del que dista 20 Km El extremo meridional venezolano está en el estado Amazonas, a $1^{\circ} 32' N$ y $65^{\circ} 21' O$; mientras el extremo meridional colombiano está en el departamento del Vaupés, a $1^{\circ} 33' N$ y $71^{\circ} 14' O$. El extremo oriental de la cuenca se halla en la frontera entre el estado Delta Amacuro y la zona que Venezuela le reclama a Guyana, a $8^{\circ} 13' N$ y $59^{\circ} 50' O$; el extremo occidental es el límite común de los departamentos de

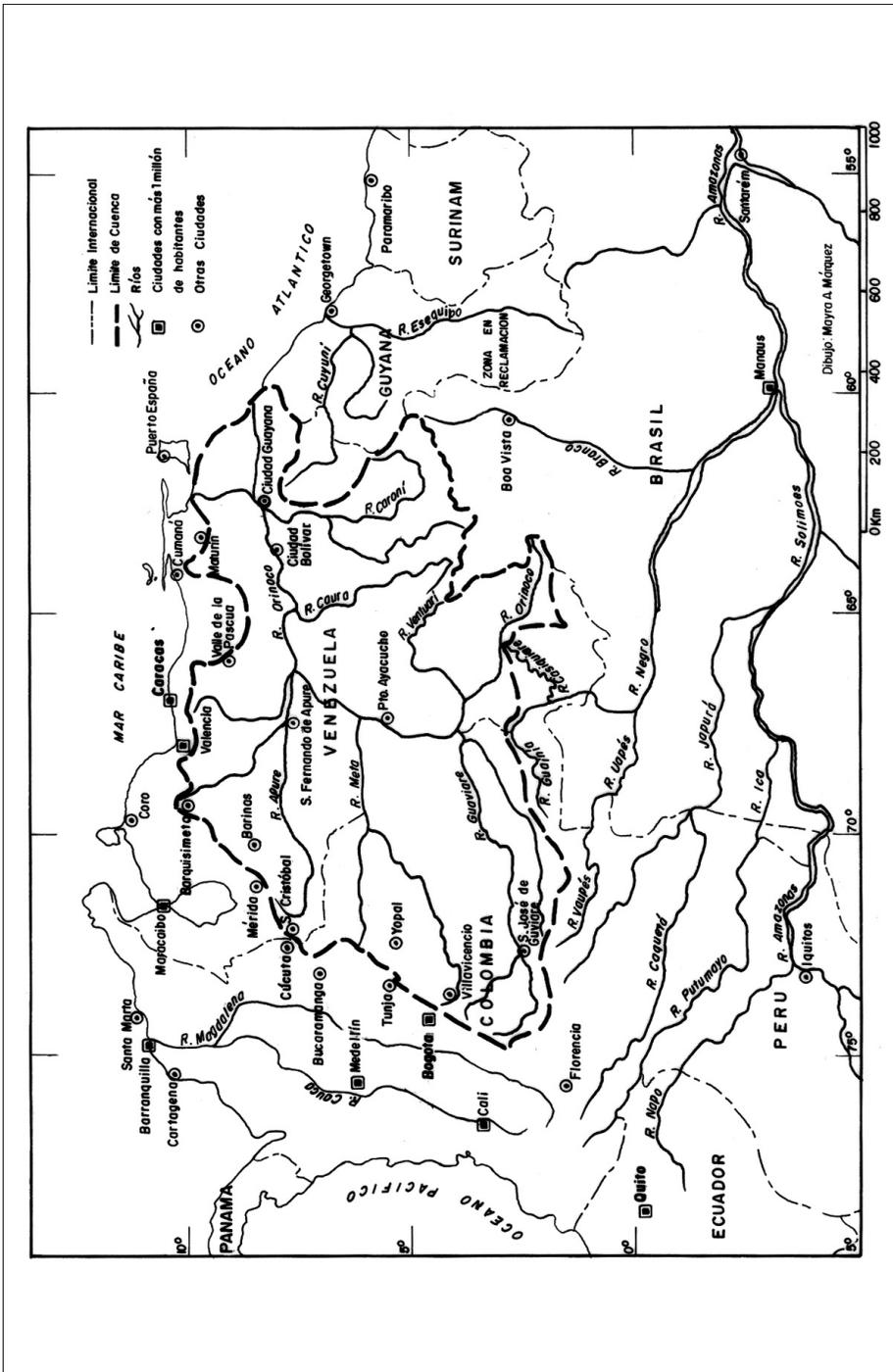


Figura 1. Norte de Sudamérica. Cuenca del río Orinoco

Huila, Meta y Caquetá y de las cuencas de los ríos Magdalena, Guaviare y Caquetá, situado a $2^{\circ} 56' N$ y $74^{\circ} 55' O$; es además el punto más cercano al océano Pacífico, del que lo separa una distancia de 257 Km en dirección a Cali.

La cuenca del Orinoco tiene una latitud promedio de $5^{\circ} 52' N$ y una longitud promedio de $67^{\circ} 33' O$, aproximadamente. El punto de coordenadas promedio se considera el centro geográfico de la cuenca y se localiza curiosamente en el mismo río Orinoco a 24 Km aguas abajo de la ciudad venezolana de Puerto Ayacucho, en la frontera colombo venezolana.

Límites naturales

La cuenca del Orinoco limita al norte con ramales de los tramos central y oriental de la cordillera de la Costa que drenan al mar Caribe y al lago de Valencia, la cuenca caribeña del río Unare que separa ambos tramos y la cuenca pariana del río Guaraupiche; por el este con el océano Atlántico, al frente de la línea costera del delta hasta la desembocadura del río Amacuro, más las cuencas atlánticas de los ríos Barima y de los confluente Cuyuní y Mazzaruni, ambos tributarios del Esequibo; por el sur con las cuencas de los ríos Negro y Caquetá–Japurá, grandes afluentes del río Amazonas; y por el oeste con vertientes de la cordillera Oriental de los Andes colombianos y de la cordillera de Mérida de los Andes venezolanos, que drenan al río Magdalena, al lago de Maracaibo y al río Tocuyo.

Dimensiones

La mayor distancia en la cuenca es de 1.723 Km entre un punto del alto Guaviare, ubicado a $2^{\circ} 13' N$ y $74^{\circ} 36' O$ en el límite de los departamentos del Meta y Caquetá; y un punto de la costa deltaica situado a $9^{\circ} 22' N$ y $60^{\circ} 48' O$ en la isla Tobejuba, estado Delta Amacuro. Ambos puntos definen un eje longitudinal de la cuenca que tiene 903 Km en Colombia y 820 Km en Venezuela. En la frontera, el mismo corta al Orinoco a la altura del paralelo $6^{\circ} N$ en un punto intermedio entre el centro geográfico y la boca del Meta. Este eje pasa, además, al sur de Ciudad Bolívar y al norte de Ciudad Guayana.

La mayor distancia norte–sur es de 870 Km para el meridiano $69^{\circ} 15' O$, entre los paralelos $2^{\circ} 30' N$ y $10^{\circ} 20' N$; mientras la mayor distancia este–oeste es de 1.460 Km para el paralelo $4^{\circ} 55' N$, entre los meridianos $73^{\circ} 45' O$ y $60^{\circ} 35' O$, aproximadamente.

Extensión

La cuenca tiene una superficie redondeada de 1.000.000 de Km^2 , de los cuales 655.000 se encuentran en Venezuela y 345.000 en Colombia, que equivalen al 71,5 % y 30,2 % de los territorios nacionales, respectivamente; mientras el área hasta el ápice del delta es de unos 925.000 Km^2 UNESCO (1979) indica la misma superficie total. Otros autores difieren sobre las áreas antes mencionadas y quizás en su delimitación. Así, CAF (1998) reporta una cuenca de 1.015.000 Km^2 , 685.000 en Venezuela y 330.000 en Colombia; Domínguez (1998) deter-

mina 1.032.524 Km², 644.423 y 388.101; Cárdenas *et al.* (2000) señalan 988.821 Km², 643.481 y 345.340 y Gleick (2002) revela 958.500 Km², 607.000 y 351.100, respectivamente. Datos previos son los de Codazzi (1841): 957.000 Km² de cuenca, 670.000 en Venezuela y 287.000 en Colombia que, según este autor, no era ribereña del Orinoco y Gómez (1953): 1.016.576 Km², 669.050 venezolanos y 347.526 colombianos.

Según UNESCO (1979), la cuenca del Orinoco es la vigésima más extensa del mundo. En Sudamérica sólo es superada por la gigantesca amazónica que, con 6.915.000 Km² es la mayor del mundo, y por la platense con 3.100.000 Km². Además, el río Madeira, principal afluente del Amazonas, tiene una enorme cuenca de 1.390.000 Km² repartidos principalmente entre Bolivia y Brasil.

Tanto el paralelo 5° 44' N como el meridiano 67° 38' O, minutos aproximados, son los que dividen la cuenca orinoquense en dos áreas iguales. El punto que tiene esas coordenadas se halla también en el río Orinoco, a 7 Km aguas abajo de Puerto Ayacucho y a 17 Km aguas arriba del centro geográfico de la cuenca.

Longitud del río

El Orinoco tiene 1.783 Km de longitud desde su nacimiento en el cerro Delgado Chalbaud hasta el ápice de su delta, de manera que su longitud total depende de la salida que se tome hasta el océano Atlántico. Si se toma la ruta más corta de Río Grande y su Boca de Navíos, pasando primero por Barrancas hasta llegar a la desembocadura del río Amacuro, el

río totaliza 2.002 Km; continuando hasta Faro Barima son 2.010 Km. Esta longitud se divide en 713 Km de alto Orinoco, desde que nace hasta la desembocadura conjunta de los ríos Atabapo y Guaviare; 515 Km de Orinoco medio hasta la boca de los ríos Apure y Guárico, más 782 Km de bajo Orinoco hasta el océano Atlántico. Esta división de tipo práctico es la misma de Vila (1960) y también ha sido adoptada por Georgescu (1984) y por CAF (1998). Ésta refiere 2.140 Km al río Orinoco, repartidos en 710 Km de alto Orinoco, 550 Km de Orinoco medio y 880 Km de bajo Orinoco hasta un punto no ubicado del Atlántico.

La trayectoria del Orinoco describe un arco que encierra casi toda la guayana venezolana. Sus tres tramos tienen una orientación característica en ese arco: primero hacia el noroeste, luego hacia el norte y después hacia el este, culminando en un amplio delta; sus límites coinciden con las dos grandes inflexiones del río descritas por Codazzi (1841 y 1940).

El Orinoco es más largo desde el Guaviare, con el que suma 2.750 Km de longitud. Este caso semeja al del Mississippi, que es más largo por el Missouri. Por otra parte, todo el Orinoco recorre territorio venezolano pero los primeros 280 Km del Orinoco medio hacen frontera con Colombia, específicamente entre el estado Amazonas y el departamento del Vichada y desde la desembocadura del Atabapo hasta la del Meta.

