

República Bolivariana de Venezuela
Ministerio del Poder Popular para Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología

Universidad de Los Andes
Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales
Escuela de Geografía
Departamento de Geografía Física

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

BALANCE HÍDRICO PROMEDIO ANUAL DE CUENCAS FLUVIALES
PARTE I: La cuenca del río Orinoco como caso de estudio de nivel 1.

<http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/43996>

Por MSc. Gustavo A. Silva León
gustavosilvaleon@gmail.com

Mérida, noviembre de 2017

	CONTENIDO	Pág.
Resumen		6
Introducción		7
Planteamiento del problema		7
Justificación		8
Objetivos		8
General		8
Específicos		8
Antecedentes de estudios de balance hídrico de cuencas venezolanas		9
Niveles para el estudio del balance hídrico promedio anual de cuencas fluviales		13
Teoría básica del balance hídrico de cuencas fluviales		14
Ecuación general de balance hídrico		14
La cuenca fluvial como sistema hidrológico		14
Ecuaciones de balance hídrico de cuencas hidrográficas		15
Expresiones de la esorrentía media anual		17
Ejemplos de balance hídrico promedio anual de cuencas hidrográficas		18
Indicadores del rendimiento hídrico de una cuenca fluvial		19
Metodología para el balance hídrico de cuencas fluviales		20
Balance hídrico promedio anual para una cuenca con divisiones hidrográficas		20
Ejemplos de balance hídrico de cuencas fluviales con división hidrográfica simple		21
La gran cuenca del río Orinoco como caso de estudio de nivel 1		23
Descripción general de la cuenca		23
Ubicación y extensión		23
Límites		23
Áreas referenciales		24
Población		25
Ciudades principales		26
Regiones naturales		29
Riqueza petrolera y minera		29
Nacimiento y tramos del río Orinoco		30
Regiones hidrográficas		31

	Pág.
Longitud y perfil longitudinal	32
Navegación	33
Clima	34
Preliminares del balance hídrico promedio anual de la cuenca del Orinoco	36
Resultados previos	36
Bases del nuevo balance hídrico	37
Validación de caudales medios en las estaciones hidrométricas del Orinoco	38
Balances hídricos por estaciones hidrométricas	38
Balance promedio anual hasta Tamatama	38
Balance promedio anual hasta Puerto Ayacucho	39
Balance promedio anual hasta Angostura	41
Balances hídricos complementarios	43
Balance promedio anual del alto Orinoco	43
Balance promedio anual hasta Caicara – puente MERCOSUR	44
Balance promedio anual hasta el océano Atlántico	44
Balance promedio anual por regiones hidrográficas y países	45
Valoración de confluencias y balance hídrico	46
Jerarquización de subcuencas y su balance	48
Relaciones matemáticas basadas en la precipitación media anual	49
Regionalización matemática para las subcuencas guayanesas	49
Regionalización matemática para las otras subcuencas	50
Datos y análisis suplementarios	51
Conclusiones	52
Recomendaciones	52
Literatura citada	53
Anexos	56

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Interpretación del módulo de esorrentía y de la lámina escurrida	19
Tabla 2. Interpretación del coeficiente de esorrentía anual	19
Tabla 3. Valoración hidrológica básica para una división de la cuenca apureña	21
Tabla 4. Valoración hidrológica complementaria para una división de la cuenca apureña	21
Tabla 5. Valoración hidrológica de la cuenca del Caroní hasta la desembocadura del Paragua	22
Tabla 6. Balance hídrico para una división de la cuenca Reventazón – Parismina, Costa Rica	22
Tabla 7. Superficie de la cuenca del río Orinoco por sectores según otros autores	24
Tabla 8. Población al 2015 de la cuenca del río Orinoco por división político territorial	25
Tabla 9. Ciudades más pobladas de la cuenca del río Orinoco para el año 2015	26
Tabla 10. Ubicación latitudinal de las principales ciudades en la cuenca del río Orinoco	28
Tabla 11. Regiones hidrográficas de la cuenca del río Orinoco y sus principales tributarios	31
Tabla 12. Longitudes y pendientes del río Orinoco por tramos	32
Tabla 13. Balance hídrico de la Orinoquia venezolana según COPLANARH (1969)	36
Tabla 14. Caudales promedios ajustados para el río Orinoco, período 1970 – 89	38
Tabla 15. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta Tamatama	39
Tabla 16. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta Puerto Ayacucho	40
Tabla 17. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta Ciudad Bolívar	42
Tabla 18. Balance promedio anual del alto Orinoco	43
Tabla 19. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta Caicara	44
Tabla 20. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta el Atlántico	45
Tabla 21. Balance promedio anual de la cuenca del río Orinoco por regiones y países	46
Tabla 22. Parámetros hidrológicos para confluencias notables del río Orinoco	47
Tabla 23. Valoración hidrológica de confluencias notables (COPLANARH, 1969)	48
Tabla 24. Balance de subcuencas del Orinoco por jerarquía de los afluentes no deltaicos	48

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema hidrológico cuenca fluvial	15
Figura 2. Variables y ecuación del balance promedio de una cuenca	16
Figura 3. San Félix, la urbe más poblada de Ciudad Guayana	27
Figura 4. Ciudad Bolívar, capital del estado homónimo, en el sitio de Angostura	28
Figura 5. Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez y Arco Minero del Orinoco	29
Figura 6. Regiones hidrográficas de la cuenca del río Orinoco	31
Figura 7. Perfil longitudinal del río Orinoco con subdivisión en tramos y sitios	33
Figura 8. Buque Thor Shangai en Matanzas y puente Orinokia	34
Figura 9. Trifluencia Orinoco – Atabapo – Guaviare en San Fernando y caudales medios	46
Figura 10. Vista en perspectiva de la confluencia Orinoco – Meta y caudales medios	47
Figura 11. Relación entre indicadores hídricos y precipitación en subcuencas guayanesas	50
Figura 12. Relación entre indicadores hídricos y precipitación en otras subcuencas	50
Figura 13. Curvas regionales de evapotranspiración de subcuencas según la precipitación	51

LISTAS DE ANEXOS

Anexo A. Precipitación media anual preliminar en las subcuencas mayores	56
Anexo B. Registro pluviométrico 1970 – 1989 en estaciones climáticas seleccionadas	57
Anexo C. Registro hidrométrico 1970 – 1989 en Tamatama, Pto. Ayacucho y Angostura	63
Anexo D. Caudales corregidos del río Orinoco en Angostura y Pto. Ayacucho, 1970 – 1989	65
Anexo E. Estimación de caudales del río Orinoco en Caicara, 1970 – 1989	68
Anexo F. Caudales mensuales en la difluencia Orinoco – Casiquiare, 1970 – 1989	69

RESUMEN

Se presentan antecedentes de los estudios de balance hídrico de cuencas en Venezuela desde Agustín Codazzi y se proponen tres niveles de análisis en función del tamaño de cuenca. Luego se desarrolla la teoría básica del balance hídrico de cuencas fluviales y se plantea una metodología basada en una sectorización hidrográfica para operar el balance promedio anual, hallando por este método la evapotranspiración real y calculando el módulo y el coeficiente de escorrentía como indicadores de productividad hídrica y de eficiencia hídrica, respectivamente. Los resultados se obtienen por aproximaciones sucesivas de caudales y precipitación por sector, utilizando hoja de cálculo y considerando cada vez los indicadores hídricos y la evapotranspiración, hasta alcanzar valores aceptables a juicio del analista. La gran cuenca internacional del río Orinoco es objeto de estudio en un primer nivel de análisis, pasando primero por una necesaria descripción de esa hoya hidrográfica en aspectos que destacan su interés e importancia. El balance se refiere al período 1970 – 1989 que tiene buena información hidrométrica, tomando como principales las estaciones del río Orinoco en Tamatama, Puerto Ayacucho y Angostura. Los resultados se indican en cuadros por estaciones y otros puntos, la cuenca completa, subcuencas, regiones hidrográficas y países. La cuenca del Orinoco resulta con media pluviométrica mínima de 195 cm/año, justo aguas arriba de la afluencia del río Ocamo; y con una máxima de 293 cm/año, justo aguas abajo de la afluencia Atabapo - Guaviare. Las cuencas respectivas hasta Caicara, Ciudad Bolívar, Puerto Ordaz y el Atlántico mantienen una media que ronda los 240 cm/año. Se ratifica al río Orinoco como el tercero más caudaloso del mundo con promedio de 37.250 m³/s, 59 % procedente de Venezuela, 40 % de Colombia y 1 % de la zona en reclamación; otros 315 m³/s van a la cuenca amazónica por el río Casiquiare. La evapotranspiración real media tiene un máximo de 141 cm/año en la boscosa subcuenca Atabapo y un mínimo de 85 cm/año en la sabanera Manapire. La subcuenca Caura tiene el mayor rendimiento hídrico con una escorrentía de 75 l/s/km² equivalente al 66 % del agua precipitada. Los afluentes más caudalosos son Guaviare con 7.200 m³/s, Caroní con 5.000 m³/s, Meta con 4.600 m³/s, Caura con 3.400 m³/s, Apure con 2.500 m³/s y Ventuari con 2.300 m³/s, que aportan 2/3 de la escorrentía total generada por la cuenca. La precipitación media anual de 25 subcuencas principales, agrupadas en dos regiones diferenciadas hidrológicamente, se relaciona matemáticamente con la evapotranspiración real e indicadores de rendimiento hídrico.

Palabras clave: balance hídrico, cuenca hidrográfica, río Orinoco, escorrentía, evapotranspiración.

INTRODUCCIÓN

Planteamiento del problema

Los sujetos naturales del balance hídrico son aquellos sistemas hidrológicos que, diferenciados en la hidrosfera, son diversos en su naturaleza y tamaño. En la jerarquía más alta se distinguen los macro sistemas atmósfera, continentes y océanos, que se hallan en continua interacción hídrica y energética. En los continentes se identifican sistemas exorreicos y endorreicos, los cuales están constituidos por cuencas hidrográficas fluviales y lacustres, que a su vez incluyen sistemas menores tales como lagos, embalses, suelos y acuíferos. Además cada ser vivo es un biosistema hidrológico.

Estudiar el balance hídrico de un sistema hidrológico requiere conocer sus entradas y salidas de agua en intervalos de tiempo dados, atendiendo a la capacidad del sistema de almacenar el agua y a las operaciones hídricas que ocurren en su interior. En relación a la cuenca fluvial es preciso cuantificar su precipitación y su escorrentía, la primera porque es la principal entrada de agua del sistema y la segunda porque es la síntesis hidrológica de la cuenca. Ambas variables se obtienen de registros climáticos e hidrométricos adecuados, de manera que el estudio del balance hídrico de cuencas corresponde a la climatología y la hidrología, por tanto se trata de un tema hidroclimático.

Para el caso de las cuencas fluviales y lacustres es importante abordar su balance de agua, porque ella como recurso es aprovechada para usos como agua potable, riego, piscicultura, producción de alimentos, materiales y manufacturas; generación de energía mecánica y eléctrica, construcción, refrigeración, dilución de efluentes, navegación, recreación y deporte. En particular, los resultados del balance hídrico de las cuencas hidrográficas de un país mejoran el conocimiento de sus aguas superficiales de manera holística y racional, porque la escorrentía no se trata de forma aislada sino vinculada a la precipitación y a la evapotranspiración de esos sistemas hidrológicos.

En Venezuela hay antecedentes de vieja data sobre el tema del balance hídrico. Con el soporte de un marco teórico y la información pluviométrica e hidrométrica disponible, se toma como caso de estudio la gran cuenca internacional del río Orinoco en esta Parte I del estudio. Queda para la Parte II tratar con más detalle la subcuenca guayanesa del río Caroní, así como las cuencas montañosas andinas de los ríos Santo Domingo y Masparro pertenecientes a la subcuenca apureña.

Justificación.

La medición hidroclimática en Venezuela no ha tenido la continuidad ni la amplitud requeridas, para conocer a cabalidad la distribución temporal y espacial de la precipitación en el territorio nacional y el régimen de escorrentía de nuestros ríos. No obstante, existe información valiosa que ha sido poco utilizada para calcular la evapotranspiración real de cuencas fluviales por balance hídrico y distribuir hacia aguas arriba la escorrentía medida en una estación hidrométrica.

Cuando se utiliza un modelo de simulación hidrológica en una cuenca, que no es lo planteado acá, suele calcularse una evapotranspiración potencial para determinar la real y la escorrentía termina siendo la variable que se determina por balance hídrico, calibrando el modelo si hay suficientes datos hidrométricos. Si una cuenca está instrumentada hidrológicamente para medir precipitación y escorrentía, lo pertinente sería estimar la evapotranspiración real por balance hídrico.

Este proyecto se inscribe en la línea de investigación *Balance hídrico de sistemas hidrológicos* del Departamento de Geografía Física de la Escuela de Geografía y forma parte de las actividades de la Sala de Hidroclimatología del Instituto de Geografía y Conservación de los Recursos Naturales.

Objetivos:

General: Desarrollar la teoría y la práctica del balance hídrico promedio anual de cuencas hidrográficas, utilizando divisiones o sectores hidrográficos de las mismas y tomando como caso de estudio la cuenca del río Orinoco en un primer nivel de análisis de esta parte I del trabajo.

Específicos:

1. Presentar la teoría del balance hídrico con ejemplos sencillos de cuencas latinoamericanas, incluyendo indicadores de rendimiento hídrico de las cuencas fluviales que permitan valorar su vocación hídrica y realizar comparaciones entre ellas.
2. Aplicar una metodología de balance promedio anual basada en divisiones hidrográficas, que permita distribuir caudales medidos y calcular la evapotranspiración real en las áreas escogidas.
3. Renovar el estudio de Silva León (2005) para la cuenca del río Orinoco, agregando antecedentes, desarrollando más el marco teórico, ampliando la descripción de la cuenca, mejorando aspectos metodológicos, obteniendo nuevos resultados y estableciendo relaciones matemáticas entre ellos.

Antecedentes de estudios de balance hídrico de cuencas venezolanas.

Agustín Codazzi es precursor de los estudios de balance hídrico de cuencas en Venezuela. El insigne militar ítalo venezolano llegó al país en 1826, acompañando a Bolívar desde Colombia. Codazzi inició estudios cartográficos y el presidente Páez le encargó una Geografía de Venezuela, por lo cual aquél, al concluirla, viajó a París en 1840 para editarla. En la misma se dice del Orinoco que:

“Para formarse una idea de la gran corpulencia de este río, debe tenerse presente que una cuarta parte de aquellos extensos territorios está en la región de las lluvias ecuatoriales, donde pueden caer cada año 100 pulgadas de agua. Si se admite que en el resto caigan 72 pulgadas, se tendrán 79 pulgadas por término medio de las lluvias en las 21,780 leguas cuadradas que forman la grande hoya del Orinoco. Supóngase perdidos por la evaporación y filtración dos terceras partes del total de las lluvias y se verá que siempre quedan 26 pulgadas de agua que todo aquél inmenso territorio tributa al Orinoco.” (Codazzi, 1940: 35).

El estudio pionero de Perrault (1674) había concluido que lo escurrido por el río Sena en París era 1/6 de lo precipitado en su cuenca, mientras Codazzi supuso 1/3 para la cuenca del Orinoco. Luego:

“En el medio del río hay un orinómetro natural que llaman la Piedra del Medio, y sirve para medir el agua que pasa delante de Angostura. Le hemos dado ese nombre por imitación a los nilómetros. Si en la menguante del Orinoco tomamos 60 pies por término medio de su profundidad, dos pies por su velocidad en cada segundo y 2.000 pies por su anchura, resultará que pasan por delante de Angostura 240.000 pies cúbicos de agua por segundo (*), volumen igual al que lleva el Ganges en su creciente; debiendo observarse que más abajo de Angostura recibe todavía el Orinoco al Caroní, que sale de la Parima y es el mayor de sus tributarios.” (Codazzi, 1940: 37). (*) Equivalente a 6.800 m³/s.

Humboldt navegó el Orinoco en 1800. Él y Codazzi sostuvieron entrevistas en París, donde el sabio alemán elogió la obra geográfica en imprenta, sobre la cual se aprecia su influencia.

En 1911 el ingeniero Germán Jiménez estimó una escorrentía de 105 millones de m³/año para el río Guaire en El Encantado, a la salida del valle de Caracas, e hizo el razonamiento siguiente:

“Ahora bien, la hoya del río Guaire, hasta El Encantado, tiene una extensión aproximada de 61.500 hectáreas y como la altura de agua de lluvia que cae en el valle es de 0, 833 metros por año (promedio de los últimos veinte años), se deduce la siguiente cifra como cantidad total de lluvias que recibe la hoya en referencia, en el curso de un año: 61.500 x 10.000 x 0,833 = 512.295.000 metros cúbicos. En consecuencia, el caudal que pasa anualmente por El Encantado no es sino el 20 % de la cantidad total de lluvia caída en la hoya del río. Dada la constitución del valle y la naturaleza del cauce del Guaire, de Petare hacia delante, es evidente que toda la mayor parte del agua perdida de 80% debe atribuirse casi exclusivamente a la evaporación.” (Jiménez, 1911: 202 – 203 del boletín).

Este balance para la cuenca del Guaire se basa en aforos realizados en aguas altas y bajas y con datos limitados de precipitación. Jiménez reconocía que esos aforos no daban idea del régimen natural de sus aguas, debido a las tomas para los fundos agrícolas que existían aguas arriba.

El ingeniero y naturalista Alfredo Jahn explicó la función hidrológica del bosque (Jahn, 1909). En 1926, a raíz de una situación de escasez de agua en Caracas causada por las deforestaciones y una intensa sequía, Jahn (1941) enfatizaba sobre el importante papel del bosque al expresar que:

“Se establece cierta acción recíproca entre la lluvia y la vegetación: se favorecen mutuamente. Así como la lluvia hace que prospere y aumente la vegetación arbórea, ésta a su vez, presenta en su follaje una excelente superficie de condensación al vapor acuoso contenido en la atmósfera. En las noches claras y serenas el follaje, por efecto de la irradiación nocturna del calor, se enfría 5 – 7 grados por debajo de la temperatura ambiente y el vapor de agua de la atmósfera se condensa sobre la vegetación, en forma de un rocío más o menos copioso. Durante el día las nubes se compactan sobre la parte elevada de las montañas y su contacto con la vegetación, produce, por condensación, la lluvia. Es por esta acción recíproca de causa y efecto, que generalmente se dice que los bosques *atraen* las lluvias y que por otra parte designamos como *selvas pluviales*, aquéllas muy frondosas que gozan de abundantes y frecuentes lluvias.” (Jahn, 1941: 192).

De manera que Jahn reconocía un componente importante del balance hídrico en zonas de selva nublada que engloba el rocío y la interceptación de nieblas y nubes, constituyendo un aporte hídrico atmosférico adicional a la precipitación que incide en el cálculo de la evapotranspiración.

Además, Jahn relacionó escorrentía y precipitación en cuencas boscosas mediante una ecuación lineal que estimaba un caudal de estiaje en l/s a partir de la precipitación anual en m, a saber:

“De todas las observaciones y experiencias citadas he llegado a concluir que el gasto de los riachuelos de nuestra Cordillera del Litoral puede aproximadamente expresarse por esta fórmula, $Q = 6 S * h$, en que S representa la superficie de la hoya montañosa en kilómetros y h la altura anual de lluvias en metros. Los valles de Tacagua y Topo tienen una superficie de 72 kilómetros cuadrados hasta la confluencia de ambos. Aplicándoles la anterior fórmula y suponiendo la altura de lluvias 850 milímetros, que es la del Observatorio Cajigal, tendríamos que ambas quebradas reunidas, debieran conducir 367 litros por segundo en verano, cuando estaban totalmente cubiertas de bosques sus vertientes superiores.... El mismo cálculo aplicado a la hoya de Macarao, en la parte que se halla arriba de la toma del Acueducto de Caracas, la cual tiene una superficie total de 80 kilómetros cuadrados, dará 480 litros por segundo en pleno verano, suponiendo tan solo un metro de lluvia anual en toda la cuenca. En la actualidad sólo corren por la toma 160 litros por segundo, que es la tercera parte de lo que debió tener 100 o 150 años antes.” (Jahn, 1941: 194 – 195).

En 1940 el Ministerio de Obras Públicas, MOP, creó el Servicio Hidrológico, año en que inició el establecimiento de una red hidrométrica nacional. La primera publicación de estas mediciones es el notable registro fluviométrico de MOP (1956) para cuencas del norte del país, que permitía en principio abordar el balance hídrico basados en promedios anuales de caudales y precipitaciones.

Böckh (1956) presenta una fórmula basada en el balance hídrico del Lago de Valencia para calcular la superficie del lago, conociendo la escurrentía y la precipitación recibidas más su evaporación.

El manual de MOP (1968) contiene un “Método para determinar preliminarmente el balance hídrico de una región”, elaborado por el ingeniero José Curiel en 1965 y presentado en las II Jornadas Venezolanas de Riego. El método se fundamenta en el balance hídrico promedio de una cuenca fluvial con isolíneas de escurrentía resultantes de las de precipitación y evapotranspiración real, obtenida ésta por el procedimiento de Thornthwaite, cuando no había datos de caudales.

MOP (1968) también incluye una “Estimación del rendimiento medio anual”, elaborada por el ingeniero Guido Posewitz en 1966, que determina el coeficiente de escurrentía medio anual de cuencas hidrográficas para diversas cuencas con datos hidrométricos disponibles para la época. Allí se propone extrapolar dicho coeficiente a cuencas sin mediciones de caudal.

En 1967 se creó la Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos, presidida por el MOP, la cual elabora el primer inventario de aguas superficiales de Venezuela (COPLANARH, 1969), donde se aplica el método del balance hídrico para hallar la escurrentía media para el período 1958 – 1967, calculando la evapotranspiración real por la fórmula de Turc. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, MARNR, siguió aplicando esta metodología, como es el caso de MARNR (1979) para la cuenca del río Tuy.

En el marco del Decenio Hidrológico Internacional 1965 – 1974 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, se ocupó de las metodologías y del cálculo del balance hídrico mundial para cuencas fluviales, incluida la del Orinoco (UNESCO, 1979 y 1981). Entre 1977 y 1981, la Oficina Regional de Ciencia y Tecnología de la UNESCO para América Latina y el Caribe, ROSTLAC, celebró reuniones anuales preparatorias para elaborar el balance hídrico suramericano, siendo la tercera en Caracas del 6 al 10 de agosto de 1979. Con ese fin UNESCO (1982) explica los métodos de balance hídrico superficial, aerológico e isotópico.

En 1987 se celebró en Bolivia un primer taller para dar continuidad a dichas reuniones y realizar el balance hídrico suramericano mediante los métodos establecidos. En su apertura se planteó:

“... que el objetivo final del proyecto Balance Hídrico de América del Sur era que cada país elaborara su propio balance hídrico, pero en forma coordinada, considerando un período bien definido, utilizando la Guía Metodológica para la Elaboración del Balance Hídrico de América del Sur, ... , y que el esfuerzo regional total culminara con la publicación de un documento continental ... constituido por mapas a escala 1 : 5.000.000 de precipitación, escurrimiento y evapotranspiración y por un informe que resumirá los resultados obtenidos en las cuencas hidrográficas y en todo el continente ... el balance hídrico será un agente catalizador de desarrollo e investigación hidrometeorológica, independientemente de su alto valor científico y educativo.” (UNESCO, 1987:1)

El MARNR (1988) define 9 regiones para iniciar el nuevo balance nacional: cuenca del Lago de Maracaibo, Llanos occidentales, noroccidental, centro norte, Guárico central, litoral central y cuenca del Tuy, nororiental, el estado Bolívar y el entonces territorio Amazonas. Siguiendo la metodología de UNESCO (1982) se elaboraron informes de los balances respectivos, tales como MARNR (1992a) para el Guárico central, MARNR (1992b) para los Llanos occidentales, MARNR (1993a) para el centro norte, MARNR (1993b) para la cuenca del lago de Maracaibo y MARNR (1995) para el estado Bolívar. No obstante, no hubo una publicación completa de resultados.

Estudios de balance hídrico promedio anual de cuencas hidrográficas realizados en la Escuela de Geografía de la Universidad de Los Andes son los de Silva (2005) para la cuenca del río Orinoco, Castillo y López (2009) para la cuenca del Santo Domingo y Azuaje y Cárdenas (2012) para la del Masparro, en los que se aplica una sectorización hidrográfica para repartir el caudal medio anual obtenido en estaciones hidrométricas y estimar promedios de precipitación y evapotranspiración.

Más complejo es el balance hídrico promedio mensual, que ha sido probado para cuencas lacustres y fluviales. En el primer caso, el lago de Valencia, cuyo nivel de agua se ha incrementado desde 1978, y su cuenca han sido objeto de estudios de balance por parte de MARNR (1987 y 2000). Lo propio ocurre con la cuenca del lago de Maracaibo con el estudio contratado por el Instituto para la Conservación del Lago de Maracaibo (ICLAM, 1994). En el segundo caso se citan los balances para la cuenca del Caroní realizados por Delgado (2005), que utiliza un modelo conceptual; y por Silva León (2006) aplicando una propuesta metodológica basada en el balance promedio anual.

Niveles para el estudio del balance hídrico promedio anual de cuencas fluviales.

En este estudio se plantean tres niveles de detalle para el análisis del balance hídrico promedio anual en función del tamaño de las cuencas. Todos requieren conocer para una cuenca el caudal medio anual en al menos una estación hidrométrica, sectorizarla hidrográficamente y calcular los componentes del balance y los indicadores de rendimiento en cada sector. Esos niveles son:

1. **Preliminar o de aproximación al balance hídrico de grandes cuencas fluviales.** Tamaño típico de cuenca superior a 100.000 Km². La información pluviométrica es referencial, no es indispensable elaborar un mapa isoyético. Es útil el conocimiento fisiográfico a grandes rasgos. Se estudia la cuenca del río Orinoco hasta el Atlántico y puntos intermedios.
2. **Normal o de balance semidetallado de cuencas fluviales.** Tamaño típico de cuenca entre 7.500 y 100.000 Km². Requiere elaborar un mapa isoyético susceptible de ajustes con el balance, siendo así producto del mismo; y disponer información general sobre hipsometría y vegetación. Se estudia la cuenca del río Caroní, que incluye el gran embalse de Guri.
3. **Especial o de balance detallado de cuencas montañosas.** Tamaño típico de cuenca inferior a 7.500 Km². Isoyetas ajustadas con el balance. Evapotranspiración asociada a cobertura vegetal, precipitación y elevación. Aportes adicionales de agua atmosférica condensada. Se consideran las cuencas andinas de los ríos Santo Domingo y Masparro.