Regiones hidrográficas

A los tres tramos identificados del río Orinoco corresponden sendas áreas de drenaje o regiones hidrográficas, que son heterogéneas entre ellas y dentro de sí mismas en sus características fisiográficas. La cuenca así dividida queda repartida en 10 % de alto Orinoco, 60 % de Orinoco Medio y 30 % de bajo Orinoco, que se muestran en el mapa hidrográfico de la figura 2.

Alto Orinoco. Abarca 101.000 Km² de territorio venezolano perteneciente al estado Amazonas, que corresponde al área de la cuenca aguas arriba de la unión del Atabapo. Los tributarios principales en orden de afluencia son los ríos Mavaca, Ocamo, Padamo, Cunucunuma, Yagua y Ventuari, todos por la margen derecha excepto el primero.

En el sitio de Tamatama el Orinoco tiene una bifurcación única en el mundo que conecta su cuenca con la del Amazonas, mediante el Brazo Casiquiare que desemboca en el río Negro. Esta interconexión fluvial fue utilizada por navegantes portugueses desde 1726, pero fue reconocida por el misionero jesuita Manuel Román en 1744, luego divulgada en París por de La Condamine en 1745 y verificada personalmente por Alejandro de Humboldt en 1800 (Silva, 2000). La interconexión completa un cerco de miles de kilómetros de ríos enormes en torno a un territorio de 1.800.000 Km² de la Sudamérica septentrional, que es 50 % brasileño y 25 % venezolano, cuya fachada Atlántica va desde la desembocadura del caño Mánamo en el delta del

Orinoco hasta la bahía de Marajó en el delta amazónico.

Orinoco medio. Esta región tiene una superficie de 598.000 Km², de la cual más del 90 % se ubica a la margen izquierda del río Orinoco. Comprende la Orinoquia colombiana más 253.000 Km² de territorio venezolano. Por la margen izquierda afluyen primero los ríos Atabapo y Guaviare. Siguen por esa margen los ríos Vichada, Tuparro, Tomo, Vita y Meta, que vienen de Colombia; luego están los ríos Cinaruco, Capanaparo y Arauca, que nacen en Colombia y continúan en Venezuela y al final desembocan los ríos Apure y Guárico. Por la margen derecha están los ríos Sipapo, que desemboca después del Vichada; el Parguaza, que afluye después del Meta y el Suapure, que desagua después del Cinaruco.

Con la desembocadura del Atabapo y el Guaviare arranca propiamente el Orinoco medio como tramo del gran río, empezando con un área de drenaje de 254.000 Km², equivalente a ¼ de la cuenca. Se trata en adelante del poderoso o soberbio río Orinoco en un recorrido de 1.290 Km que le restan para llegar al Atlántico. Sin embargo, en el Orinoco medio se encuentran los mayores obstáculos para la navegación: los raudales de Maipures y Atures.

Bajo Orinoco. Tiene un área de drenaje de 301.000 Km² de territorio venezolano, de los cuales 189.000 son de Guayana y otros 74.000 son de la subregión deltaica, que incluye su cuenca colectora. Los principales tributarios desde

aguas arriba son los ríos Manapire, Cuchivero, Zuata, Caura, Aro y Caroní; de ellos Manapire y Zuata se hallan en la margen izquierda del Orinoco. Luego están los afluentes del delta, entre ellos los afluentes Amana y Guanipa, el Tigre y su afluente el Morichal Largo y el Uracoa, que desembocan por la margen izquierda y occidental del delta y los ríos Toro, Aquire y Amacuro que lo hacen por la margen derecha y meridional del mismo.

Delta del Orinoco. Tiene una superficie de 23.000 Km² que se va incrementando en varios Km² al año debido al aporte de sedimentos generados aguas arriba, estimados en 150 millones de toneladas por año, a los que se suma una cantidad importante de sedimentos provenientes de la cuenca amazónica y del Esequibo, que llegan al delta a través de la corriente marina de Guayana. Tiene más de 300 caños e innumerables islas fluviales. Entre los caños destacan Mánamo, Pedernales, Capure, Cocuina, Tucupita, Macareo, Mariusa, Araguao, Merejina y Río Grande, citados en el sentido de las agujas del reloj, siendo más importantes los de Mánamo, Macareo y Río Grande. Algunos caños no provienen del Orinoco sino que nacen como ríos en las tierras deltaicas.

Regiones naturales

En la cuenca se diferencian seis regiones naturales: los Llanos y la Guayana, separadas entre sí por el río Orinoco, que son las más extensas con 42 y 35 % de la superficie total, respectivamente. Los

Llanos de la Orinoquia son 60 % venezolanos y 40 % colombianos. Completan las selvas meridionales de la margen izquierda con 15 % de la cuenca, región mayoritariamente colombiana; los Andes colombo venezolanos con 5 % de la misma, el delta con 2 % del área y la cordillera de la Costa con menos del 1 %.

Ciudades

En la ribera derecha del río Orinoco se encuentran la meridional Puerto Ayacucho (50.000 hab.), capital del estado Amazonas y distante 1.080 Km del Atlántico; la colonial Ciudad Bolívar (300.000 hab.), capital del estado Bolívar y distante 385 Km del Atlántico y la moderna Ciudad Guayana (700.000 hab.), en la desembocadura del río Caroní y a 280 Km del Atlántico. Ciudad Bolívar cuenta con el puente Angostura desde 1967, mientras Ciudad Guayana tendrá en servicio un puente carretero y ferroviario en 2005.

En la cuenca del río Apure se encuentran varias ciudades importantes. Por un extremo de la cordillera de Mérida se halla la andina San Cristóbal (400.000 hab.), capital del estado Táchira y ribereña del río Torbes, que es la más poblada de los Andes venezolanos; por el otro está Barquisimeto (900.000 hab.), capital del estado Lara y ribereña del río Turbio, que es la cuarta ciudad de Venezuela y la más poblada de la cuenca orinoquense. Las mayores ciudades llaneras de la cuenca apureña son Acarigua-Araure (250.000 hab.), Barinas (200.000 hab.), Guanare (150.000 hab.), San Fernando de Apure (150.000 hab.) y San Carlos (100.000 hab.). San Fernando está situada a ori-

llas del río Apure a 170 Km del Orinoco y a 945 Km del Atlántico y cuenta con el mayor de los puentes apureños. Otras ciudades llaneras de la Orinoquia venezolana son Calabozo (100.000 hab.) y Valle de La Pascua (100.000 hab.). En las mesetas orientales se halla El Tigre-San José (200.000 hab.); en la cordillera costera están San Juan de Los Morros (100.000 hab.), Villa de Cura (50.000 hab.) y Tinaquillo (50.000 hab.) y, en el delta del Orinoco, está Tucupita (50.000 hab.).

En la Orinoquia colombiana la ciudad más grande es Villavicencio (300.000 hab.), capital del departamento Meta situada al pie de la cordillera Oriental y a orillas del río Guatiquía, conocida como la puerta de los Llanos Orientales de Colombia. Hacia la cordillera le queda Bogotá y aguas abajo se halla Puerto López, distante 780 Km del Orinoco y 1.785 Km del Atlántico. Otras ciudades son Yopal (50.000 hab.), ribereña del río Cravo Sur; Arauca (50.000 hab.), ribereña del río homónimo en la frontera con Venezuela y emplazada a 560 Km del Orinoco y a 1.370 Km del Atlántico; Puerto Carreño, fronteriza con Venezuela y localizada en la boca del Meta a 1.015 Km del Atlántico; San José del Guaviare, puerto ubicado a 1.040 Km del Orinoco y a 2.330 Km del Atlántico y Puerto Inírida, situado en la boca del río Inírida a 28 Km del Orinoco y a 1.325 Km del Atlántico.

Integración fluvial

La cuenca del Orinoco es binacional desde el punto de vista territorial, siendo Colombia el país de aguas arriba y Venezuela el de aguas abajo. La frontera

común dentro de la cuenca es predominantemente fluvial mediante los ríos Sarare, Arauca, Meta, Orinoco y Atabapo. La vecindad determina intercambios comerciales fronterizos entre Arauca y El Amparo, Puerto Carreño y Puerto Páez, Casuarito y Puerto Ayacucho y Puerto Inírida y Amanavén con San Fernando de Atabapo.

El compartir la cuenca del Orinoco crea una oportunidad adicional de integración entre Venezuela y Colombia, algo explotada en el pasado, cuya reactivación debe analizarse con cuidado para que beneficie a ambos países. A Colombia conviene desarrollar la navegación por el Meta y el Orinoco con una salida al Atlántico. A Venezuela, interesa desarrollar el eje Orinoco-Apure por su potencial petrolero, industrial, agropecuario, forestal, pesquero, minero, turístico y comercial de su área de influencia que, por el sur, llega hasta el río Meta y Puerto Ayacucho. Este potencial ha sido parcialmente aprovechado hasta ahora. En cualquier caso, deben procurarse las condiciones propicias para impulsar esos desarrollos.

Desde el punto de vista hidrográfico, la cuenca orinoquense es en parte amazónica gracias a la interconexión Orinoco-Casiquiare-Negro, ya que el agua producida por 39.000 Km² del alto Orinoco hasta Tamatama es compartida con la cuenca del Amazonas, siendo Brasil un país aguas abajo respecto a Venezuela y Colombia. La integración fluvial con Brasil tiene dificultades naturales en el Orinoco medio y alternativas a considerar para mejorarla.

Clima

Existen en la cuenca una gran variedad de climas tropicales con su particular influencia sobre las actividades humanas y la biodiversidad. Predominan temperaturas medias anuales entre 24 y 28 °C y precipitaciones medias anuales entre 1.500 y 3.000 mm.

Temperatura. El régimen de temperatura es típicamente isotérmico en atención a la poca diferencia existente entre las temperaturas medias mensuales. Esta isoterminia es propia de las bajas latitudes del trópico. Sin embargo, las variaciones de temperatura durante el día llegan a tener más de 10 °C de amplitud.

En atención al relieve se presentan diferentes pisos térmicos en la cuenca orinoquense, cuya extensión de terreno disminuye notoriamente a medida que los pisos ascienden. Como referencia están las clasificaciones expuestas por Silva (2002). Un piso tropical basal, evidentemente caluroso, tiene temperaturas medias superiores a los 23 °C y se presenta en Los Llanos, las penillanuras guayanesas, el piedemonte cordillerano, las bajas estribaciones montañosas y en general en todas las sabanas y selvas macrotérmicas. Un piso mega-mesotérmico, fresco, tiene temperaturas medias entre 18 y 23 °C y es propio de montañas bajas de la cordillera andina y costera y de los cerros bajos y altiplanicies guayanesas; son típicos los bosques húmedos y muy húmedos premontanos andinos y guayaneses, más la Gran Sabana. Un piso templado con temperaturas medias entre 13 y 18 se presenta en montañas medias y

valles altos andinos y en la mayoría de los cerros, jidis o tepuyes guayaneses; se corresponde con bosques montano bajo. Un piso frío con media de 8 a 13 °C es típicamente andino, pero aún se presenta en las cimas de los tepuyes más altos.