Estos niveles de estudio abordan directamente el balance anual sin tratar el balance mensual. En los niveles 1 y 2 los caudales promedio históricos son susceptibles de ajustes, debido a un posible margen de error de magnitud significativa o por comparación entre estaciones consecutivas.

Una utilidad o conveniencia de manejar tres niveles de análisis estriba en que el nivel 1 sea un estudio marco de una cuenca grande, a la cual se puede abrir una ventana de nivel 2 para una subcuenca y a ésta abrir una ventana de nivel 3 para otra subcuenca o microcuenca. Ejemplos de estos niveles en Venezuela serían: 1 Orinoco – 2 Caroní – 3 Kukenán, Karuay o Carrao; y la secuencia: 1 Apure en San Fernando – 2 Apure en Bruzual – 3 Uribante, Caparo o Sarare.

TEORÍA BÁSICA DEL BALANCE HÍDRICO DE CUENCAS FLUVIALES

Ecuación general de balance hídrico.

Todo sistema hidrológico tiene una serie de entradas y salidas de agua y un almacenamiento de agua variable para un período de tiempo considerado. El balance de agua se fundamenta en el principio de conservación de la masa y está dado por la ecuación general siguiente:

$$\Delta S = S_f - S_0 = \sum I_i - \sum O_j \quad (1)$$

donde el cambio de almacenamiento de agua en el sistema, ΔS , para un intervalo de tiempo Δt , es la diferencia entre el agua almacenada al final del período, S_f , y la almacenada al principio del mismo, S_0 , siendo además igual a la diferencia entre el conjunto de entradas de agua I_i y el conjunto de salidas de agua O_j . Al cabo del tiempo Δt el sistema puede ganar o perder agua.

Cuando el balance hídrico refleja una condición promedio anual, los almacenamientos S_f y S_0 se igualan al almacenamiento promedio, por lo que ΔS vale cero y la ecuación (1) se simplifica a:

$$\sum I_i = \sum O_j \quad (2)$$

Esta es la situación que se presenta, por ejemplo, cuando se plantea el balance promedio diario del cuerpo humano, que depende de factores como la edad, el peso y el género y también de las actividades físicas, la alimentación y las condiciones ambientales.

La cuenca fluvial como sistema hidrológico.

Una cuenca hidrográfica fluvial es un área de captación superficial de agua que se corresponde con un área de drenaje hasta un punto de su cauce principal, incluyendo su dimensión vertical debido a los componentes subsuperficial y subterráneo de la escorrentía. De esta manera, la cuenca fluvial queda físicamente definida y con una unidad que la caracteriza como sistema hidrológico. Las cuencas fluviales y lacustres son unidades naturales desde el punto de vista territorial, de manera que los continentes y países son ordinariamente descritos en función de sus regiones naturales y cuencas hidrográficas, más que por las unidades político administrativas que puedan contener.

Una visión esquemática de la cuenca como sistema hidrológico se presenta en la Figura 1, donde se identifican las entradas y salidas de agua. La precipitación es la principal entrada de agua y pueden ser significativas las entradas por condensación en forma de rocío y escarcha y por intercepción de nubes y nieblas. Además está la capacidad humana de transferir agua de una cuenca a otra. La escorrentía es el producto hídrico de la cuenca y la evapotranspiración es el agua devuelta a la atmósfera en forma de vapor. Ambos procesos son contrapuestos porque a mayor evapotranspiración menor será la escorrentía. La deforestación, el desarrollo agrícola y urbano, la desertificación y el cambio climático impactan ambas variables y también a las entradas de agua.



Figura 1. Sistema hidrológico cuenca fluvial.

Al interior del sistema ocurren diferentes formas de almacenamiento de agua como son los cuerpos de agua superficiales y los acuíferos, así como una serie de procesos relativos a la movilidad del agua, propios del ciclo hidrológico, como el escurrimiento, la infiltración, la absorción radicular, el ascenso capilar, la percolación y los flujos subsuperficiales y subterráneos; también los cambios de estado físico y químico del agua y su aprovechamiento para las actividades humanas.

Ecuaciones de balance hídrico de cuencas hidrográficas.

Para la cuenca como sujeto de balance hídrico se puede particularizar la ecuación (1) como:

$$\Delta S = \Delta S_s + \Delta H + \Delta G = (P_p + C) - (Q + E_t) \pm M \quad (3)$$

En este caso, ΔS se descompone en las variaciones de almacenamiento correspondientes al agua en la superficie, ΔS_s ; en el suelo, ΔH ; y en el subsuelo, ΔG . Luego, P_p es el ingreso de agua por precipitación, C es el agua atmosférica condensada que es captada en forma de rocío, escarcha e interceptada por el follaje en contacto con nubes o nieblas; Q es la escorrentía o agua que fluye

por el cauce principal a la salida de la cuenca delimitada, E_t es la entrega de vapor de agua a la atmósfera por causa de la evaporación y la transpiración procedentes del suelo y su cobertura vegetal; y M es el ingreso o egreso neto de agua a la cuenca, $+M$ y $-M$, respectivamente, debido a la transferencia hidráulica entre cuencas vecinas o distantes.

La ecuación (3) es aplicable para meses sucesivos de años particulares y promedios mensuales. Las unidades ordinarias del balance son de volumen de agua, como el m^3 y sus múltiplos el Hm^3 y el Km^3 ; o unidades de lámina de agua sobre la cuenca, como el m y sus submúltiplos el cm y el mm . Ambas unidades están referidas a la unidad de tiempo, ya sea por mes o por año.

Cuando se considera el balance promedio anual de un número suficiente de años, la variación de almacenamiento, ΔS , se hace cero y la ecuación (3) se reduce a la ecuación (4) que se muestra en la Figura 2, junto a la visualización de entradas y salidas de la cuenca antes indicadas en la Figura 1.

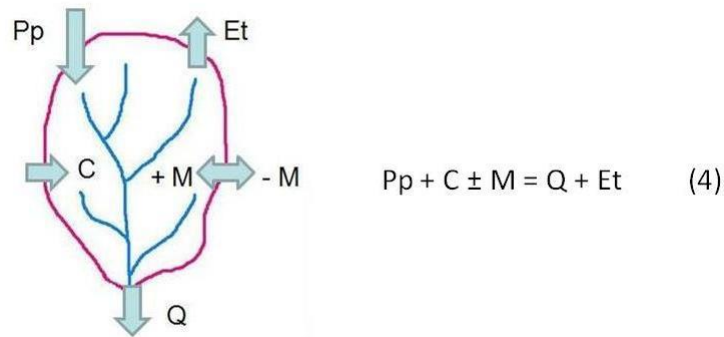


Figura 2. Variables y ecuación del balance promedio de una cuenca.

Si no existe la componente por transferencia hidráulica, la ecuación anterior se simplifica:

$$P_p + C = Q + E_t \quad (5)$$

Sin embargo, es frecuente despreciar C , quedando la ecuación más sencilla y conocida:

$$P_p = Q + E_t \quad (6)$$

Si la cuenca está instrumentada hidrológicamente para conocer P_p y Q , la incógnita de la ecuación (6) es la E_t correspondiente al conjunto de coberturas vegetales y usos de la tierra.

No obstante, la metodología de UNESCO (1981 y 1982) establece que:

$$P_p - (Q + E_t) = \delta \quad (7)$$

donde δ es una discrepancia que resulta del cálculo independiente de P_p , Q y E_t , de manera que se requiere un método para estimar la E_t diferente al del balance hídrico, como son los métodos de Penman, Thornthwaite y Turc.

Ahora bien, cuando se desconoce Q , se le estima como:

$$Q = P_p - E_t \quad (8)$$

Expresiones de la escorrentía media anual.

La escorrentía promedio de una cuenca se puede expresar de cualquiera de las maneras siguientes:

1. Como caudal promedio anual o gasto medio anual, Q , en unidades de m^3/s ó l/s .
2. Como volumen escurrido anual, Q_v , en unidades de $m^3/año$, $hm^3/año$ ó $km^3/año$.
3. Como lámina escurrida anual, Q_L , en unidades de $m/año$, $cm/año$ ó $mm/año$.

Para una estación hidrométrica dotada con registrador de niveles o pluviógrafo se determinan los caudales diarios con una curva mira – gasto. Luego se elabora el registro de caudales mensuales y anuales. El caudal medio anual, Q , se calcula promediando los caudales anuales o como promedio ponderado de las medias mensuales. Luego se obtiene el volumen de escorrentía anual para:

$$\begin{aligned} \text{Cuenclas grandes: } Q_v (\text{km}^3/\text{año}) &= Q (\text{m}^3/\text{s}) * 31.557.600 (\text{s}/\text{año}) / 10^9 (\text{m}^3/\text{km}^3) \\ &= Q (\text{m}^3/\text{s}) * 0,0315576 (\text{km}^3\text{s}/\text{m}^3\text{año}) \quad (9a) \end{aligned}$$

$$\text{y cuencas pequeñas: } Q_v (\text{hm}^3/\text{año}) = Q (\text{m}^3/\text{s}) * 31,5576 (\text{hm}^3\text{s}/\text{m}^3\text{año}) \quad (9b)$$

Así como la lámina de escorrentía anual:

$$\begin{aligned} Q_L (\text{cm}/\text{año}) &= Q_v/A = Q (\text{m}^3/\text{s}) * 31.557.600 (\text{s}/\text{año}) * 100 (\text{cm}/\text{m}) / (A(\text{km}^2) * 10^6 \text{m}^2/\text{km}^2) \\ &= (Q (\text{m}^3/\text{s}) / A(\text{km}^2)) * 3.155,76 (\text{s cm km}^2/\text{m}^3 \text{año}) \quad (10) \end{aligned}$$

Ejemplos de balance hídrico promedio anual de cuencas hidrográficas.

Ejemplo 1. Balance promedio para la cuenca del valle de Ciudad de México, basado en cifras de Lafragua et al (2003), citado en UNESCO (2006). Interpretando dicho balance, las variables involucradas y sus montos expresados en $\text{hm}^3/\text{año}$ son los siguientes:

Entradas:	Precipitación,	$P_p = 6.449$
	Importación de agua de cuencas vecinas,	$M = 601$
Salidas:	Evaporación de cuerpos de agua,	$E_v = 447$
	Evapotranspiración,	$E_t = 4.655$
	Escorrentía,	$Q_v = 1.861$
Discrepancia:		$\delta = 87$

Ecuación particular: $P_p + M = E_v + E_t + Q_v + \delta = 7.050$

Ejemplo 2. Balance hídrico de cuencas uruguayas representativas según IMFIA – DNH (2001). Aquí se selecciona la cuenca del río Yi en Durazno, cuya extensión es de 8.750 km^2 . La aplicación de la ecuación (7), expresando las variables en $\text{mm}/\text{año}$, da los resultados siguientes:

Entradas:	Precipitación, $P_p = 1.234$	
Salidas:	Escorrentía, $Q_L = 484$	y evapotranspiración, $E_t = 745$
Discrepancia:	$\delta = P_p - Q_L - E_t = 5$	

Ejemplo 3. Balance hídrico de cuencas costarricenses según UNESCO (2007). Se escoge la cuenca de los ríos Reventazón – Parismina de 2.956 km^2 . Se aplica la ecuación (7), expresada en $\text{cm}/\text{año}$:

Entradas:	Precipitación, $P_p = 357$	
Salidas:	Escorrentía, $Q_L = 262$	y evapotranspiración, $E_t = 97$
Discrepancia:	$\delta = P_p - Q_L - E_t = -2$	

Indicadores del rendimiento hídrico de una cuenca fluvial.

Se puede comparar la esorrentía generada por las cuencas en términos de productividad de agua y de eficiencia para producirla. De esta manera se puede evaluar el rendimiento o vocación hídrica de estos sistemas hidrológicos en función de dos indicadores: el módulo de esorrentía anual, ME, y el coeficiente de esorrentía media anual, CE, los cuales se calculan como:

$$ME \text{ (l/s/km}^2\text{)} = Q \text{ (m}^3\text{/s)} * 1000 \text{ (l/m}^3\text{)} / A \text{ (km}^2\text{)} \quad (11)$$

$$CE \text{ (\%)} = 100 * Q_L \text{ (cm)} / P_p \text{ (cm)} \quad (12)$$

$$= 100 * Q_v \text{ (m}^3\text{)} / V_p \text{ (m}^3\text{)} \quad (13)$$

donde V_p es el volumen promedio anual de agua precipitada sobre la cuenca.

Matemáticamente se puede verificar que ME es directamente proporcional a Q_L , o sea:

$$ME = k_0 Q_L, \quad (14)$$

donde la constante de proporcionalidad k_0 vale 0,3169, si ME se expresa en l/s/km² y Q_L en cm/año. Por lo tanto, Q_L es un indicador alternativo de productividad. En la Tabla 1 se interpretan ambas variables en categorías equivalentes, propuestas acá para nuestro medio tropical.