Precipitación. Esta determinada fundamentalmente por la acción de la convergencia intertropical y de mecanismos convectivos y orográficos. La humedad del aire es de origen marítimo y continental y los vientos que la movilizan son principalmente los alisios del noreste y los del sureste, respectivamente.

El régimen de precipitación es típicamente unimodal, con lluvias concentradas entre los meses de mayo y octubre por causa de la mayor actividad de la convergencia intertropical a mediados y al término del verano astronómico del hemisferio norte. Al norte del paralelo 6° N se distingue claramente una estación seca desde diciembre hasta abril, que se hace más húmeda y corta hacia el sur, en dirección al Guaviare y al alto Orinoco, principalmente porque aumenta la permanencia de la convergencia intertropical.

La mayor parte de la Guayana tiene una media anual entre 2.000 y 3.500 mm. En los Llanos Centrales y Orientales, desde Calabozo hasta Tucupita y entre la cordillera de la Costa y los ríos Apure y Orinoco, la precipitación varía entre 1.000 y 1.500 mm/año; mientras en los Llanos Occidentales las lluvias van desde 1.500 mm/año en San Fernando y Acarigua hasta 3.000 mm/año o más al alcanzar el piedemonte andino.

En los Llanos colombianos la precipitación media anual hacia el norte es del orden de 1.600 mm en Arauca y 2.000 mm en Puerto Carreño, pero aumenta hacia la cordillera Oriental, rebasando los 2.500 mm/año en Yopal y Puerto López y alcanzando los 4.000 mm/año en Villavicencio; también se incrementa hacia las selvas del sur con valores de lluvia cercanos a 2.500 mm/año en San José de Guaviare y 2.800 mm/año en Puerto Inírida. Del lado venezolano se registran alrededor de 2.300 mm/año en Puerto Ayacucho y 3.000 mm/año en San Fernando de Atabapo.

Las partes más lluviosas de la cuenca sobrepasan los 4.000 mm al año debido a la elevada humedad atmosférica local y al efecto orográfico. Se localizan en franjas de vertientes o de piedemonte de la cordillera Oriental y de la cordillera de Mérida, y en algunas partes del alto Caroní y muy probablemente del alto Caura. La parte menos lluviosa de la cuenca es la zona semiárida de Barquisimeto, que promedia 500 mm/año.

En la ruta del Orinoco la zona más húmeda se encuentra en el alto Orinoco, aguas abajo de La Esmeralda, con precipitaciones medias comprendidas entre 3.000 y 3.500 mm/año; mientras la zona más seca está en las inmediaciones de Ciudad Bolívar con 1.000 mm/año.

Régimen de escorrentía

El Orinoco tiene un ritmo regular de ascenso y descenso de las aguas que ya era notado por Gumilla (1741). Este ritmo se corresponde con un régimen de escorrentía unimodal que por lo general

tiene un máximo en agosto y un mínimo en marzo. En Puerto Ayacucho, donde la superficie de la cuenca se acerca a los 350.000 Km², la escorrentía media de agosto es del orden de los 28.000 m³/s y la media de marzo es del orden de los 5.000 m³/s, mientras el caudal máximo absoluto supera los 40.000 m³/s y el mínimo absoluto baja de 2.000 m³/s. En Ciudad Bolívar, donde la cuenca sobrepasa los 800.000 Km², la altura mínima del nivel del agua promedia 2,6 msnm y ocurre alrededor del 23 de marzo, mientras la altura máxima promedia 16,2 msnm y se presenta cerca del 27 de agosto, alturas que suelen mantenerse de uno a tres días. En consecuencia, el ascenso de las aguas dura cinco meses a una tasa media de 8,6 cm/día y el descenso siete meses a una media de 6,5 cm/día.

Tributarios especiales

Son seis los afluentes más importantes del río Orinoco: los guyaneses Ventuari, Caura y Caroní; los llaneros Apure y Meta y el selvático Guaviare, cuatro ríos venezolanos y dos colombianos, respectivamente, que se describen a continuación dejando para más adelante las cifras relativas a la escorrentía y al balance hídrico.

Ventuari. Es el principal tributario en el alto Orinoco. El Ventuari y el Casiquiare son los mayores ríos del estado Amazonas, después del Orinoco y el Negro. Nace en la serranía de Uasadi con fuentes muy cercanas al estado Bolívar y Brasil. Tiene 510 Km de longitud, 120 Km menos que

el Orinoco en el sitio de la confluencia. Su cuenca hidrográfica abarca 41.000 Km² y su máxima elevación es el cerro Yaví con 2.440 m. Entre sus afluentes están el Asita, el Parucito–Manapiare, que tiene el salto Yutajé con 715 m de altura; el Marieta y el Parú. Es un río amplio y navegable por 200 Km y las embarcaciones de menor calado lo remontan hasta San Juan de Manapiare.

Guaviare. Es el afluente más caudaloso del Orinoco y uno de los ríos más caudalosos de Colombia. Nace entre los cerros de Los Picachos y el páramo de Sumapaz en la cordillera Oriental de Colombia. Toma su nombre desde la unión de los ríos Guayabero y Ariari, entre los cuales irrumpe la serranía de La Macarena que, geológicamente, pertenece al escudo guayanés. Su principal afluente es el río Inírida. El Guaviare sirve de límite entre los departamentos del Meta y Vichada, por la margen izquierda, y del Guaviare y Guainía, por la otra. Su cauce es muy sinuoso y alcanza una longitud total de 1.450 Km, siendo más largo y caudaloso que el Orinoco en el sitio de encuentro. El río es largamente navegable hasta San José. Su cuenca tiene 140.000 Km² y su máxima elevación es el cerro El Nevado, en el páramo de Sumapaz, con 4.560 m. Los ríos Guaviare y Atabapo confluyen llegando al Orinoco y al corto trecho que sigue hasta el último se le llama Atabapo.

Meta. Se origina de la unión de varios ríos que nacen entre los páramos de Sumapaz y Chingaza en la cordillera Oriental. Toma su nombre luego de la confluencia

de los ríos Metica y Negro. Tiene 980 Km de largo y los últimos 245 hacen frontera con Venezuela. Además hace de límite entre los departamentos de Meta y Vichada, por la margen derecha, y Casanare y Arauca, por la otra. Desemboca a 995 Km de la fuente del Orinoco, de manera que éste es apenas más largo que el Meta. Su cuenca tiene 111.000 Km², de ellos 3.000 pertenecen a Venezuela. Su máxima elevación es el Ritacuba Blanco o Alto de Ritacuba con 5.380 m en la sierra nevada del Cocuy, cumbre máxima de la cuenca orinoquense. Todos los afluentes importantes provienen de la cordillera Oriental y entre ellos están el Upía, que brota de la laguna de Tota, situada a 3.100 msnm y mide 11 Km de largo por 5 de ancho; siguen los ríos Cusiana, Cravo Sur, Pauto y el gran Casanare, que nace al sur de la sierra del Cocuy. El Meta en Colombia equivale al Apure venezolano.

Apure. Nace en el páramo El Molino de la cordillera de Mérida como río Uribante y toma su nombre al cabo de 260 Km de recorrido, luego de la confluencia del Sarare, cerca de Guasualito. Su longitud es de 900 Km y separa al estado Apure de los estados Barinas y Guárico. La cuenca tiene 113.000 Km² hasta San Fernando y se extiende además por los estados Mérida, Táchira, Trujillo, Lara, Portuguesa, Yaracuy, Cojedes y Carabobo, más el departamento Norte de Santander. Sus picos más altos son el Humboldt con 4.940 m, en la sierra nevada de Mérida y el Mucuñuque, en la sierra de Santo Domingo, con 4.670 m. Ambos constituían las Nieves de Apure

del siglo XIX. La red hidrográfica de la vasta región llanera de la hoya apureña resulta complicada por las bifurcaciones que presenta y por la inestabilidad de los lechos fluviales. Las inundaciones por las crecientes del río y sus afluentes llegan a ser severas, como lo fue la de Guas dualito en julio de 2002. Los afluentes principales desde aguas arriba son los ríos Caparo, Canaguá, Santo Domingo, Masparro y el gran Portuguesa. El Apure es navegable hasta Guas dualito y el Portuguesa hasta El Baúl.

Caura. Caudaloso río guayanés y del estado Bolívar que nace al sur de la meseta del Jaua Jidi con el nombre de río Merevari, el cual pudiera ser una captura fluvial del río Caura en una zona en que la fronteriza sierra de Aribana se hace difusa. Es un río de aguas negras que toma su nombre desde la unión de los ríos Merevari y Canaracuni. Éste último nace en la meseta del Sarisariñama Jidi, que es la que tiene el salto Mereveni con 740 m de caída libre. El principal afluente es el Erebató y entre otros están el Mato y el Nichare. El Caura alcanza 700 Km de longitud. Su cuenca tiene 47.000 Km² y en su parte alta hace divisoria común con las cuencas del Ventuari y del Caroní. La máxima altitud es el cerro Uquía con 2.500 m, situado al sur de la meseta de Guanacoco. Los saltos y raudales como el de Pará, le confieren un gran potencial eléctrico, aún no aprovechado.

Caroní. Es el principal río guayanés y del estado Bolívar y además es el afluente más caudaloso de la Orinoquia vene-

zolana. Se caracteriza por sus aguas oscuras aunque algunos afluentes son de aguas amarillentas. Por su longitud y coloración se puede considerar al río Aponwao como su nacimiento principal. Con éste se obtiene una longitud total de 830 Km. No obstante, el Caroní toma su nombre aguas arriba, luego de la unión del río Yuruaní con el Kukenán. La cuenca abarca 94.000 Km² de superficie y su mayor elevación es el cerro Roraima con 2.810 m. En la parte alta se halla la espectacular Gran Sabana con sus tepuyes, selvas, sabanas, aldeas indígenas y cataratas. Entre éstas destacan el salto Ángel o Churún Merú en el Auyan Tepui, cuyos 979 m de caída libre lo hacen el más alto del mundo, y el Kukenán Merú con 610 m, en el tepui homónimo. El principal afluente es el Paragua que tiene 580 Km de longitud y 33.000 Km² de cuenca; otros más son el Caruay, el Icabarú y el Carrao. Los desniveles en el bajo del Caroní se utilizan para generar energía hidroeléctrica, particularmente en el cañón de Necuima donde se construyó la represa de Guri, referencia mundial, cuyo embalse de 4.000 Km² alcanza a cubrir la confluencia Caroní-Paragua.

Parte II: Balance y rendimiento hídrico de la cuenca

Las cuencas hidrográficas son sistemas hidrológicos que reciben y procesan entradas de agua y producen salidas de ella. Por tanto, las cuencas son susceptibles a ser sometidas a un análisis de balance hídrico cuando se cuenta con información

suficiente y buena para ello, lo que no es precisamente el caso de la gran cuenca del río Orinoco y de allí el carácter preliminar del balance hídrico que se practica.

Ecuación de balance hídrico

La expresión general de esta ecuación es:

$$\sum \text{entradas (input)} - \sum \text{salidas (output)} = \Delta \text{ almacenamiento (storage),}$$

que aplicando los símbolos correspondientes queda como:

$$\sum I_i - \sum O_j = \Delta S = S_f - S_o$$

Esta ecuación, válida para cualquier sistema hidrológico, está referida al cómputo de entradas y salidas de agua durante un período de tiempo, así como de los almacenamientos al principio y al final de ese período. Las unidades en que se expresa el balance hídrico son de volumen de agua o de lámina de agua equivalente, ambas por una unidad de tiempo que podría ser un día, una semana o un mes. Para el sistema hidrológico cuenca, la ecuación general de balance se puede expresar como:

$$(P + C) - (Q + Et) \pm M = \Delta Ss + \Delta H + \Delta G,$$

donde P es la precipitación, C es el agua atmosférica condensada que es interceptada por la vegetación, llamada también precipitación horizontal u oculta; Q es la escorrentía generada por la cuenca, Et es la evapotranspiración, M es la influencia

de los aprovechamientos hidráulicos con trasvase de agua, siendo positiva cuando la cuenca importa agua y negativa cuando la exporta; Ss es el almacenamiento superficial, H es la humedad del suelo y G es el almacenamiento subterráneo de los acuíferos.

Cuando el intervalo de tiempo para el que se aplica el balance de una cuenca es un año hidrológico, los cambios de almacenamiento se reducen sustancialmente. En Venezuela, estos años se inician cada uno de abril y culminan el 31 de marzo del año siguiente, de manera que al principio y al final de un año hidrológico los almacenamientos de agua se aproximan al mínimo anual y su diferencia es pequeña. Pero cuando el balance hídrico es el promedio para un número suficiente de años, entonces los cambios de almacenamiento se hacen cero y la ecuación de balance para una cuenca hidrográfica se simplifica a:

$$P + C + M = Q + Et,$$

o comúnmente a:

$$P = Q + Et,$$

Si se tienen suficientes datos de precipitación y de caudales para una cuenca, la incógnita en la ecuación anterior es la evapotranspiración. Cuando sólo se conoce la precipitación, se requiere estimar la evapotranspiración y luego la escorrentía. La teoría evapotranspiratoria y sus procedimientos de cálculo están mejor desarrollados para cultivos agrícolas que para áreas forestales y de

sabana. En el *Inventario nacional de aguas superficiales de Venezuela*, hecho por la Comisión Nacional para la Planificación y Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH, 1969), se aplica primero la fórmula de Turc para obtener la evapotranspiración anual, en función de la precipitación anual y de un factor heliotérmico, para después hallar la escorrentía. Igual procedimiento utiliza el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales para determinar la escorrentía en cuencas sin datos (MARNR, 1979). La evapotranspiración también se ha estimado como una fracción de la evaporación de tina, en un estudio que regionaliza caudales al sur del Orinoco (HIDROMET, 1981).

Rendimiento hídrico

El rendimiento hídrico de una cuenca se puede evaluar en términos de su productividad de agua y de su eficiencia para producirla. La primera se expresa como caudal medio anual por unidad de área y la segunda está dada por el coeficiente de escorrentía medio anual:

$$Pd \text{ (l/s/Km}^2\text{)} = Q / A, \text{ y}$$

$$Ef = Ce \text{ (\%)} = (Q_L / P) * 100,$$

siendo Q_L la lámina escurrida anual. Cuanto mayor sean la precipitación y el escurrimiento en una cuenca y menor sea su evapotranspiración, mayor será su eficiencia hídrica; y cuanto mayor sean la precipitación y la eficiencia hídrica de una cuenca, mayor será su producción de agua. Las alteraciones del ciclo

hidrológico producidas por la afectación de una cuenca, reduciendo con ello su escorrentía, o por cambios climáticos que disminuyen su precipitación, desmejoran el rendimiento hídrico de la misma.

Aplicación de la ecuación de balance hídrico

En este estudio preliminar se usa la ecuación de balance promedio con valores referenciales de escorrentía y precipitación para la cuenca del Orinoco y partes de ella, obteniendo la evapotranspiración media anual como:

$$Et \text{ (cm)} = P \text{ (cm)} - Q_L \text{ (cm)}$$

Si el volumen escurrido anual es:

$$VE \text{ (m}^3\text{/año)} = (Q \text{ (m}^3\text{/s)} * 31.536.000 \text{ (s/año)}),$$

entonces:

$$Q_L \text{ (cm/año)} = [VE \text{ (m}^3\text{/año)} / (A \text{ (Km}^2\text{)} * 10^6 \text{ (m}^2\text{/Km}^2\text{)})] * 10^2 \text{ cm/m} = (Q \text{ (m}^3\text{/s)} / A \text{ (Km}^2\text{)}) * 3.153,6$$

Para una cuenca grande como la del Orinoco, que se puede subdividir en n subcuencas y áreas de drenaje complementarias, es necesario verificar el cumplimiento obligatorio de las ecuaciones siguientes:

$$(\sum Qi) - Qe = Qt, \sum Ai = At,$$

$$\sum (Ai * Pi) = At * Pt$$

donde Qt es el caudal medio del Orinoco en una estación hidrométrica u otro punto de interés de su cauce, los Qi son

los caudales medios aportados al río Orinoco hasta el punto de interés, Qe es el caudal medio que se lleva el Casiquiare, At es el área de cuenca hasta el punto en cuestión del Orinoco, las Ai son las superficies de las cuencas de cada tributario y de las áreas complementarias, Pt es la precipitación media en el área At y las Pi son las precipitaciones medias en cada área Ai.

Cuando Qt es producto de mediciones hidrométricas, hay que afinar valores de Qi, Pi y Pt. Los Qi deben ser iguales o similares a los obtenidos mediante estaciones hidrométricas, si es el caso, mientras que las Pi deben adecuarse a las mediciones en lo posible. En el primer tanteo se pueden adoptar valores de Qi y prefijar Pt y todas las Pi menos una, que se calcula por despeje. Luego se hallan el volumen escurrido, la lámina escurrida, los indicadores de rendimiento hídrico y la lámina evapotranspirada. Luego, en iteraciones sucesivas, se van modificando los Qi, Pt y Pi hasta encontrar resultados que se consideren aceptables. Al final se obtiene un balance ajustado a Qt y a las cifras de Pi.

Cuando no existe un registro de caudales a la salida de la cuenca sujeta a balance hídrico, entonces hay que prefijar también a Qt, siempre y cuando se tengan a mano otros balances de referencia y se aplica el mismo proceso iterativo. En este caso se obtiene un balance hídrico preliminar no ajustado o calibrado con mediciones de caudal. Para realizar ambos tipos de balance se ha utilizado en este trabajo la hoja de cálculo Excel de Microsoft.

Las áreas Ai y At se obtienen de mapas disponibles, entre ellos el mapa de la cuenca del Orinoco a escala aproximada 1:3.000.000 elaborado por el Ministerio del Ambiente en 1982. Para ello se emplean mallas de puntos de medio grado o cuarto de grado de coordenadas geográficas, con una densidad de 3.086 Km² o de 776 Km² por punto, respectivamente, redondeando las Ai al millar de Km².

Para prefijar las precipitaciones Pi se utilizan diferentes mapas isoyéticos y promedios pluviométricos, más el criterio del autor. También se considera el mapa de zonas de vida de Holdridge (Ewel *et al.*, 1976), que además de usar la información climatológica, presenta una vegetación expresada como zona de vida que sirve como indicadora de la precipitación. También hay mapas pluviométricos para Colombia y el norte de Sudamérica. Luego se redondean las precipitaciones medias de cuencas al ciento de mm por ser aproximadas.

Resultados de los balances

Para este estudio se ha escogido como punto de partida la estación hidrométrica río Orinoco en Puerto Ayacucho, que para el período 1964-92 tiene un caudal medio anual de 14.834 m³/s. En esta estación el Orinoco ya tiene un gasto medio superior al del río San Lorenzo en su desembocadura, que por su escorrentía es el doceavo río del mundo y el segundo de Norteamérica (UNESCO, 1979). En cuanto el balance hídrico en Puerto Ayacucho, las ecuaciones particulares son las siguientes:

$$\begin{aligned} \sum Q_i - Q_e &= 14.850 \text{ m}^3/\text{s}, \\ \sum A_i &= 342.000 \text{ Km}^2, \\ \sum (A_i * P_i) &= 342.000 * P_t, \end{aligned}$$

La superficie de cuenca reportada por MOP (1972) es de 343.500 Km². El resultado del balance se muestra en el cuadro 1. Si para la bifurcación o difluencia del Casiquiare se toma la fuga o caudal effluente promedio del período 1969-76, que es de 350 m³/s (Pérez y López, 1998), entonces la escorrentía media generada hasta Puerto Ayacucho es realmente de 15.200 m³/s, resultando una muy alta productividad de 44 l/s/Km². Ese caudal bruto se descompone en 9.000 m³/s generados en Colombia y 6.200 m³/s en Venezuela, 59 y 41 %, respectivamente, suponiendo que la escorrentía colombiana del Atabapo es de 200 m³/s. Por otra parte, con una abundante precipitación media de 2.660 mm se obtiene una elevada lámina de escurrimiento de 1.400 mm y una considerable evapotranspiración de 1.260 mm.

En este balance el río Guaviare queda con 6.700 m³/s, equivalente al 44 % de la escorrentía generada hasta Puerto Ayacucho. Según UNESCO (1979), este caudal sobrepasaría al de los ríos Yukon, quinto de Norteamérica, y Danubio, segundo de Europa, y se equiparía con el del río Saluén, tercero del sudeste asiático. No obstante, tal caudal sería superado en Colombia por el de los ríos Magdalena y Caquetá. Según COPLANARH (1969) y CAF (1998), el Guaviare tiene un sobreestimado promedio de 8.200 m³/s; mientras que Pérez y López (1998) le reportan 6.900 m³/s de media para el

período 1987-93, señalando un régimen de poca variación de los caudales mensuales de un año a otro.

La productividad y la eficiencia hídricas de las cuencas de los ríos Cunucunuma, Ventuari, Sipapo, Atabapo y Guaviare son las mejores en esta parte de la cuenca orinoquense, debido principalmente a la alta precipitación y a cierta economía hídrica del bosque siempre verde dominante que, a pesar de su gran biomasa, tiene una tasa evapotranspiratoria menor que la que demandan cultivos agrícolas de ciclo corto. La mayor lámina evapotranspirada la tiene la cuenca boscosa, perhúmeda, cálida y aplanada del río Atabapo con 1.500 mm/año; le sigue la cuenca del Guaviare, un poco menos lluviosa y boscosa, con nacientes montañosas, cuya lámina se aproxima a 1.300 mm/año. Ambas cifras son compatibles con los valores reportados por Cavalier y Vargas (2002) para bosques lluviosos tropicales, en particular del neotrópico húmedo del Brasil, Colombia, Venezuela y otros países americanos.