Tabla 1. Interpretación del módulo de esorrentía y de la lámina escurrida.

ME (l/s/km ²)	Productividad	Q_L (cm/año)
Hasta 7,9	Muy baja	0 a 24
8,0 a 15,9	Baja	25 a 49
16,0 a 31,9	Mediana	50 a 99
32,0 a 47,9	Alta	100 a 149
48,0 o más	Muy alta	150 ó más

Igualmente se propone una interpretación de CE para el neotrópico, que se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Interpretación del coeficiente de esorrentía anual.

CE (%)	Eficiencia
Hasta 14,9	Muy baja
15,0 a 29,9	Baja
30,0 a 44,9	Mediana
45,0 a 59,9	Alta
60,0 o más	Muy alta

Si el aporte de agua condensada, C, es significativo, como ocurre en la Cordillera de Mérida según Castillo y López (2009) y Azuaje y Cárdenas (2012), se le estima como una fracción k de la Pp, o sea:

$$C = k Pp, \quad (15)$$

Luego se calcula un coeficiente de escorrentía corregido:

$$CE' (\%) = 100 Q_L / (Pp (1 + k)) \quad (16)$$

METODOLOGÍA PARA EL BALANCE HÍDRICO DE CUENCAS FLUVIALES

Balance hídrico promedio anual para una cuenca con divisiones hidrográficas.

La metodología del balance hídrico que se aplica a los tres niveles de análisis considerados exige registros hidrométricos y que las cuencas se dividan en grandes regiones hidrográficas y luego se subdividan en subcuencas y áreas restantes, o directamente en subcuencas.

La razón de esta división obedece al principio que dice “el todo es el conjunto de todas sus partes”, o sea, que para conocer el funcionamiento hidrológico de una cuenca debe inferirse el de cada una de sus partes o subsistemas hidrológicos, considerando particularidades fisiográficas y climáticas. Así, cada parte o subsistema i – ésimo es un sujeto de balance hídrico bajo las premisas siguientes:

$$Q_T = \sum Q_i \quad (17)$$

$$A_T = \sum A_i \quad (18)$$

$$A_T Pp_T = \sum (A_i Pp_i) \quad (19)$$

$$Et_i = Pp_i - Q_{Li} \quad (20)$$

$$ME_i = Q_i / A_i \quad (21)$$

$$CE'_i = 100 Q_{Li} / (Pp_i + C_i), \quad C_i \geq 0 \quad (22)$$

donde Q_T es el caudal medio anual ajustado a una estación hidrométrica, Q_i es el caudal promedio de cada subcuenca y sector que aporta escorrentía a la estación en cuestión, A_T es el área de drenaje hasta esa estación, A_i es el área de cada subcuenca y sector, que a su vez tienen una precipitación media Pp_i , una evapotranspiración media Et_i y una lámina escurrida anual Q_{Li} ; C_i es el posible aporte de agua condensada. Además se calculan los indicadores ME_i y CE'_i de cada área.

Las ecuaciones (17) y (18) verifica la suma de los caudales medios y de las áreas definidas por la sectorización hidrográfica. La ecuación (19) refiere la distribución del volumen precipitado total en cada parte y la ecuación (20) es el balance particular de las divisiones hidrográficas.

Para resolver las ecuaciones (17) y (19) se adopta un método de aproximaciones sucesivas de las Q_i y Pp_i , usando hoja de cálculo y comparando los resultados de las E_{ti} , ME_i y CE_i hasta llegar a una solución aceptable. Los datos iniciales del problema son A_T , las A_i , una Q_T susceptible de ajustes y unas Pp_i preliminares, que en los niveles de análisis 2 y 3 resultan de un mapa isoyético.

Ejemplos de balance hídrico de cuencas fluviales con división hidrográfica simple.

Ejemplo 1. Río con dos estaciones hidrométricas: caso del río Apure en Bruzual y en San Fernando, en que el área hasta Bruzual es el sector superior y el área entre Bruzual y San Fernando el inferior. Datos aproximados para cada estación se presentan en la Tabla 3, mientras que los valores A_2 , Q_2 y Pp_2 del sector inferior entre ambas estaciones se obtienen con las ecuaciones (17), (18) y (19).

Tabla 3. Valoración hidrológica básica para una división de la cuenca apureña.

Variable	Hasta Bruzual	Sector inferior	Hasta San Fernando
Área (km ²)	$A_1 = 43.000$	$A_2 = 74.000$	$A_T = 117.000$
Caudal (m ³ /s)	$Q_1 = 1.400$	$Q_2 = 1.100$	$Q_T = 2.500$
Precipitación (cm/año)	$Pp_1 = 216$	$Pp_2 = 167$	$Pp_T = 185$

El sector superior contiene los ríos Uribante, Sarare, Caparo, Canaguá, Santo Domingo y Masparro, mientras el inferior contiene al río Portuguesa y sus tributarios. Ésta es la situación frecuente en que el sector superior de la cuenca, siendo más montañoso, es más lluvioso que el inferior, en consecuencia, el primero ostenta mejores indicadores de rendimiento hídrico que el segundo. Los resultados se presentan en la Tabla 4 relativos a la evapotranspiración e indicadores obtenidos.

Tabla 4. Valoración hidrológica complementaria para una división de la cuenca apureña.

Variable	Hasta Bruzual	Sector inferior	Hasta San Fernando
Q_L (cm/año)	$Q_{L1} = 103$	$Q_{L2} = 47$	$Q_{LT} = 67$
E_t (cm/año)	$E_{t1} = 113$	$E_{t2} = 120$	$E_{tT} = 118$
ME (l/s/km ²) Productividad	$ME_1 = 33$ Alta	$ME_2 = 15$ Baja	$ME_T = 21$ Media
CE (%) Eficiencia	$CE_1 = 48$ Alta	$CE_2 = 28$ Baja	$CE_T = 36$ Media

Ejemplo 2. Ríos confluyentes: caso de los ríos Caroní y Paragua hasta su confluencia, cubierta desde 1985 por las colas del embalse de Guri. Una síntesis hidrológica de un balance más detallado (Silva, 2006) se indica en la Tabla 5. Se estiman las áreas y los promedios anuales de caudal y precipitación. Las otras variables se obtienen con las ecuaciones antes mencionadas. Son notables la elevada escorrentía y la muy alta eficiencia y productividad hídricas exhibidas por las subcuencas que surten al embalse. El río Paragua resulta un poco más caudaloso que el Caroní.

Tabla 5. Valoración hidrológica de la confluencia Caroní - Paragua.

Variable	Subcuenca Caroní	Subcuenca Paragua	Cuenca conjunta
A (km ²)	42.000	37.025	79.025
Q (m ³ /s)	2.400	2.450	4.850
Pp (cm/año)	301	331	315
Q _L (cm/año)	180	209	194
Et (cm/año)	121	122	121
ME (l/s/km ²)	57	66	61
CE (%)	60	63	61

Ejemplo 3. De nuevo la muy lluviosa cuenca costarricense Reventazón – Parismina, diferenciando la cuenca alta del río Reventazón hasta Pascua y reconociendo en ella una entrada adicional de agua condensada, C, del orden del 10 % de la precipitación media anual. La valoración hidrológica con la evapotranspiración calculada por balance se muestra en la Tabla 6. La altitud media de la cuenca hasta Pascua es del orden de los 1.600 m. El cálculo de todas las variables para el sector inferior se realiza mediante las ecuaciones (17) a la (22). Se diferencia ahora el comportamiento hidrológico entre las partes alta y baja de la cuenca en todas las variables, quedando la cuenca total con un ingreso de agua condensada del orden del 5 %, incidiendo en el cálculo de la Et final.

Tabla 6. Balance hídrico para una división de la cuenca Reventazón – Parismina, Costa Rica.

División hidrográfica	A (km ²)	Pp (cm)	C (cm)	Q _L (cm)	Q/A (l/s/km ²)	Q (m ³ /s)	Et (cm)	CE' (%)
Cuenca hasta Pascua	1.673	330	33	275	87,1	145,8	88	75,8
Sector inferior	1.283	392	0	245	77,6	99,6	147	62,5
Cuenca total	2.956	357	19	262	83,0	245,4	114	69,7

LA GRAN CUENCA DEL RÍO ORINOCO COMO CASO DE ESTUDIO DE NIVEL 1.

Descripción general de la cuenca.

Ubicación y extensión. La cuenca internacional del río Orinoco se encuentra al norte de Sudamérica y de la línea ecuatorial, ocupando 1.009.000 km² de territorio venezolano y colombiano, más parte de la zona reclamada a Guyana. En Venezuela se halla entre 1º 32' y 10º 19' N y 59º 48' y 72º 26' O; en Colombia se ubica entre las coordenadas 1º 26' y 7º 26' N y 67º 18' y 74º 54' O.

Del área total de la cuenca 652.000 km² corresponden a Venezuela, incluida la subcuenca Guanipa; 348.000 km² constituyen la Orinoquia colombiana y 9.000 Km² a las subcuencas Amacuro y Barima en la zona bajo reclamación. Estas subcuencas figuran en el mapa de la cuenca del Orinoco presentado por Córdoba y González (2007). En Sudamérica el área de la cuenca orinoquense sólo es superada por la gigantesca amazónica con 6.915.000 km², la mayor del mundo y que incluye la del río Madeira con 1.390.000 km²; y también por la platense con 3.100.000 km².

La cuenca se extiende por 17 estados venezolanos: Amazonas, Bolívar, Apure, Táchira, Mérida, Trujillo, Barinas, Portuguesa, Lara, Yaracuy, Cojedes, Carabobo, Aragua, Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro; y 11 departamentos colombianos: Meta, Guaviare, Vaupés, Guainía, Vichada, Boyacá, Cundinamarca, Casanare, Arauca, Santander y Norte de Santander.

Límites. Hidrográficamente la cuenca del río Orinoco limita al norte con las vertientes atlánticas del mar Caribe y golfos de Venezuela y Paria, al noroeste con la cuenca del lago de Maracaibo y al oeste con la del río Magdalena; al sur con las cuencas amazónicas de los ríos Negro y Caquetá y al este con el océano Atlántico y las cuencas esequibas de los ríos Cuyuní y Mazaruni.

Ciertas particularidades limítrofes son dignas de mencionar, empezando por el alto Orinoco, donde está la bifurcación del Brazo Casiquiare que comunica la cuenca orinoquense con la amazónica, por lo que el punto de difluencia hace de límite hidrográfico. Se desconoce la antigüedad de esta interconexión fluvial, reconocida por Humboldt en 1800 y observada antes por el fraile Román en 1744, cuando en el Casiquiare se encontró con portugueses que provenían del Brasil, lo que motivó una expedición española de límites realizada por don José de Iturriaga entre 1754 y 1761.

Respecto al norte de la cuenca, el Lago de Valencia desaguó hacia el Orinoco hasta principios del siglo XVIII porque el nivel y la extensión de aquél eran muy elevados. Luego el espejo del agua debió disminuir por el deterioro de las condiciones hidrológicas de la cuenca lacustre, hasta que en 1978 el río Cabrales de Valencia, que drenaba a la cuenca del río Orinoco, fue desviado al lago valenciano para no contaminar la fuente del nuevo acueducto de entonces, dejando la ciudad fuera de la cuenca y ocasionando el incremento paulatino del nivel del lago hasta hoy día.

Otra situación se presenta desde 1965 al oeste del delta cuando, por una visión desarrollista del saneamiento de tierras, el flujo del caño Mánamo fue alterado con un dique construido cerca de

Tucupita, lo que disminuyó drásticamente el caudal del caño. En consecuencia, se ha producido un desastre ecológico de salinización de aguas, de acidificación de suelos y mayores inundaciones de otros caños, diezmando y desplazando a la etnia warao. Por la misma razón pareciera que el río Guanipa no es afluente del mermado caño Mánamo sino de las aguas saladas del Golfo de Paria y por ello ese río ha sido excluido de la cuenca orinoquense con frecuencia, pero bajo condiciones hidrológicas originales, y morfológicamente, el Guanipa es un afluente deltaico.

Del lado oriental del delta está el río Barima, que desemboca en la boca de Río Grande. Casi toda la cuenca del Barima y una porción de la del Amacuro están en la zona que Venezuela reclama a Guyana y pertenecen a la hoya orinoquense.

Finalmente, el dinámico frente atlántico del delta avanza lentamente en su expansión natural por la acumulación de los sedimentos fluviales que rellenan el fondo costero y colonizan los manglares, lo que a muy largo plazo uniría a la isla de Trinidad con el continente sudamericano.

Áreas referenciales. Molero y Volcán (1965) presentan un mapa de la cuenca del Orinoco, escala 1: 1.000.000, con subdivisiones cuyas áreas se resumen en la Tabla 7, la cual también incluye datos tomados de Rosales et al (2010). En dicha tabla se excluye la subcuenca Guanipa. Otras áreas referenciales de cuencas parciales y subcuencas son dadas por COPLANARH (1969) y MOP (1972).

Tabla 7. Superficie de la cuenca del río Orinoco por sectores según otros autores.