Un balance para el río Orinoco en Tamatama se detalla en el cuadro 2, donde se aprecia que los ríos Padamo y Ocamo aportan poco más de la mitad de la escorrentía. Según los registros del MARN, el caudal promedio en Tamatama es de 1.274 m³/s para el período 1970-1992. En ese punto, el área de cuenca reportada por HIDROMET (1981) es de 41.179 Km², mientras que MOP (1972) le atribuye 37.870 Km². Luego de la bifurcación del Casiquiare, el Orinoco quedaría con una media de 1.050 m³/s, no obstante, poco trecho aguas abajo, el río Cunucunuma

repone lo trasvasado naturalmente a la cuenca amazónica.

Los 350 m³/s al inicio del Casiquiare representan un 25 % del caudal del Orinoco estimado antes de la bifurcación. El Cuerpo de Ingenieros de la Armada estadounidense, US Corps of Engineers (1943), citado por Ron *et al.* (1982), refiere en la entrada del Casiquiare un caudal entre 127 y 680 m³/s, que corresponderían al 21,9 y 24,5 % del gasto mínimo y máximo del río Orinoco en Tamatama, respectivamente. Vareschi (1963 y 1983) presenta mediciones con las que concluye un porcentaje de derivación de 25,5 % con un margen de error de 2,5 %, mientras MOP (1972) considera un 27 % de caudal derivado. López y Pérez (1998) sugieren un porcentaje entre 25 y 30 % en base a mediciones del MOP y el MARN.

El balance hídrico en Puerto Ayacucho sirve de base para obtener balances preliminares en otros sitios de interés ubicados Orinoco arriba. Uno es la afluencia conjunta de los ríos Orinoco, Atabapo y Guaviare, cuyo balance se muestra en el cuadro 3. En el sitio de trifluencia se estima un caudal medio de 11.800 m³/s, de los cuales 57 % corresponden al Guaviare, 37 % al Orinoco y 6 % al Atabapo, proporciones que son compatibles con los resultados de las campañas hidrológicas colombo venezolanas hechas en 1991, 1992 y 1993, presentados por Pérez y López (1998). Por tanto, no es válida la afirmación de Rodríguez y Escamilla (1998) de que el Guaviare es menos caudaloso que el Orinoco, salvo contadas ocasiones, sino lo contrario. Pasando la trifluencia, el área de la cuenca del río

Orinoco en Guayaguayare reportada por MOP (1972) es de 258.000 Km².

Otro sitio es la confluencia Orinoco-Ventuari, cuyo balance se observa en el cuadro 4. Allí el caudal medio conjunto es del orden de 4.250 m³/s, siendo el caso de que el Ventuari presenta un caudal 7 % superior al del río Orinoco debido al agua que éste entrega al Casiquiare. Al Ventuari se le ha estimado aquí un promedio de 2.200 m³/s, mientras CAF (1998) le reporta 2.500 m³/s y COPLANARH (1969) le refiere 2.000 m³/s. Las mediciones del río Ventuari en Kanaripó durante seis años completos del período 1972-82, dan una media en el orden de 2.300 m³/s. Esta cuenca tiene 42.200 Km² según MOP (1972) y 39.575 Km² según HIDROMET (1981). Aguas arriba de la confluencia se ubica la estación río Orinoco en Guachapana, donde HIDROMET (1981) reseña una media de 1.950 m³/s para una cuenca de 57.685 Km², a la cual MOP (1972) le atribuye 54.450 Km². Luego de dicha confluencia, MOP (1972) da 97.000 Km² para la cuenca del Orinoco en Trapichote.

Con el balance ajustado en Puerto Ayacucho también se proyectan balances hídricos hacia aguas abajo, empezando por la afluencia del río Meta. El balance preliminar para la cuenca correspondiente se aprecia en el cuadro 5. A esta altura del Orinoco, en Puerto Páez, cuando le restan 1.015 Km de recorrido hasta el Atlántico, su caudal medio es semejante al del Yenisei, el mayor río ruso, y al del Mississipi, el mayor de Norteamérica; además excede el caudal del Paraná antes de la afluencia del Uruguay.

Cuadro 2. Balance hídrico preliminar de la cuenca del río Orinoco hasta Tamatama

N°	El río y sus afluentes (en orden de aparición)	Cuenca		Precip. (mm)	Caudal (m ³ /s)	Productiv. (l/s/Km ²)	Volumen escurrido		Escorrentía (cm/año)	C. de esc. (%)	Evapotranspiración	
		(Km ²)	(%)				(Km ³ /año)	(%)			(cm/año)	(mm/día)
1	Malaca	5.000	12,8	2.500	200	40	6,3	14,3	126	50	124	3,4
2	Ocamo	9.000	23,1	2.100	300	33	9,5	21,4	105	50	105	2,9
3	Padamo	12.000	30,8	2.300	450	38	14,2	32,1	118	51	112	3,1
	Subtotal 1	26.000	66,7	2.269	950	37	30,0	67,9	115	51	112	3,1
	Otras áreas:											
	Aguas abajo del Padamo	2.000	5,1	3.000	100	50	3,2	7,1	158	53	142	3,9
	Resto de la cuenca	11.000	28,2	2.245	350	32	11,0	25,0	100	45	124	3,4
	Subtotal 2	13.000	33,3	2.362	450	35	14,2	32,1	109	46	127	3,5
	Total cuenca	39.000	100,0	2.300	1.400	36	44,2	100,0	113	49	117	3,2

Cuadro 3. Balance hídrico preliminar para la trifluencia Orinoco-Atabapo-Guaviare

N°	El río y sus afluentes (en orden de aparición)	País	Cuenca		Precip. (mm)	Caudal (m³/s)	Productiv. (l/s/km²)	Volumen escurrido		Escorrentía (cm/año)	C. de esc. (%)	Evapotranspiración	
			(Km²)	(%)				(Km³/ año)	(%)			(cm/ año)	(mm/ día)
1	Orinoco (sin interconexión)	Venezuela	101.000	39,8	2.725	4.750	47	149,8	39,1	148	54	124	3,4
2	Atabapo	Venezuela	13.000	5,1	3.200	700	54	22,1	5,8	170	53	150	4,1
3	Guaviare	Colombia	140.000	55,1	2.800	6.700	48	211,3	55,1	151	54	129	3,5
	Total (sin interconexión)		254.000	100,0	2.791	12.150	48	383,2	100,0	151	54	128	3,5
	Fuga al Casiquiare					-350		-11,0	-2,9				
	Total trifluencia (1)		254.000	100,0	2.791	11.800	46	372,1	97,1	147	53	133	3,6

(1) Caudales medios resultantes: Guaviare, 6.700 m³/s (57 %); Orinoco, 4.400 m³/s (37 %); y Atabapo, 700 m³/s (6 %)

Cuadro 4. Balance hídrico preliminar para la confluencia Orinoco-Ventuari

Nº	El río y sus afluentes (en orden de aparición)	País	Cuenca		Precip. (mm)	Caudal (m³/s)	Productiv. (l/s/ Km²)	Volumen escurrido		Escorrentía (cm/ año)	C. de esc. (%)	Evapotranspiración	
			(Km²)	(%)				(Km³/ año)	(%)			(cm/ año)	(mm/ día)
1	Orinoco (sin interconexión)	Vezla.	57.000	58,2	2.574	2.400	42	75,7	52,2	133	52	125	3,4
2	Ventuari	Vezla.	41.000	41,8	2.900	2.200	54	69,4	47,8	169	58	121	3,3
Total (sin interconexión)			98.000	100,0	2.710	4.600	47	145,1	100,0	148	55	123	3,4
Fuga al Casiquiare						-350		-11,0	-7,6				
Total confluencia (1)			98.000	100,0	2.710	4.250	43	134,0	92,4	137	50	134	3,7

(1) Caudales medios resultantes: Ventuari, 2.200 m³/s (52 %); y Orinoco, 2.050 m³/s (48 %)

El río Meta tiene dos estaciones hidrométricas en su tramo fronterizo, Cararabo hacia aguas arriba y Caracas hacia la desembocadura. Pérez y López (1998) señalan una media de 4.200 m³/s en Cararabo para el período 1968-92. COPLANARH (1969) reporta al Meta un gasto medio de 4.500 m³/s y CAF (1998) un exagerado 6.500 m³/s. Con este río se maximiza la proporción de aguas del Orinoco procedentes de Colombia, pues el aporte del vecino país hasta Puerto Carreño alcanzaría 13.375 m³/s, o sea, 68,8 % del caudal neto estimado allí, descontando 100 m³/s del río Meta que se generarían en Venezuela.

Al término del Orinoco medio aparecen las ciudades de Cabruta y Caicara del Orinoco, ubicadas en los estados Guárico y Bolívar, respectivamente, que son cercanas al centro geográfico de Venezue-

la. Entre ellas se contempla el tercer puente sobre el río Orinoco. En Caicara sólo existen registros de niveles de agua. Ampliando el balance hídrico hasta allí se obtienen los resultados del cuadro 6. El caudal medio estimado de 24.150 m³/s sólo es superado en América, además del Amazonas, por dos afluentes de éste: Negro y Madeira.

MOP (1972) reporta una superficie de 695.000 Km² para la cuenca hasta Caicara. En ella destacan los tributarios de la margen izquierda, sumándose ahora los ríos Cinaruco, Capanaparo, Arauca, Apure y Guárico. Para la estimación de caudales de los ríos Apure y Arauca no se toman en cuenta sus difluencias. Del río Apure en San Fernando se conoce una media de 2.325 m³/s para el período 1968-70 (MOP, 1972) y de 2.300 m³/s para el período 1963-93 (Pérez y López,

1998), a cuya cuenca también se le determina 119.500 Km² (MOP, 1972); mientras el río Arauca en Elorza promedia 485 m³/s para el período 1970-92 (Pérez y López, 1998).

El río Guárico ha resultado con la peor productividad y eficiencia, porque su agua está muy comprometida para riego local y consumo caraqueño mediante embalses. Hacia aguas abajo se incrementa la escorrentía con los aportes de los ríos Orituco y Guariquito. Para efectos prácticos se ha separado la cuenca guariqueña de la apureña, pero ambas se interconectan por caños después de San Fernando.

Avanzado el bajo Orinoco y antes del delta, han desembocado en el gran río cuatro ríos guyaneses importantes: Cuchivero, Caura, Aro y Caroní, sucesivamente, que contribuyen con 8.800 m³/s, según el balance que se presenta en el cuadro 7. El caudal del Orinoco ya lo ubica como el segundo de América y lo equipara al del Yangtze-Kiang, el cuarto del mundo, sin adicionar aún la escorrentía generada por el delta y su cuenca colectora. La productividad de agua de 37 l/s/Km² y el coeficiente de escorrentía de 50 % que tiene el Orinoco antes del delta, superan los valores correspondientes al Amazonas y a los de casi todos los grandes ríos del mundo.