Molero y Volcán (1965)	A (km²)	Rosales, Suarez y Lasso (2010)	A (km²)
Venezuela	643.481	Alto Orinoco	103.825
Colombia	345.340	Guaviare – Inírida	137.231
Total	988.821	Atabapo	12.943
Región deltaica	65.155	Meta	108.304
Llanos orientales y centrales	39.004	Entre Guaviare y Meta	80.474
Apure	137.812	Cinaruco y Capanaparo	32.483
Sur del Apure	81.728	Arauca	36.328
Meta	78.418	Apure – Portuguesa	115.655
Sur del Meta	105.490	Guárico y Guariquito	33.703
Guaviare	144.146	Otros de la margen izq.	40.739
Alto Orinoco y Atabapo	117.884	Varios hasta Suapure	39.181
Antes del Cuchivero	42.251	Cuchivero – Guainiamo	17.623
Cuchivero	13.214	Caura	49.829
Caura	49.787	Entre Caura y Caroní	23.438
Entre Caura y Caroní	23.263	Caroní	92.811
Caroní	91.752	Región deltaica (incompleta)	49.147
Total	989.904	Total	973.714

Al tratar más adelante el balance hídrico de la cuenca orinoquense, se presentan allí las áreas aproximadas de regiones hidrográficas, divididas éstas en subcuencas y áreas complementarias.

Población. En la Tabla 8 se indica la población presente por cada entidad federal venezolana y colombiana, estimada en base a proyecciones de población municipal para el año 2015 realizadas por el Instituto Nacional de Estadística de Venezuela, INE, a partir del XIV Censo Nacional de Población y Vivienda del 2011; y las realizadas para el mismo año por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia, DANE, a partir del Censo General 2005.

Tabla 8. Población al 2015 de la cuenca del río Orinoco por división político territorial.

Nº	Estados venezolanos	Habitantes	% en Ven	Hab. en Venezuela y % en la cuenca		9.152.202	80,89
1	Bolívar (parcial)	1.638.646	17,90	Hab. de Venezuela y % en cuenca		30.620.438	29,89
2	Lara (parcial)	1.411.364	15,42	Nº	Departamentos colombianos	Habitantes	% en Col
3	Portuguesa	992.905	10,85	1	Meta	961.334	44,24
4	Barinas	881.339	9,63	2	Casanare	356.479	16,41
5	Táchira (parcial)	813.111	8,88	3	Arauca	262.315	12,07
6	Guárico (parcial)	707.194	7,73	4	Boyacá (parcial)	188.068	8,66
7	Apure	568.903	6,22	5	Cundinamarca (parcial)	159.390	7,34
8	Anzoátegui (parcial)	395.810	4,32	6	Guaviare (parcial)	87.530	4,03
9	Cojedes	345.673	3,78	7	Vichada	71.974	3,31
10	Carabobo (parcial)	306.740	3,35	8	Norte de Santander (parcial)	39.893	1,84
11	Yaracuy (parcial)	201.392	2,20	9	Guanía (parcial)	31.189	1,44
12	Aragua (parcial)	189.785	2,07	10	Santander (puntual)	3.543	0,16
13	Delta Amacuro	188.533	2,06	11	Vaupés (parcial)	845	0,04
14	Monagas (parcial)	180.783	1,98	Hab. en Colombia y % en la cuenca		2.162.560	19,11
15	Amazonas (parcial)	173.048	1,89	Hab. de Colombia y % en cuenca		48.203.405	4,49
16	Trujillo (parcial)	101.683	1,11	Hab. en la cuenca del río Orinoco		11.314.762	100,00
17	Mérida (parcial)	55.293	0,60	Hab. de ambos países y % en cuenca		78.823.843	14,35

A título comparativo, la Orinoquia venezolana tiene 9.152.202 habitantes en el 2015 y una superficie de 652.000 km², resultando una densidad de 14,0 hab/km²; mientras que la Orinoquia colombiana tiene 2.162.560 habitantes en el 2015 y una superficie de 348.000 km², resultando una densidad de 6,2 hab/km². La parte venezolana es el 71,1 % del área nacional y tiene el 29,9 % de su población, mientras que la parte colombiana es el 30,5 % del área nacional y tiene sólo el 4,5 % de su población. Estas cifras reflejan una marcada asimetría en cuanto a la significación regional de la Orinoquia, que es mayor para Venezuela en todos los sentidos, no sólo territorial y demográfica sino también fisiográfica, hidrológica, energética y mineral, más la venezolanidad del río Orinoco.

A la margen izquierda del Orinoco se encuentran íntegros y contiguos los estados Apure, Barinas, Portuguesa y Cojedes y los departamentos del Meta, Vichada, Casanare y Arauca, conformando dos bloques occidentales y predominantemente llaneros. En 2015 el bloque venezolano tiene 2.788.820 habitantes en 141.700 km² con 19,7 hab/km², mientras que el bloque colombiano tiene 1.652.102 habitantes en 254.335 km² con 6,5 hab/km², densidad tres veces menor que la anterior.

Ambos casos, el general y el particular, ilustran la baja ocupación de la tierra en la Orinoquia colombiana, fenómeno que también ocurre en la región deltaica y la margen derecha venezolanas.

Ciudades principales. En la Tabla 9 se indican las ciudades de la cuenca que tienen más de 40.000 habitantes. Su población se calcula según las proyecciones al 2015 del INE venezolano y el DANE colombiano, para parroquias y municipios que conforman cada ciudad.

Tabla 9. Ciudades más pobladas de la cuenca del río Orinoco para el año 2015.

Nº	Ciudad	País	Estado o Depart.	Región del país respectivo	Habitantes
1	Barquisimeto - Cabudare	Ven	Lara	Depresión larense	1.257.899
2	Ciudad Guayana	Ven	Bolívar	Guayana	877.547
3	Villavicencio	Col	Meta	Llanos occidentales	484.471
4	Ciudad Bolívar	Ven	Bolívar	Guayana	399.625
5	San Cristóbal - Táriba	Ven	Táchira	Andes	389.564
6	Acarigua – Araure	Ven	Portuguesa	Llanos noroccidentales	341.815
7	Barinas	Ven	Barinas	Llanos suroccidentales	334.498
8	El Tigre - El Tigríto	Ven	Anzoátegui	Llanos y mesas orientales	288.834
9	San Fernando - Biruaca	Ven	Apure	Llanos suroccidentales	224.606
10	Guanare	Ven	Portuguesa	Llanos noroccidentales	182.251
11	Calabozo	Ven	Guárico	Llanos centrales	153.015
12	San Juan de Los Morros	Ven	Guárico	Centro norte	145.146
13	Tocuyito	Ven	Carabobo	Centro norte	143.111
14	Yopal	Col	Casanare	Llanos occidentales	139.736
15	Valle de La Pascua	Ven	Guárico	Llanos centrales	138.359
16	San Carlos	Ven	Cojedes	Llanos noroccidentales	109.342
17	Tinaquillo	Ven	Cojedes	Centro norte	105.376
18	Upata	Ven	Bolívar	Guayana	104.887
19	Puerto Ayacucho	Ven	Amazonas	Guayana	104.150
20	Yaritagua	Ven	Yaracuy	Centro norte	103.295
21	Villa de Cura	Ven	Aragua	Centro norte	95.836
22	Arauca	Col	Arauca	Llanos del norte	88.481
23	Tucupita	Ven	Delta Amacuro	Delta del Orinoco	80.313
24	Rubio	Ven	Táchira	Andes	79.150
25	Acacias	Col	Meta	Llanos occidentales	68.888
26	Socopó	Ven	Barinas	Llanos suroccidentales	67.756
27	San José del Guaviare	Col	Guaviare	Llanos del sur	64.555
28	Boconó	Ven	Trujillo	Andes	63.066
29	Caicara del Orinoco	Ven	Bolívar	Guayana	62.285
30	Granada	Col	Meta	Llanos occidentales	62.209
31	Altagracia de Orituco	Ven	Guárico	Centro norte	61.296
32	Guasqualito	Ven	Apure	Llanos suroccidentales	57.633
33	Tame	Col	Arauca	Llanos del norte	52.768
34	Villa Bruzual (Turén)	Ven	Portuguesa	Llanos noroccidentales	51.867
35	Nirgua	Ven	Yaracuy	Centro norte	50.594
36	Ciudad Bolivia	Ven	Barinas	Llanos suroccidentales	47.557
37	Saravena	Col	Arauca	Llanos del norte	47.203
38	Barinitas	Ven	Barinas	Andes	47.132
39	Santa Bárbara	Ven	Barinas	Llanos suroccidentales	42.076
40	Araucita	Col	Arauca	Llanos del norte	41.309
41	Píritu	Ven	Portuguesa	Llanos noroccidentales	40.900
42	Achaguas	Ven	Apure	Llanos suroccidentales	40.055
33 ciudades venezolanas					6.290.836
9 ciudades colombianas					1.049.620

Las 42 ciudades presentadas suman 7.340.720 habitantes, que equivalen al 64,9 % de la población de la cuenca. De esa suma, las 33 ciudades venezolanas comprenden el 85,7 % y las 9 colombianas el 14,3 % restante. Por otra parte, las 33 ciudades venezolanas tienen el 68,7 % de la población de la Orinoquia venezolana y una población promedio de 190.631 habitantes; mientras que las 9 ciudades colombianas tienen el 48,5 % de la población de la Orinoquia colombiana y una población promedio de 116.624 habitantes, resultando esta Orinoquia menos urbanizada que la venezolana.

Sólo dos ciudades son metrópolis con más de 500 mil habitantes: Barquisimeto y Ciudad Guayana. La primera se encuentra al noroccidente de la cuenca y la segunda es ribereña del bajo Orinoco y cercana al delta. En 2015 Barquisimeto tenía 1.065.918 habitantes, a los que se suman 191.981 de la vecina y unida Cabudare. En cambio, Ciudad Guayana está dividida en dos urbes por el río Caroní antes de su desembocadura en el Orinoco: la oriental, que es San Félix con 540.954 habitantes y se muestra en la foto de la Figura 3; y la occidental, la moderna Puerto Ordaz con 336.593 habitantes. Ambas están interconectadas vialmente por dos puentes y la presa de Macagua II. Desde 2006 Puerto Ordaz cuenta con el puente mixto carretero ferroviario Orinokia sobre el río Orinoco.

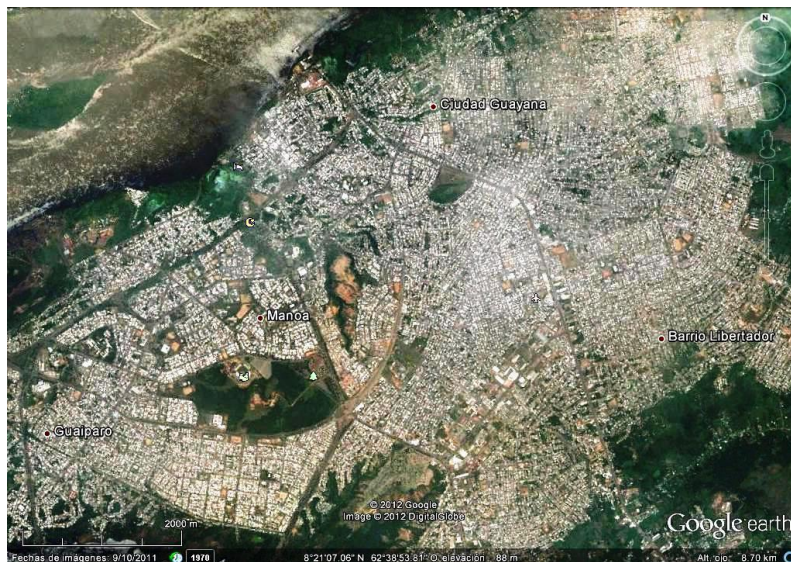


Figura 3. San Félix, la urbe más poblada de Ciudad Guayana.

Sigue en la tabla un grupo de 6 ciudades de 250 mil a 500 mil habitantes de importancia regional: Villavicencio, la puerta de entrada de Los Llanos cercana a Bogotá; Ciudad Bolívar, capital histórica de la Guayana venezolana, que se muestra en la foto de la Figura 4 y cuenta desde 1967 con el primer puente sobre el río Orinoco; San Cristóbal, la mayor urbe de Los Andes venezolanos, próxima a la frontera colombo venezolana; Acarigua y Barinas, distantes 150 km entre sí y unidas por la autopista José Antonio Páez, son las principales ciudades llaneras del país y se encuentran al borde de los fértiles Llanos occidentales; y El Tigre, ciudad oriental ligada al desarrollo de la Faja Petrolífera del Orinoco, situada a 150 Km del Mar Caribe y 120 km al NO de Ciudad Bolívar.

Continúa un grupo de 12 ciudades intermedias entre 100.000 y 250.000 habitantes, de las cuales sólo Puerto Ayacucho es ribereña del Orinoco y cuenta con 1.112 km navegables hasta el Océano Atlántico. Cierra la Tabla 8 un lote de 22 ciudades pequeñas entre 40.000 y 100.000 habitantes, de las cuales sólo es ribereña Caicara del Orinoco, donde se encuentra en construcción el puente mixto MERCOSUR, que también va a enlazar a Puerto Ayacucho con el norte del país. Desde Caicara hasta el Atlántico hay un canal de navegación para buques grandes de 777 km de longitud.