Para el río Cuchivero en La Vitretera MOP (1972) determina una superficie de 14.000 Km² y un gasto medio de 685 m³/s durante el bienio 1969-70. En tanto, HIDROMET (1981) refiere una cuenca de 16.968 Km² y un caudal medio de 504 m³/s para el río Cuchivero

en El Tamarindo. Para el río Caura en San Luis, HIDROMET (1981) indica una cuenca de 39.719 Km² y un gasto medio de 3.143 m³/s, mientras Pérez y López (1998) señalan 42.000 Km² de cuenca y un caudal medio de 3.100 m³/s para el período 1969-93, que se traducen en una altísima productividad de 79 y 74 l/s/Km², respectivamente. Para el río Aro en la Hornalita, el promedio histórico correspondiente al período 1969-93 es de apenas 247 m³/s, mientras HIDROMET (1981) calcula para el mismo río un gasto medio de 404 m³/s con una precipitación media de 1.774 mm sobre una superficie de 13.957 Km².

El río Carona, luego de la confluencia del río Paragua, en el ya inundado San Pedro de Las Bocas, tiene una cuenca de 81.615 Km² (HIDROMET, 1981). En el período 1950-82 tuvo allí un caudal medio anual de 4.604 m³/s, con caudales medios mensuales que iban desde 1.426 m³/s en marzo hasta 8.621 m³/s en julio (Seoane *et al.*, 1984). MARNR (1996) indica un promedio de 5.081 m³/s del río Caroní en Caruachi, aguas abajo de Guri, para el período 1970-93. CAF (1998) da al Caroní un promedio de 4.900 m³/s, mientras CVG EDELCA (2003) estima una media de 4.855 m³/s en Guri para el período 1950-2003 e indica una cuenca de 92.170 Km² con una precipitación de 2.900 mm/año.

Como indica el cuadro 7, el mejor rendimiento hídrico en toda la cuenca orinoquense lo tienen los ríos Caura y Caroní, que son los afluentes con mayor potencial hidroeléctrico. Sus cuencas suman una extensión semejante a la del

Cuadro 5. Balance hídrico preliminar de la cuenca del río Orinoco hasta Puerto Páez

N°	El río y sus afluentes (en orden de aparición)	País	Cuenca (km ²)	Precip. (mm)	Caudal (m ³ /s)	Productiv. (l/s/Km ²)	Volumen escurrido		Escorrentía (cm/año)	C. de esc. (%)	Evapotranspiración	
							(%)	(km ³ /año)			(cm/año)	(mm/día)
1	Orinoco (hasta Tamatama)	Venezuela	39.000	2.300	1.400	36	44,2	7,1	113	49	117	3,2
2	Cunucunuma	Venezuela	6.000	3.100	350	58	11,0	1,8	184	59	126	3,5
3	Ventuari	Venezuela	41.000	2.900	2.200	54	69,4	11,1	169	58	121	3,3
4	Atabapo	Venezuela	13.000	3.200	700	54	22,1	3,5	170	53	150	4,1
5	Guaviare	Colombia	140.000	2.800	6.700	48	211,3	33,8	151	54	129	3,5
6	Vichada	Colombia	32.000	2.200	1.000	31	31,5	5,1	99	45	121	3,3
7	Sipapo	Venezuela	14.000	2.900	750	54	23,7	3,8	169	58	121	3,3
8	Tomo	Colombia	26.000	2.000	750	29	23,7	3,8	91	45	109	3,0
9	Meta	Colombia	111.000	2.400	4.300	39	135,6	21,7	122	51	118	3,2
		Subtotal 1	422.000	2.583	18.150	43	572,4	91,7	136	53	123	3,4
Otras áreas:												
		Resto del alto Orinoco (Ven)	15.000	3.200	800	53	25,2	4,0	168	53	152	4,2
		Del Orinoco medio guayanés (Ven)	8.000	2.500	325	41	10,2	1,6	128	51	122	3,3
		De la Orinoquia colombiana	17.000	2.258	525	31	16,6	2,7	97	43	128	3,5
		Subtotal 2	40.000	2.660	1.650	41	52,0	8,3	130	49	136	3,7
		Total cuenca sin interconexión	462.000	2.590	19.800	43	624,4	100,0	135	52	124	3,4
		Fuga al Casiquiare			-350		-11,0	-1,8				
		Total cuenca con interconexión	462.000	2.590	19.450	42	613,4	98,2	133	51	126	3,5

Cuadro 6. Balance hídrico preliminar de la cuenca del río Orinoco hasta Cabruta y Caicara

N°	El río y sus afluentes (en orden de aparición)	País	Cuenca		Precip. (mm)	Caudal (m³/s)	Productiv. (l/s/Km²)	Volumen escurrido		Escorrentía (cm/año)	C. de esc. (%)	Evapotranspiración	
			(Km²)	(%)				(Km³/año)	(%)			(cm/año)	(mm/día)
1	Orinoco (hasta Tamatama)	Venezuela	39.000	5,6	2.300	1.400	36	44,2	5,7	113	49	117	3,2
2	Cunucunuma	Venezuela	6.000	0,9	3.100	350	58	11,0	1,4	184	59	126	3,5
3	Ventuari	Venezuela	41.000	5,9	2.900	2.200	54	69,4	8,9	169	58	121	3,3
4	Atabapo	Venezuela	13.000	1,9	3.200	700	54	22,1	2,8	170	53	150	4,1
5	Guaviare	Colombia	140.000	20,0	2.800	6.700	48	211,3	27,2	151	54	129	3,5
6	Vichada	Colombia	32.000	4,6	2.200	1.000	31	31,5	4,1	99	45	121	3,3
7	Sipapo	Venezuela	14.000	2,0	2.900	750	54	23,7	3,1	169	58	121	3,3
8	Tomo	Colombia	26.000	3,7	2.000	750	29	23,7	3,1	91	45	109	3,0
9	Meta	Colombia	111.000	15,9	2.400	4.300	39	135,6	17,4	122	51	118	3,2
10	Cinaruco	Venezuela	13.000	1,9	1.800	250	19	7,9	1,0	61	34	119	3,3
11	Capanaparo	Venezuela	19.000	2,7	1.700	350	18	11,0	1,4	58	34	112	3,1
12	Arauca	Col – Ven	34.000	4,9	1.900	800	24	25,2	3,2	74	39	116	3,2
13	Apure (hasta S. Fernando)	Venezuela	113.000	16,2	1.800	2.400	21	75,7	9,7	67	37	113	3,1
14	Guátrico	Venezuela	34.000	4,9	1.400	300	9	9,5	1,2	28	20	112	3,1
	Otras áreas:	Subtotal 1	635.000	90,8	2.302	22.250	35	701,7	90,8	111	48	120	3,3
		Resto del alto Orinoco (Ven)	15.000	2,1	3.200	800	53	25,2	3,3	168	53	152	4,2
		Resto de la Orinoquia colombiana	17.000	2,4	2.258	525	31	16,6	2,1	97	43	128	3,5
		Resto del estado Apure (Ven)	8.000	1,1	1.700	125	16	3,9	0,5	49	29	121	3,3
		Resto del Orinoco medio guayanés	24.000	3,4	2.217	800	33	25,2	3,3	105	47	117	3,2
		Subtotal 2	64.000	9,2	2.394	2.250	35	71,0	9,2	111	46	128	3,5
		Total cuenca sin interconexión	699.000	100,0	2.310	24.500	35	772,6	100,0	111	48	120	3,3
		Fuga al Casiquiare				- 350		- 11,0	- 1,4				
		Total cuenca con interconexión	699.000	100,0	2.310	24.150	35	761,6	98,6	109	47	122	3,3

Cuadro 7. Balance hídrico preliminar de la cuenca del río Orinoco hasta el ápice del Delta

N°	El río y sus afluentes (en orden de aparición)	País	Cuenca		Precip. (mm)	Caudal (m³/s)	Productiv. (l/s/Km²)	Volumen escurrido		Escorrentía (cm/año)	C. de esc. (%)	Evapotranspiración (mm/día)
			(Km²)	(%)				(Km³/año)	(%)			
1	Orinoco (hasta Iamatama)	Venezuela	39.000	4,2	2.300	1.400	36	44,2	4,1	113	49	117
2	Cunucunuma	Venezuela	6.000	0,6	3.100	350	58	11,0	1,0	184	59	126
3	Ventuari	Venezuela	41.000	4,4	2.900	2.200	54	69,4	6,4	169	58	121
4	Atabapo	Venezuela	13.000	1,4	3.200	700	54	22,1	2,0	170	53	150
5	Guaviare	Colombia	140.000	15,1	2.800	6.700	48	211,3	19,6	151	54	129
6	Vichada	Colombia	32.000	3,5	2.200	1.000	31	31,5	2,9	99	45	121
7	Sipapo	Venezuela	14.000	1,5	2.900	750	54	23,7	2,2	169	58	121
8	Tomo	Colombia	26.000	2,8	2.000	750	29	23,7	2,2	91	45	109
9	Meta	Colombia	111.000	12,0	2.400	4.300	39	135,6	12,6	122	51	118
10	Cinaruco	Venezuela	13.000	1,4	1.800	250	19	7,9	0,7	61	34	119
11	Capanaaparo	Venezuela	19.000	2,1	1.700	350	18	11,0	1,0	58	34	112
12	Arauca	Col - Ven	34.000	3,7	1.900	800	24	25,2	2,3	74	39	116
13	Apure (hasta S. Fernando)	Venezuela	113.000	12,2	1.800	2.400	21	75,7	7,0	67	37	113
14	Guárico	Venezuela	34.000	3,7	1.400	300	9	9,5	0,9	28	20	112
15	Cuchivero	Venezuela	16.000	1,7	2.500	700	44	22,1	2,0	138	55	112
16	Caura	Venezuela	47.000	5,1	3.200	2.900	62	91,5	8,5	195	61	125
17	Aro	Venezuela	15.000	1,6	1.900	400	27	12,6	1,2	84	44	106
18	Carona	Venezuela	94.000	10,2	2.800	4.800	51	151,4	14,1	161	58	119
	Otras áreas:	Subtotal 1	807.000	87,1	2.408	31.050	38	979,2	91,5	121	50	120
		Resto del alto Orinoco (Ven)	15.000	1,6	3.200	800	53	25,2	2,4	168	53	152
		Resto de la Orinoquia colombiana	17.000	1,8	2.258	525	31	16,6	1,5	97	43	128
		Resto del Orinoco medio (Ven)	32.000	3,5	2.090	925	29	29,2	2,7	91	44	118
		De los Llanos centro orientales	38.000	4,1	1.150	400	11	12,6	1,2	33	29	82
		Del bajo Orinoco guayanés	17.000	1,8	1.273	250	15	7,9	0,7	46	36	81
		Subtotal 2	119.000	12,9	1.837	2.900	24	91,5	8,5	77	42	107
		Total cuenca sin interconexión	926.000	100,0	2.335	33.950	37	1070,6	100,0	116	50	118
		Fuga al Casiquiare				- 350		- 11,0	- 1,0			
		Total cuenca con interconexión	926.000	100,0	2.335	33.600	36	1059,6	99,0	114	49	119
												3,3

Guaviare pero entre las dos producen 1.000 m³/s más. Ambas cuencas, algo más boscosa la del Caura, han resultado con muy alto coeficiente de escorrentía en el orden del 60 %, el cual no sólo se explica por la alta precipitación que reciben y la aparente economía hídrica de su vegetación, sino también por su topografía y la naturaleza de sus suelos. Estas cuencas, caracterizadas por sus saltos de agua, tienen un relieve relativamente alto que se traduce en menor temperatura y por tanto en menor evapotranspiración; su superficie es ondulada a accidentada y escarpada, con afloramientos rocosos de tepuyes o jidis y otras formas residuales poco permeables, más suelos quizás poco profundos, a veces compactados, todo lo cual potencia el escurrimiento.

Luego de la confluencia del río Caura, se encuentra la estación río Orinoco en Musinacio, donde el U.S Geological Survey realizó algunos aforos en el año hidrológico 1982-83. MOP (1972) le indica una cuenca de 787.000 Km². Proyectando caudales hasta Musinacio, habría que sumar al caudal medio obtenido en Cabruta y Caicara 700 m³/s del Cuchivero, 2.900 m³/s del Caura y unos 250 m³/s de áreas restantes, resultando unos 28.000 m³/s, cifra mucho menor al promedio histórico de 32.300 m³/s para el período 1969-93 (MARNR, 1996; Pérez y López, 1998). Sin embargo, no hay manera de repartir hacia aguas arriba los 4.300 m³/s de diferencia si se hiciera el balance hídrico en Musinacio con el promedio histórico. Utilizando la frecuencia de caudales del Orinoco en Musinacio para el período 1970-76, presentada por

Meade *et al.* (1983) y Nordin y Pérez (1989), se obtiene una media de 31.050 m³/s, que se acerca un poco al caudal que se esperaría con este estudio.

Después de la confluencia del Caroní y antes del delta, se halla la estación río Orinoco en Punta Cabrián, a la que se reporta una media de 36.400 m³/s para los períodos 1959-76 y 1984-92 (Pérez y López, 1998), cuando ahora se obtienen 33.600 m³/s, o sea, 2.800 m³/s menos. Si bien este estudio es concordante con las mediciones realizadas en estaciones hidrométricas ubicadas aguas arriba, e incluso con las de estaciones de los afluentes de aguas abajo, sus resultados no son compatibles con los de Musinacio y Punta Cabrián, cuyos caudales medios históricos lucen elevados o superiores a lo esperado. A su vez, los promedios de Musinacio y Punta Cabrián son algo incompatibles entre sí, porque difieren en 4.100 m³/s, cuando sólo el aporte de los ríos Aro y Caroní, intermedios entre ambas estaciones, sería de unos 5.200 m³/s.

En el cuadro 8 se presenta el balance completo por regiones hidrográficas. La subregión hidrográfica deltaica aportaría 1.400 m³/s que, sumados a lo estimado antes del delta, da un total de 35.000 m³/s que el río Orinoco entrega al Atlántico, menor que los 37.385 m³/s reportados por MARNR (1996) y los 36.500 m³/s de Pérez y López (1998). La escorrentía generada por toda la cuenca procede en un 13 % de la región del alto Orinoco, en 56 % del Orinoco medio y 31 % del bajo Orinoco. Se deduce que la cuenca del Ventuari aporta el 46 % de la escorrentía

Cuadro 8. Balance hídrico preliminar de la cuenca del río Orinoco por regiones hidrográficas

N°	Regiones hidrográficas	Cuenca		Precip. (mm)	Caudal (m ³ /s)	Productiv. (l/s/Km ²)	Volumen escurrido		Escorrentía (cm/año)	C. de esc. (%)	Evapotranspiración	
		(Km ²)	(%)				(Km ³ /año)	(%)			(cm/año)	(mm/día)
1	Alto Orinoco (sin interconexión)	101.000	10,1	2.725	4.750	47	149,8	13,4	148	54	124	3,4
2	Orinoco medio	598.000	59,8	2.240	19.750	33	622,8	55,9	104	46	120	3,3
3	Bajo Orinoco (sin subregión deltaica)	227.000	22,7	2.412	9.450	42	298,0	26,7	131	54	110	3,0
	Subtotal 1	926.000	92,6	2.335	33.950	37	1.070,6	96,0	116	50	118	3,2
4	Subregión deltaica:											
	4.1 Delta	23.000	2,3	1.900	450	20	14,2	1,3	62	32	128	3,5
	4.2 Cuenca occidental del delta	30.000	3,0	1.200	300	10	9,5	0,8	32	26	88	2,4
	4.3 Cuenca meridional del delta	21.000	2,1	2.200	650	31	20,5	1,8	98	44	122	3,4
	Subtotal 2	74.000	7,4	1.701	1.400	19	44,2	4,0	60	35	110	3,0
	Cuenca sin interconexión	1.000.000	100,0	2.288	35.350	35	1.114,8	100,0	111	49	117	3,2
	Fuga al Casiquiare				-350		-11,0	-1,0				
	Cuenca con interconexión	1.000.000	100,0	2.288	35.000	35	1.103,8	99,0	110	48	118	3,2

producida por el alto Orinoco, mientras que a las cuencas del Guaviare y el Meta corresponde el 56 % de la escorrentía del Orinoco medio y a las cuencas del Caura y Caroní concierne el 71 % de la escorrentía de todo el bajo Orinoco.

La cuenca total del Orinoco resulta además con una productividad neta de 35 l/s/Km² y un coeficiente de escorrentía de 48 %, para una lámina precipitada de 2.290 mm/año repartida en una escurrida de 1.105 mm/año y otra evapotranspirada de 1.185 mm/año. Las cifras de UNESCO (1979) para la misma área de cuenca son más bajas que las anteriores porque considera una precipitación de apenas 1.990 mm/año, resultando un caudal medio anual de 29.100 m³/s para una productividad de 29 l/s/Km², un coeficiente de escorrentía de 46 %, una lámina escurrida de 920 mm/año y una evapotranspirada de 1.070 mm/año.

Comparando con la cuenca amazónica, la orinoquense exhibe indicadores de rendimiento hídrico aún mejores que los de aquella. A la primera UNESCO (1979) estima una cuenca de 6.915.000 Km², una precipitación media de 2.150 mm y un caudal de 220.000 m³/s, que se traducen en una productividad de 32 l/s/Km² y un coeficiente de escorrentía de 47 %, más una lámina escurrida de 1.000 mm/año y otra evapotranspirada de 1.150 mm/año. Algunos estudios posteriores determinan a la cuenca del Amazonas órdenes de magnitud de 2.300 mm/año de precipitación media, de 1.050 a 1.100 mm/año de lámina escurrida y de 46 a 47 % de coeficiente de escorrentía anual (Cavalier y Vargas, 2002).

En el cuadro 9 se muestra el balance completo por países. Venezuela, que ocupa el 65,5 % de la cuenca, produce el 60,7 % de la escorrentía generada por la misma, que es de 1.115 Km³/año. De éstos, 1.104 Km³/año llegan al océano y el 1 % restante es trasvasado a la cuenca amazónica. Se aprecia que la Orinoquia colombiana tiene mejor productividad de agua que la venezolana por la mayor precipitación media en la primera, que se calcula en 2.500 mm/año. Para estimar el aporte colombiano se ha supuesto, además de lo ya señalado para el Atabapo y el Meta, que la escorrentía de los ríos Cinaruco, Capanaparo, Arauca y Sarare, generada en Colombia, es de 525 m³/s en un área de drenaje de 18.000 Km², cuya precipitación media anual se aproxima a 2.100 ó 2.200 mm. Sumando dicho caudal a los 13.375 m³/s que la nación hermana entrega con la desembocadura del Meta, resulta que su Orinoquia contribuye con un promedio de 13.900 m³/s, o sea, el 39,3 % del generado por toda la cuenca y el 39,7 % del total descargado al Atlántico.

Según este estudio, el río Caroní aporta el 22 % de la escorrentía generada en Venezuela para el río Orinoco, que es de 676 Km³/año; mientras el Caura aporta el 14 % de la misma, el Apure hasta San Fernando el 11 % y el Ventuari el 10 %. En tanto, el río Guaviare vierte el 48 % del agua escurrida por Colombia, siendo ésta de 438 Km³/año; mientras el Meta aporta el 30 % de la misma, el Vichada el 7 % y el Tomo el 5 %.

Cuadro 9. Balance hídrico preliminar de la cuenca del río Orinoco por países

N°	Países y regiones hidrográficas	Cuenca		Precip.	Caudal	Productiv.	Volumen escurrido		Escorrentía		C. de esc.		Evapotranspiración	
		(Km ²)	(%)				(mm)	(m ³ /s)	(l/s/ Km ²)	(Km ³ / año)	(%)	(cm/ año)	(%)	(cm/ año)
1	VENEZUELA													
	1.1 Alto Orinoco (sin interconexión)	101.000	10,1	2.725	4.750	47	149,8	13,4	148	54	124	3,4		
	1.2 Orinoco medio	253.000	25,3	1.882	5.850	23	184,5	16,5	73	39	115	3,2		
	1.3 Bajo Orinoco (completo)	301.000	30,1	2.237	10.850	36	342,2	30,7	114	51	110	3,0		
	Subtotal Ven	655.000	92,6	2.175	21.450	33	676,4	60,7	103	47	114	3,1		
2	COLOMBIA													
	2.1 Orinoco medio Subtotal Col	345.000	34,5	2.503	13.900	40	438,4	39,3	127	51	123	3,4		
	Cuenca sin interconexión	1.000.000	100,0	2.288	35.350	35	1.114,8	100,0	111	49	117	3,2		
	Fuga al Casiquiare				- 350		- 11,0	- 1,0						
	Cuenca con interconexión	1.000.000	100,0	2.288	35.000	35	1.103,8	99,0	110	48	118	3,2		

Comentarios finales

Para los balances hídricos presentados se ha utilizado el caudal medio anual del río Orinoco en Puerto Ayacucho que, para el período 1964-92, se aproxima a 14.850 m³/s, mas no los promedios históricos del río Orinoco en Musinacio y Punta Cabrián que, como se explicó, no son compatibles con los de Puerto Ayacucho ni con los de los afluentes medidos. Como resultado general de los balances se han estimado promedios de precipitación, escorrentía, evapotranspiración e indicadores de rendimiento hídrico para la cuenca correspondiente a diferentes sitios del Orinoco y para la desembocadura de sus tributarios principales.