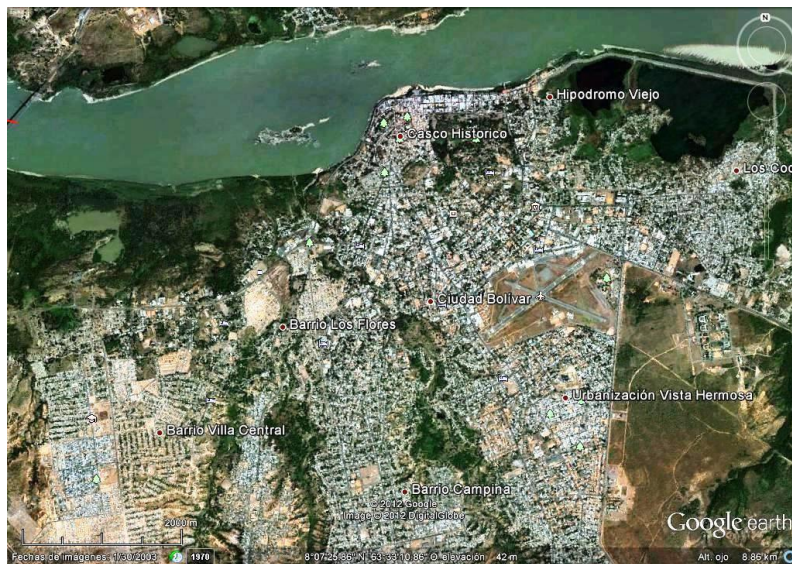


Figura 4. Ciudad Bolívar, capital del estado homónimo, en el sitio de Angostura.

Las mismas ciudades de la Tabla 9 se ordenan latitudinal y longitudinalmente en la Tabla 10. Las venezolanas, excepto Puerto Ayacucho, se hallan por encima de la latitud 07º 00' y las colombianas por abajo de 07 º 30'. La mayor distancia es la existente entre Granada y Tucupita con 1.430 km.

Tabla 10. Ubicación latitudinal de las principales ciudades en la cuenca del río Orinoco.

Franja latitudinal (LN)	Ciudades ordenadas de oeste a este
10º 00' a 10º 30'	Barquisimeto, Yaritagua, Nirgua, Tocuyito, Villa de Cura
09º 30' a 10º 00'	Acarigua, San Carlos, Tinaquillo, San Juan de Los Morros, Altagracia de Orituco
09º 00' a 09º 30'	Boconó, Guanare, Píritu, Villa Bruzual, Valle de La Pascua, Tucupita
08º 30' a 09º 00'	Barinitas, Barinas, Calabozo, El Tigre
08º 00' a 08º 30'	Socopó, Ciudad Bolivia, Ciudad Bolívar, Ciudad Guayana, Upata
07º 30' a 08º 00'	Rubio, San Cristóbal, Santa Bárbara de Barinas, Achaguas, San Fernando de Apure, Caicara del Orinoco
07º 00' a 07º 30'	Arauquita, Arauca, Guasdalito
06º 00' a 07º 00'	Saravena, Tame
05º 00' a 06º 00'	Yopal, Puerto Ayacucho
04º 00' a 05º 00'	Villavicencio
03º 00' a 04º 00'	Acacias, Granada
02º 00' a 03º 00'	San José de Guaviare

Regiones naturales. En la cuenca se diferencian seis regiones naturales. La región de los Llanos se halla a la margen izquierda del Orinoco, desde que el río inicia frontera con Colombia hasta el delta, ocupando 42 % de la superficie total. Los Llanos de la Orinoquia son 60 % venezolanos y 40 % colombianos. En tanto que los estados Amazonas, Bolívar y sur del Delta Amacuro conforman la región Guayana, que comprende toda la margen derecha del río Orinoco, abarcando 35 % del área total. Completan la cuenca las selvas suroccidentales del Atabapo y el Guaviare ubicadas en la margen izquierda, región mayoritariamente colombiana; los Andes colombo venezolanos, el delta del Orinoco y vertientes de la cordillera de la Costa, representando 15 %, 5 %, 2 % y el 1 % de la cuenca, respectivamente.

Riqueza petrolera y minera. En la cuenca se encuentran enormes yacimientos petroleros, gasíferos y mineros, particularmente en la Orinoquia venezolana, que se concentran en las dos regiones que se muestran en la Figura 5. La Zona de Desarrollo Estratégico Nacional de la Faja Petrolífera del Orinoco, FPO, “Hugo Chávez”, fue oficializada en el Decreto N° 2.242 del 19 de febrero de 2016 con 64.157,874 km², mientras que la Zona de Desarrollo Estratégico Nacional Arco Minero del Orinoco, AMO, lo fue en el Decreto N° 2.248 del 24 de febrero de 2016 con 111.843,70 km². Cada zona comprende cuatro áreas de producción, todas ubicadas en la cuenca del Orinoco excepto gran parte del Área 4 minera que se encuentra en la cuenca del río Cuyuní, tributario del río Esequibo.

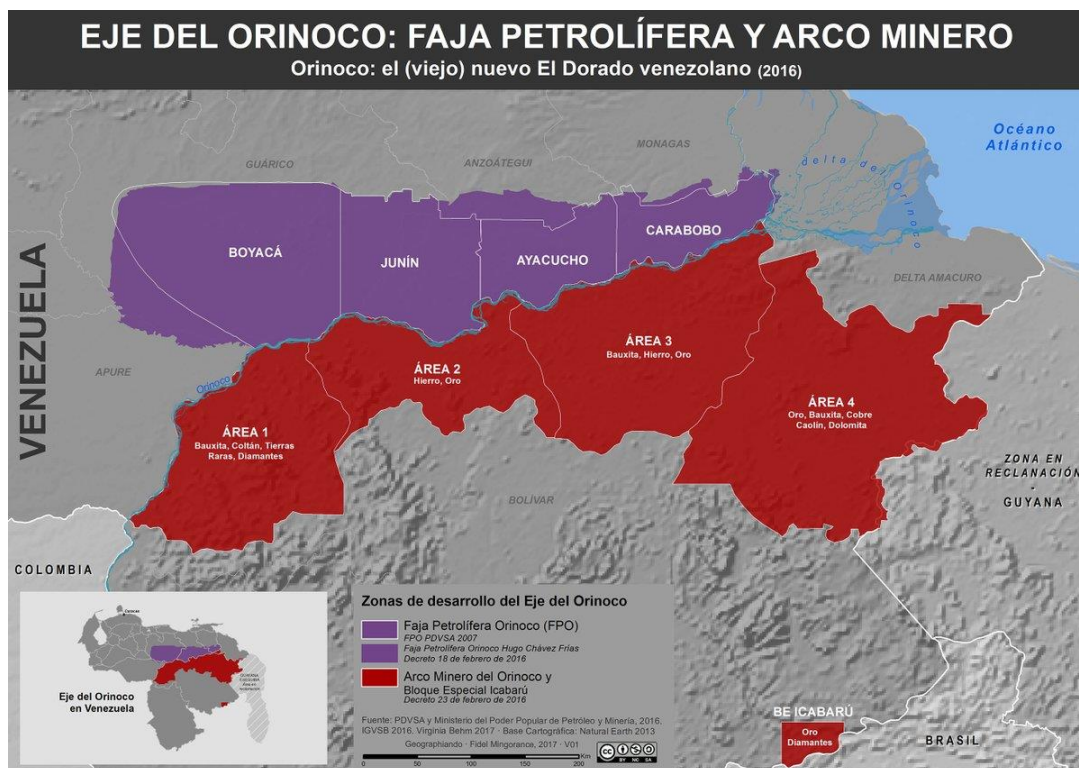


Figura 5. Faja Petrolífera del Orinoco Hugo Chávez y Arco Minero del Orinoco.
(Fuente: Fidel Mingorance: [Geographiando @Geographiando](#) 28 abr 2017)

De acuerdo a información oficial de la estatal Petróleos de Venezuela, PDVSA, los niveles de las reservas probadas de crudo para el año 2015 son de 300.878 millones de barriles, la mayor reserva petrolera del planeta, de los cuales 270.703 pertenecen a la FPO y 1.088 a Barinas – Apure. Desde 1914 hasta 2015 se han producido en Venezuela 70.166 millones de barriles, correspondiendo al 2015 una producción de 2.863.000 barriles diarios, de los cuales 1.265.000 fueron de la FPO.

Por otra parte el Arco minero es rico en hierro, bauxita, oro y diamantes, más grandes cantidades de caolín, coltán, cobre, dolomita y de tierras raras. Importantes reservas de estos elementos y minerales están por certificar. Para 2017 se estableció una meta de 7 ton de producción de oro y hasta noviembre de ese año se habían incorporado a las bóvedas del Banco Central de Venezuela 5.992 kg de oro en lingotes, producidos en el AMO por mineros del estado Bolívar.

Nacimiento y tramos del río Orinoco. El río Orinoco es el que nace en el cerro Delgado Chalbaud del estado Amazonas, independientemente de los afluentes que en su desembocadura puedan aportar mayor caudal y/o longitud que el propio Orinoco, como ocurre con los ríos Ventuari y Guaviare; nacimiento determinado en 1951 por una expedición venezolana con acompañantes franceses, dirigida por el mayor Franz Rísquez Iribarren. Es el mismo Orinoco que reconocieron Gumilla (1741), Humboldt (1807) y Codazzi (1841) y es en principio un río venezolano.

El origen de este río sirvió de tema para la novela *El soberbio Orinoco*, del escritor francés Julio Verne, publicada por primera vez en 1898, al expresar al principio de su obra:

“Este famoso río del sur de América, principal arteria de Venezuela, ¿se dirigía en su curso superior de Este a Oeste, como los mapas más recientes señalaban, o venía del Sudoeste, y en este caso, el Guaviare o el Atabapo no debían ser considerados como afluentes?” (Verne, 1999, pág. 7)

En cuanto a las subdivisiones del río hay mayor consenso con la propuesta de Codazzi (1841), seguida por Vila (1960), de considerar el Orinoco como un arco y dividirlo según tres direcciones principales. Así el primer tramo que fluye en sentido oeste y noroeste se denomina alto Orinoco y concluye antes de la desembocadura conjunta de los ríos Atabapo y Guaviare, tras la cual el Orinoco coge rumbo norte para dar comienzo al Orinoco medio. Luego de la afluencia de los ríos Apure y Guárico continúa el bajo Orinoco en sentido noreste y este hasta el ápice deltaico. La forma de arco la da el resistente escudo guayanés y tanto el Orinoco medio como el bajo separan la región guayanesa de la llanera. Dos capitales municipales de importancia geográfica e histórica, cuales son San Fernando de Atabapo y Caicara del Orinoco, también hacen de límite a los tramos del gran río. El citado novelista francés se hizo eco de los mismos tramos hidrográficos:

“Capital del Medio Orinoco podría llamarse La Urbana. Es el pueblo más importante, entre Caicara y San Fernando de Atabapo, situados cada uno en los dos ángulos formados por el río; el primero, en el sitio en que abandona la dirección Oeste para tomar la Norte; el segundo, en el punto en que abandona la dirección Norte para tomar la del Este.” (Verne 1999, pág. 57).

Regiones hidrográficas. En la Figura 6 se presentan las regiones hidrográficas que corresponden a cada tramo del río Orinoco, cuyos datos relevantes se presentan en la Tabla 11. Las regiones del alto y bajo Orinoco son venezolanas, mientras que el Orinoco medio lo comparten Colombia y Venezuela, siendo en el primer país donde llaman “Orinoquia” a esa gran área situada a la margen izquierda del Orinoco. La región deltaica incluye una porción que Venezuela reclama a Guyana.

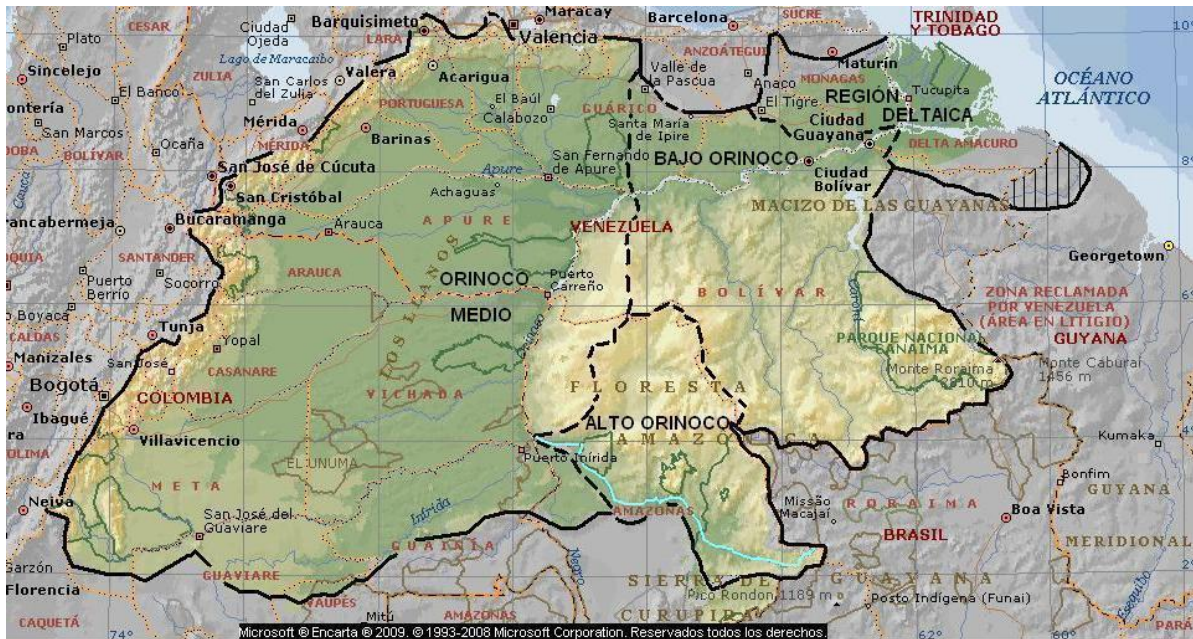


Figura 6. Regiones hidrográficas de la cuenca del río Orinoco.

Tabla 11. Regiones hidrográficas de la cuenca del río Orinoco y sus principales tributarios.

Región	Superficie		20 mayores tributarios en orden de afluencia, caudales medios superiores a 200 m ³ /s
	(km ²)	(%)	
Alto Orinoco	102.000	10,1	Ocamo, Padamo, Cunucunuma, Ventuari
Orinoco medio	602.000	59,7	Atabapo, Guaviare, Vichada, Sipapo, Tomo, Meta, Cinaruco, Capanaparo, Arauca, Apure, Guárico
Bajo Orinoco	223.000	22,1	Suapure, Cuchivero, Caura, Aro, Caroní
Deltaica	82.000	8,1	Caños mayores: Río Grande, Macareo y Mánamo, éste con un caudal regulado de apenas 250 m ³ /s
Total	1.009.000	100,0	

Todos los afluentes principales del alto y bajo Orinoco se encuentran en la margen derecha del río, mientras que los del Orinoco medio se hallan en su margen izquierda, excepto el Sipapo. Algunos de los afluentes principales tienen tributarios importantes, como son el Inírida para el Guaviare, el Casanare para el Meta, el Portuguesa para el Apure, el Orituco para el Guárico, el Guainiamo para el Cuchivero, el Erebató para el Caura y el Paraguarí para el Caroní.

El Atabapo y el Guaviare figuran como afluentes independientes del Orinoco en virtud de una singularidad hidrográfica, histórica y geopolítica. El hecho hidrográfico consiste en que aquéllos

confluyen en San Fernando de Atabapo apenas 3 km antes de llegar al Orinoco, siendo mayor el Guaviare por su cuenca y caudal, aunque no lo es en anchura en ese sitio. Además la confluencia conserva la dirección hacia el norte que tiene el Atabapo y que continúa el Orinoco. Lo histórico estriba en que los habitantes de San Fernando siempre han llamado Atabapo al río que desemboca en el Orinoco, de manera que el Guaviare no le llega al Orinoco sino al Atabapo. Lo geopolítico reside en que el Guaviare es un río colombiano y el Atabapo es un río fronterizo. Por tanto es más práctico tratar por separado ambos ríos y considerar una trifluencia, como lo es de tres aguas distintas: las claras del Orinoco, las amarillas del Guaviare y las negras del Atabapo. También se trata como trifluencia la desembocadura de los ríos Apure y Guárico, igual con sentido práctico.

Longitud y perfil longitudinal. El río Orinoco tiene 2.110 km de longitud hasta un punto ubicado al noroeste del Faro de Barima. La Tabla 12 cuantifica los parámetros del perfil del río. Las distancias al océano Atlántico de las principales ciudades ribereñas son de 288 km para Ciudad Guayana, 390 km para Ciudad Bolívar, 777 km para Caicara y 1.112 km para Puerto Ayacucho.

Tabla 12. Longitudes y pendientes del río Orinoco por tramos.

Tramo fluvial	Sitio del río	Cota * (msnm)	Distancia (km)	Progresiva (km)		Pendiente media (%)
				Normal	Inversa	
Alto Orinoco 798 km	Cº Delgado Chalbaud	800	-	0	2.110	-
		200	155	155	1.955	0,3871
	Platanal	140	120	275	1.835	0,0500
	Boca de Mavaca	120	57	332	1.778	0,0351
	Sta. María de Ocamo	111	42	374	1.736	0,0214
	Boca de Padamo	109	15	389	1.721	0,0133
	La Esmeralda	103	53	442	1.668	0,0113
	Tamatama (difluencia)	99	40	482	1.628	0,0100
	Boca de Cunucunuma	97	22	504	1.606	0,0091
	Boca de Ventuari	78	205	709	1.401	0,0093
Boca de Atabapo	71	79	788	1.322	0,0089	
Orinoco medio 545 km	Boca de Vichada	64	107	895	1.215	0,0065
	Isla Ratón y Boca de Sipapo	63	14	909	1.201	0,0071
	Pto. Nuevo - Samariapo	61	19	928	1.182	0,0105
	Maipures abajo	56	11	939	1.171	0,0455
	Boca de Tomo	55	8	947	1.163	0,0125
	Atures arriba	52	38	985	1.125	0,0079
	Puerto Ayacucho	46	13	998	1.112	0,0462
	Boca de Meta	41	76	1.074	1.036	0,0066
	El Jobal	35	108	1.182	928	0,0056
	La Urbana	33	35	1.217	893	0,0057
Boca de Apure	29	89	1.306	804	0,0045	
Caicara	28	27	1.333	777	0,0037	
Bajo Orinoco 549 km	Boca de Caura	21	169	1.502	608	0,0041
	Puente Angostura	11	213	1.715	395	0,0047
	Boca de Caroní	7	107	1.822	288	0,0037
	Inicio del delta	5	60	1.882	228	0,0033
Delta 228 km **	Atlántico	0	228	2.110	0	0,0022

* Aproximada **Distancia medida por el caño Río Grande y el brazo Imataca hasta el frente atlántico.

Con las cotas tabuladas, sujetas a revisión, se intenta referir el nivel medio del río en cada sitio identificado. En el medio y bajo Orinoco el río suele tener anualmente una variación de niveles de alrededor de una decena de metros. En tanto, las distancias están medidas con el programa libre de Google Earth. Las cotas medias y sus respectivas progresivas se utilizan para graficar el perfil de la Figura 7. En el alto Orinoco la convexidad del perfil es notoria, reflejando un cambio más marcado a la altura de Santa María de Ocamo; mientras que el Orinoco medio muestra sendos quiebres correspondientes a los grandes raudales de Maipures y Atures.

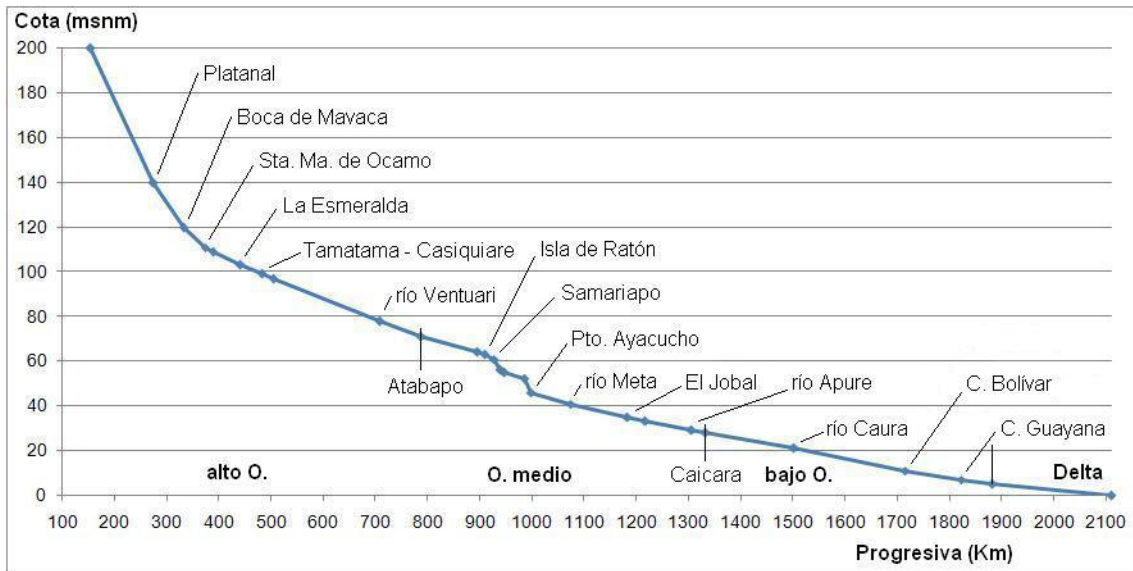


Figura 7. Perfil longitudinal del río Orinoco con subdivisión en tramos y sitios.

Navegación. Los principales obstáculos para la navegación en el río Orinoco son los citados raudales de Atures y Maipures, situados entre Puerto Ayacucho y Samariapo. Estos obstáculos se solventaron con una carretera de 60 km existente entre ambas poblaciones, cuya construcción se inició en 1924 con la fundación de Puerto Ayacucho.

Pendientes medias de cauce no superiores a 0,01 % son favorables para la navegación en el alto Orinoco, lo que determina una ruta fluvial principal de 350 km de longitud entre San Fernando de Atabapo y La Esmeralda. Esta ruta se conecta con los ríos Ventuari y Manapiare hasta San Juan de Manapiare y con el río Casiquiare hacia San Carlos de Río Negro y los grandes puertos brasileños de Manaos, Santarém y Belem do Pará con salida abierta al Atlántico.

Aguas abajo de San Fernando de Atabapo existe un canal de navegación natural de 124 km de longitud hasta Isla de Ratón, que se prolonga por 19 km más hasta Samariapo. Luego de salvar los raudales, continúa la ruta fluvial de 1.112 km entre Puerto Ayacucho y el Atlántico, que se conecta con los ríos Meta, Apure y Caura. El canal principal con dragado y balizaje empieza en El Jobal, puerto de embarque de la bauxita extraída de Los Pijiguaos. Este canal mide 928 km hasta el Atlántico y presenta pendientes a nivel medio menores de 0,006 %, o sea, menores a 6 cm de

desnivel por km de recorrido. Su tramo final de 288 km desde Matanzas en Puerto Ordaz es transitado por buques oceánicos, como el que se observa en la foto de la Figura 8. La conexión del bajo Orinoco con el río Apure constituye el eje Orinoco – Apure.



Figura 8. Buque Thor Shanghai en Matanzas y puente Orinokía (Captain Peter, 2007, shipspotting.com).

Desde 1973 se celebra en Venezuela el rally internacional anual *Nuestros ríos son navegables*, que durante una semana de agosto y/o septiembre realiza una ruta sobre el río Orinoco y varios de sus afluentes principales de ambas márgenes.

Clima. Para esta descripción se utilizan las categorías climáticas definidas por Silva (2010). En el Alto Orinoco, que es exclusivo del estado Amazonas, predomina el clima muy cálido y muy lluvioso propio del Orinoco entre La Esmeralda y San Fernando de Atabapo y también del bajo Ventuari, con precipitaciones entre 280 y 330 cm/año. El relieve hace menos cálido el clima en las montañas de Parima, de Unturán y del Ventuari y en los cerros Duida y Marahuaca, donde se mantiene una alta pluviosidad aunque menor en la sierras de Parima y Unturán. Sólo la cima tabular del Marahuaca, que con 2.840 msnm es el tepuy más alto de toda la cuenca, presenta un excepcional clima frío y aún lluvioso para su altitud. Al sur del paralelo 3^º N no hay estación seca pero sí la hay hacia el norte, como es en la subcuenca Ventuari, comprendida entre las latitudes 4^º y 6^º N.

En la Orinoquia colombiana ocurren las máximas precipitación al pie de la Cordillera Oriental y la Serranía de La Macarena que oscilan entre 400 y 500 cm/año, como en Villavicencio donde el clima es cálido y pluvial y llueve casi todo el año. En la Cordillera el clima llega a ser acentuadamente gélido y poco lluvioso en la Sierra Nevada del Cocuy, donde están los mayores glaciares que persisten en la cuenca orinoquense entre los 4.800 y 5.300 m de altitud. Por otra parte, los Llanos colombianos son lluviosos, con láminas entre 180 y 300 cm/año y estación lluviosa entre abril y

octubre, que se alarga en dirección oeste y sur. En las selvas meridionales del Guaviare e Inírida el clima es muy cálido y muy lluvioso, con corta o inexistente estación seca.

En la margen izquierda del Orinoco medio venezolano las mayores precipitaciones ocurren en las montañas bajas de la Cordillera de Mérida cercanas a Socopó en Barinas, las de Guaramacal en Portuguesa y aguas abajo del embalse del Uribante en Táchira, sitios donde llueve más de 330 cm/año, con clima que además de pluvial es cálido a fresco. Los Llanos son muy cálidos y de estación seca marcada entre noviembre y abril, con la lluviosa durante los seis meses restantes pero los montos pluviométricos varían: los centro occidentales, entre Barinas y Calabozo, y los del norte del estado Apure, son moderadamente lluviosos con 120 a 160 cm/año; los sur occidentales, más cercanos a la cordillera andina, y los del sur apureño son los más lluviosos con 160 a 230 cm/año; y los del norte y noreste de Calabozo son poco lluviosos con 90 a 120 cm/año. La menor precipitación de esta margen y de toda la cuenca ocurre en la depresión barquisimetana, que separa el sistema andino del costero, que recibe de 50 a 60 cm de lluvia al año, resultando un clima cálido y escasamente lluvioso que propicia un ambiente semiárido y xerofítico.