Las precipitaciones medias anuales que se estiman y las áreas medidas para la cuenca del río Orinoco son de 2.300 mm para 39.000 Km² en Tamatama, 2.570 mm para 57.000 Km² en Guachapana, 2.710 mm para 98.000 Km² en Santa Bárbara, 2.725 mm para 101.000 Km² en Masagua, un máximo de 2.790 mm para 254.000 Km² en Guayaguayare, 2.660 mm para 342.000 Km² en Puerto Ayacucho, 2.590 mm para 462.000 Km² en Puerto Páez, 2.310 mm para 699.000 Km² en Cabruta y Caicara, 2.335 mm para 926.000 Km² en Punta Cabrián y finalmente 2.290 mm para el 1.000.000 de Km² que tiene toda la cuenca.

Los caudales que resultan para el río Orinoco son de 1.400 m³/s en Tamata-

ma, 2.050 m³/s en Guachapana, 4.250 m³/s en Trapichote y Santa Bárbara, 4.400 m³/s en Masagua, 11.800 m³/s en Guayaguayare, 19.450 m³/s en Puerto Páez, 24.150 m³/s en Cabruta y Caicara, 33.600 m³/s en Punta Cabrián y 35.000 m³/s que entregan los caños del delta al Atlántico. De estos caudales corresponden a Venezuela el 100 % en Tamatama, Guachapana, Santa Bárbara y Masagua; el 41,5 % en Guayaguayare, el 39,4 % en Puerto Ayacucho, un mínimo de 31,2 % en Puerto Páez, el 42,4 % en Cabruta y Caicara, el 58,6 % en Punta Cabrián y el 60,3 % de la escorrentía recibida por el océano.

Justo después de Tamatama, el Orinoco trasvasaría a la cuenca amazónica el 25 % de la escorrentía generada hasta ese sitio y sucesivamente el 7,6 % de ella hasta Santa Bárbara, el 2,9 % hasta Guayaguayare, el 2,3 % hasta Puerto Ayacucho, el 1,8 % hasta Puerto Páez, el 1,4 % hasta Caicara y el 1,0 % hasta el delta y el océano, como se aprecia en los cuadros.

El afluente más caudaloso del Orinoco, el Guaviare, representa con sus 6.700 m³/s de promedio el 57 % del caudal medio en Guayaguayare y sucesivamente el 45 % en Puerto Ayacucho, el 34 % en Puerto Páez, el 28 % en Caicara, el 20 % en Punta Cabrián y el 19 % del desagüe al Atlántico. A su vez, la cuenca del mismo Guaviare, con 140.000 Km² de superficie, representa el 55 % de la cuenca hasta Guayaguayare y sucesivamente el 41 % hasta Puerto Ayacucho, el 30 % hasta Puerto Páez, el 20% hasta Caicara, el 15% hasta Punta Cabrián y el 14 % de toda la cuenca, como citan los cuadros.

Los afluentes del Orinoco se pueden agrupar jerárquicamente. Los seis mayores, descritos en la primera parte del trabajo y que producen de toda la escorrentía, se separan en dos grupos: el primero, compuesto por los ríos Guaviare, Caroní y Meta, que aportan 15.800 m³/s ó 45 % del caudal vertido al océano, y el segundo, constituido por los ríos Caura, Apure y Ventuari, que suman 7.500 m³/s ó 21 % del caudal total; sigue un tercer grupo conformado por los ríos Vichada, Tomo, Arauca, Atabapo, Sipapo y Cuchivero, que suman 4.700 m³/s ó el 13 % del caudal total; más un cuarto grupo integrado al menos por los ríos Padamo, Aro, Cunucunuma, Capanaparo, Ocamo, Guárico y Cinaruco.

Recomendaciones

Si bien este trabajo presenta nuevos datos y cifras para la cuenca del río Orinoco y siendo la primera vez que se presenta un balance hídrico de ella tan detallado y completo, aunque preliminar, es posible un análisis más exhaustivo y refinado con el concurso de un equipo técnico multidisciplinario, de mayores recursos tecnológicos, con toda la data disponible, incluso satelital, y por supuesto, con el decidido apoyo institucional y gubernamental.

Para contar con más y mejores datos de escorrentía, sería conveniente realizar campañas de aforo en secciones de flujo convenientes tanto en Caicara como en Ciudad Bolívar, para poder transformar sus niveles de agua en caudales; así como

realizar nuevas campañas de aforos en Musinacio y Punta Cabrián. En general es necesario retomar las mediciones en el Orinoco y sus afluentes. Esto debe ser parte de una iniciativa del MARN y otras instituciones para relanzar las tareas hidrométricas en Venezuela en el corto plazo.

Por otra parte, se justifica emprender un proyecto cartográfico de la cuenca completa del río Orinoco a una escala de edición no menor de 1:2.000.000. Tal proyecto produciría varios mapas temáticos que ayudarían a dar cifras oficiales para la cuenca, así como llegar a conclusiones y recomendaciones útiles, sin olvidar lo referente a una red hidroclimática binacional que sea deseable para toda la cuenca.

Agradecimiento

Los datos de caudales del río Orinoco en Puerto Ayacucho y en otros sitios, así como de varios afluentes, fueron provistos por personal del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales en Puerto Ayacucho y Caracas. Mención especial por su oportuna y desinteresada información merecen el veterano técnico hidrometeorológico José Manuel Caravía del MARN – estado Amazonas y el Dr. José Luis López del Instituto de Mecánica de Fluidos de la Universidad Central de Venezuela en Caracas.

Referencias citadas

- CÁRDENAS, A.; CARPIO, R. y F. ESCAMILLA. 2000. **Geografía de Venezuela**. Fondo Editorial Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Caracas. 452 p.
- CAF. 1998. **Integración fluvial suramericana, los ríos nos unen**. Guadalupe LTDA. Bogotá. 244 p.
- CAVALIER, J. y VARGAS, G. 2002. *Procesos hidrológicos*. En: **Ecología y conservación de bosques neotropicales**, 145-165; compiladores: M. Guariguata, y G. Kattan. Libro Universitario Regional. Costa Rica.
- CODAZZI, A. 1841. **Resumen de la geografía de Venezuela**. Fournier. París. 648 p.
- CODAZZI, A. 1940. **Resumen de la geografía de Venezuela**. Ministerio de Educación Nacional. Dos volúmenes. Caracas.
- COPLANARH. 1969. **Inventario nacional de aguas superficiales**. Vol. 1. Ministerio de Obras Públicas. Caracas. 127 p.
- CVG EDELCA. 2003. **Cifras**. Gerencia de Asuntos Públicos. Caracas. 48 p.
- DOMÍNGUEZ, C. 1998. *La gran cuenca del río Orinoco*. En: **Colombia Orinoco**. Varios autores. Versión de la Biblioteca Virtual del Banco de la República. Original de la editorial del FEN. Bogotá. 324 p.
- EWEL, J.; MADRIZ, A. y J. TOSI. 1976. **Zonas de vida de Venezuela, memoria explicativa sobre el mapa ecológico**. Segunda edición. Ministerio de Agricultura y Cría, Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Caracas. 265 p.

- GEORGESCU, C. y P. 1984. **Los ríos de la integración suramericana**. Universidad Simón Bolívar. Caracas. 438 p.
- GLEICK, P. 2002. **The World's Water 2000-2001, the Biennial Report of Freshwater Resources**. Island Press. Covelo, California. 315 p.
- GÓMEZ, R. 1953. **Orinoco, río de libertad**. Afrodísio Aguado. Madrid. 501 p.
- GUMILLA, J. 1741. **El Orinoco ilustrado, historia natural, civil y geográfica de este gran río**. Manuel Fernández, impresor de la Reverenda Cámara Apostólica. Madrid.
- HIDROMET. 1981. *Base metodológica para la elaboración de una hidrología preliminar de la región sur del Orinoco*. Informe final preparado para MARNR y CADAPE. Caracas.
- MARNR. 1979. *Determinación del volumen medio anual escurrido en cuencas sin mediciones hidrométricas* (aplicación de la metodología a la cuenca del río Tuy). Serie de Informes Técnicos DGSPOA/34. Caracas. 11 p. 9 mapas.
- MARNR. 1996. **Balance ambiental de Venezuela 1994 – 95**. Caracas.
- MEADE, R.; NORDIN, C.; PÉREZ-H., D.; MEJÍA, A. and PÉREZ G., J. 1983. Sediment and water discharge in río Orinoco, Venezuela and Colombia. *Proceedings of the Second International Symposium on River Sedimentation*. Nanjing. Water Resource and Electric Power Press: 1134-1144.
- MOP. 1972. **Mediciones en ríos grandes**. División de Hidrología. Caracas. 93 p.
- NORDIN, C. y PÉREZ-H. D. 1989. **Sand Waves, Bars and Wind – Blown Sands of the Río Orinoco, Venezuela and Colombia**. U.S. Geological Survey, Water-Supply 2326.
- PÉREZ-H. D. y LÓPEZ, J. 1998. *Algunos aspectos relevantes de la hidrología del río Orinoco*. En: **El río Orinoco. Aprovechamiento sustentable**, 88-98; editores: J. López, I. Saavedra y M. Martínez. Universidad Central de Venezuela, Instituto de Mecánica de Fluidos. Caracas.
- RODRÍGUEZ, A. y ESCAMILLA, F. 1998. *El Orinoco: 500 años de historia*. **Biblio 3w. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales** 110 (electrónica).
- RON, E.; MEJÍA, A.; De LEÓN, R. y COLMENARES, G. 1982. *Informe de las condiciones hidráulicas del caño Casiquiare*. **El Agua** 27: 21-29.
- SEOANE, R.; VALDÉS, J. y GONZÁLEZ, M. 1984. Modelo de pronóstico de caudales mensuales, aplicación al río Caroní, Venezuela. *Memorias del XI Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Buenos Aires, Argentina.
- SILVA, G. 2000. *Historia resumida de la hidrología venezolana*. **Revista Geográfica Venezolana**, 41 (1): 139-166.
- SILVA, G. 2002. *Clasificaciones de pisos térmicos en Venezuela*. **Revista Geográfica Venezolana**, 43 (2): 311-328.
- UNESCO. 1979. **Balance hídrico mundial y recursos hidráulicos de la tierra**. Instituto de Hidrología. Estudios e informes sobre hidrología, 25. Edición del Centro de Estudios Hidrográficos de España.
- U.S. ARMY CORPS of ENGINEERS. 1943. *Report on Orinoco – Casiquiare – Negro Waterway, Venezuela – Colombia – Brasil: South Atlantic District*. Atlanta, Georgia. 313 p.

VARESCHI, V. 1963. *La bifurcación del Orinoco, observaciones hidrográficas y ecológicas de la expedición conmemorativa de Humboldt del año 1958*. **Acta Científica Venezolana** 14 (4).

VARESCHI, V. 1983. *La bifurcación del Orinoco, observaciones hidrográficas y ecológicas de la expedición conmemorativa de Humboldt del año 1958*. **El Agua** 28: 46-55.

VILA, P. 1960. **Geografía de Venezuela 1: El territorio nacional y su ambiente físico**. Ministerio de Educación. Caracas. 447 p.