En el Orinoco medio guayanés, la precipitación a orillas del Orinoco varía entre 300 cm/año en San Fernando de Atabapo y 155 cm/año en Caicara, con tendencia a aumentar en dirección a las cabeceras de los afluentes Sipapo, Parguaza y Suapure. De manera que el clima es muy cálido y moderadamente lluvioso al norte hasta fresco y muy lluvioso hacia el sur, en especial la subcuenca Sipapo de mayor extensión montañosa y con espectaculares cerros aislados como el Autana.

En la margen izquierda del bajo Orinoco, la subcuenca del río Manapire recibe precipitaciones de 90 cm/año al norte y 140 cm/año al sur, siendo su clima predominantemente muy cálido y poco lluvioso, al igual que el del resto del sector. En contraste, en el bajo Orinoco guayanés la subcuenca Caura es la más lluviosa de toda la cuenca. La menor precipitación se produce en Ciudad Bolívar con 100 cm/año. Los núcleos lluviosos superan los 400 cm/año y están en las subcuencas Caroní y Caura. La precipitación máxima de este sector y de toda la cuenca es de 550 cm/año al norte del extenso Auyán tepuy, donde se halla el salto de agua más alto del mundo, el Kerepökupaí Wena o salto Ángel. La subcuenca Caura presenta climas de muy cálido a cálido y de muy lluvioso a pluvial. En la subcuenca Caroní el clima es muy variado: muy cálido y moderadamente lluvioso en el embalse de Guri, cálido y muy lluvioso a pluvial hacia el sur, pero en la Gran Sabana y los tepuyes el clima es fresco a templado, incluso frío en las cimas más altas, y moderadamente lluvioso a pluvial.

La región deltaica es muy cálida, excepto la zona próxima a la serranía de Imataca, que es menos cálida, y la zona montañosa del curso alto del río Amaná de la subcuenca Guanipa, que llega a ser fresca y templada. La pluviometría regional es más variada: en la costa deltaica y en el caño Mánamo es moderadamente lluviosa, en el delta intermedio o central y al sur del caño Río Grande es lluviosa y al oeste del caño Mánamo es poco lluviosa.

Preliminares del balance hídrico promedio anual de la cuenca del río Orinoco.

Resultados previos. Un balance inicial resulta de Molero y Volcán (1965) para el período 1951 - 60, con isoyetas elaboradas para toda la cuenca de 989.904 km² que arrojaban una precipitación media anual de 272 cm/año; mientras que la escorrentía está dada por la suma de los promedios del Orinoco en Ciudad Bolívar y del río Caroní, resultando un caudal medio anual de la cuenca de 30.945 m³/s, equivalente a 31 l/s/km². “Las pérdidas” por evapotranspiración ascendían a:

$$Et = Pp - Q = 272 - 99 = 173 \text{ cm/año}$$

O bien, expresado en unidades de volumen:

$$Et = Pp - Q = 2.690 - 980 = 1.710 \text{ km}^3/\text{año}$$

En consecuencia, escurría 36 % de lo precipitado y evapotranspiraba el 64 %.

COPLANARH (1969) presenta el primer balance hídrico a nivel nacional, dividiendo el país en 12 grandes regiones hidrográficas, de las cuales las regiones 4, 5, 7, 8, 9, 10 y 11 comprenden la cuenca del río Orinoco. La Tabla 13 muestra resultados de ese balance promedio, obteniendo Q con la ecuación (8), después de estimar la Pp por el método isoyético y la Et por el método de Turc. El coeficiente de escorrentía tabulado es calculado con la ecuación (12).

Tabla 13. Balance hídrico de la Orinoquia venezolana según COPLANARH (1969).

Observaciones:	Resultados presentados por COPLANARH					Resultados complementarios		
	A (km ²)	Pp (mm/año)	Q _L = Pp - Et (mm/año)	Q _V (hm ³ /año)	CE	Q (m ³ /s)	Q/A (l/s/km ²)	Et (mm/año)
Llanos centro occidentales	143.832	1.572	362	52.065	0,230	1.651	11,5	1.210
Sur del Apure	68.652	1.770	332	22.778	0,187	722	10,5	1.439
Centro oriental	39.342	1.355	123	4.839	0,091	153	3,9	1.232
Deltaica	67.270	1.217	144	9.705	0,119	308	4,6	1.073
Guayana oriental	113.993	2.398	1.214	138.426	0,506	4.389	38,5	1.184
Guayana occidental	88.015	2.722	1.386	121.956	0,509	3.867	43,9	1.336
Territorio Amazonas	134.812	3.188	1.620	218.454	0,508	6.927	51,4	1.568
Total en Venezuela	655.916	2.173	866	568.224	0,399	18.018	27,5	1.307

Este primer balance de alcance nacional arroja la mejor estimación que se pudo hacer para un momento en que la información hidrológica en la cuenca del río Orinoco era deficiente, puesto que el período utilizado por COPLANARH fue el 1958 – 1967. La escorrentía generada en Venezuela es:

$$Q_L = Pp - Et = 2.173 - 1.307 = 866 \text{ mm/año}, \quad Q = 18.018 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por tanto escurre esta vez el 40 % de lo precipitado con una productividad de 27,5 l/s/km².

UNESCO (1979) presenta un balance hídrico mundial donde figuran las principales cuencas fluviales de Sudamérica, en el que la orinoquense tiene un área de 1.000.000 de km², una precipitación de 199 cm/año y un caudal de 29.100 m³/s. La lámina escurrida y la evapotranspirada equivalían a 91 y 96 cm/año, respectivamente. La evapotranspiración no es obtenida por diferencia entre precipitación y esorrentía, ya que las tres variables son calculadas de forma independiente, de manera que hay una discrepancia:

$$\delta = Pp - Q - Et = 199 - 91 - 96 = 12 \text{ cm/año}$$

En esta versión resulta una esorrentía equivalente a 46 % de lo precipitado y a 29 l/s/km², mientras que la evapotranspiración que se obtendría por balance es de 108 cm/año.

Silva (2005) presenta un balance hídrico promedio para la cuenca y las subcuencas del río Orinoco, tomando por base el caudal medio de 14.834 m³/s resultante del registro histórico 1964 – 1992 en Puerto Ayacucho, del cual se extrapola para la cuenca de 1.000.000 de km² un caudal medio hasta el Atlántico de 35.000 m³/s, equivalente a 1.104 km³/año y 111 cm/año, más una precipitación estimada en 229 cm/año, resultando una evapotranspiración:

$$Et = 229 - 111 = 118 \text{ cm/año}$$

En consecuencia, el Orinoco produce 35 l/s/km² y escurre 48 % de lo precipitado.

Bases del nuevo balance hídrico. Se divide la cuenca orinoquense en regiones, subcuencas y otras áreas y se aplican las ecuaciones desde la (17) hasta la (22) bajo las condiciones siguientes:

1. Se toma como referencia los 20 años del período 1970 – 1989, del cual se dispone de mayor información hidrométrica del río Orinoco y de sus afluentes venezolanos.
2. Se consideran tres estaciones hidrométricas principales: Tamatama, Puerto Ayacucho y Angostura, que se ubican en el alto, el medio y el bajo Orinoco, respectivamente.
3. Los caudales medios históricos son susceptibles de ser modificados durante el desarrollo del balance hasta un máximo de $\pm 5 \%$ para dar una flexibilidad necesaria al análisis.
4. El balance se realiza progresivamente desde el alto Orinoco hasta la región deltaica pero puede volver atrás para hacer cambios hacia aguas arriba y retomar el balance aguas abajo.
5. No hay mapa detallado de cuenca ni subcuencas por lo que las áreas son aproximadas.

Las cuatro primeras condiciones mejoran la metodología empleada por Silva (2005). Los resultados del balance dependen fundamentalmente de la distribución de caudales entre subcuencas y otros sectores y del ajuste de la precipitación media en cada uno, a través de ensayos sucesivos que

tienden a converger en una solución empírica según el criterio del analista. Para ello se emplea una hoja de cálculo que va calculando automáticamente la evapotranspiración y los indicadores de rendimiento hídrico, lo que permite hacer todas las comparaciones y rectificaciones necesarias, tomando en cuenta la diferenciación a grandes rasgos de regiones naturales y de vegetación, clima y relieve. Los cuadros resultantes por cada estación hidrométrica se denominan “balance promedio anual” por el procedimiento empleado que involucra la ecuación de balance.

La quinta condición se mantiene porque esta metodología de balance a nivel 1 para grandes cuencas no requiere un mapa detallado ni un mapa isoyético medio anual, lo que simplifica el análisis, pero sería deseable avanzar en una cartografía y una climatología más detalladas.

La evapotranspiración es menos variable que la escorrentía, puesto que a mayor precipitación la posibilidad de escurrir ha de ser mayor que la de evapotranspirar, debido a una demanda tope de la cobertura vegetal y a la capacidad de las cuencas de generar escorrentía. Sólo se puede relacionar la evapotranspiración con la vegetación si se trata de una cobertura dominante.

El cuanto a precisión, los resultados tienen dos o tres cifras significativas, que es el número de cifras que suelen tener los valores de área, precipitación y caudal, variables con las que se calculan la evapotranspiración y los indicadores de rendimiento hídrico. Sólo por sumatoria se pueden alcanzar hasta cuatro cifras significativas de áreas y caudales.

Validación de caudales promedio en estaciones hidrométricas del río Orinoco. En la Tabla 14 se anticipan los caudales medios estimados por balance para las tres estaciones hidrométricas de referencia en el río Orinoco, los cuales son comparados con los promedios históricos y se verifica a priori la premisa de que la diferencia porcentual sea menor del 5 %.

Tabla 14. Caudales promedios ajustados para el río Orinoco, período 1970 – 89.

Estaciones hidrométricas en el río Orinoco	Tramo del Orinoco	Histórico (m ³ /s)	Ajustado (m ³ /s)	Variación (%)
Tamatama (antes del Casiquiare)	Alto	1.300	1.300	0,00
Puerto Ayacucho (25 Km aguas abajo)	Medio	15.146	15.500	+ 2,34
Angostura (puente de Ciudad Bolívar)	Bajo	32.029	30.550	- 4,62

Balances hídricos por estaciones hidrométricas.

Balance promedio anual hasta Tamatama. Aquí es referencia adicional el río Orinoco en la estación Santa María de Ocamo con un promedio de 700 m³/s. Aguas abajo se produce la afluencia del gran río Padamo, que desciende del cerro Marahuaca. El balance hasta Tamatama es el de la Tabla 15. El 72 % de la escorrentía es aportada por los ríos Mavaca, Ocamo y Padamo.

Tabla 15. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta Tamatama.

N°	Subcuenas por margen del río y demás áreas	A		Pp	Q	ME	Qv		Q _L	CE	Et
		(km ²)	(%)	(cm)	(m ³ /s)	(l/s/km ²)	(km ³)	(%)	(cm)	(%)	(cm)
1	Mavaca (izq.)	5.000	13,0	240	190	38,0	6,0	14,6	120	50,0	120
2	Ocamo (der.)	9.000	23,4	205	250	27,8	7,9	19,2	88	42,8	117
3	Padamo (der.)	12.000	31,2	255	500	41,7	15,8	38,5	131	51,6	124
Subtotal afluentes		26.000	67,5	235	940	36,2	29,7	72,3	114	48,6	121
4	Aguas arriba del Ocamo	10.500	27,3	195	260	24,8	8,2	20,0	78	40,1	117
5	Aguas abajo del Ocamo	2.000	5,2	290	100	50,0	3,2	7,7	158	54,4	132
Subtotal restante		12.500	32,5	210	360	28,8	11,4	27,7	91	43,2	119
Total hasta Tamatama		38.500	100,0	227	1.300	33,8	41,0	100,0	107	47,0	120

La precipitación es creciente aguas abajo del Orinoco, pues de 250 cm/año en Santa María asciende a 275 cm/año en La Esmeralda y 330 cm/año en Tamatama. La precipitación aguas arriba de Boca de Mavaca y en la parte alta de la subcuenca Ocamo se estima menor de 200 cm/año, por efecto de sombra pluviométrica desde la Sierra de Parima.

En tanto, la evapotranspiración del bosque predominante existente aguas arriba de Tamatama es:

$$Et = Pp - Q_L = 227 - 107 = 120 \text{ cm/año,}$$

valor que promedia 10 cm mensuales. Por sectores y subcuenas el rango de variación de la Et oscila entre 115 y 132 cm/año, cumpliéndose que mayores Et corresponden a mayores Pp.

Los indicadores de rendimiento hídrico también dependen de la precipitación, exhibiendo mayor productividad y eficiencia la parte baja de esta cuenca y la subcuenca Padamo. En promedio, la precipitación es discretamente lluviosa para la latitud pero con alto rendimiento hídrico, pues escurre 47 % de lo precipitado a razón de 34 l/s/km² para un volumen escurrido de 41 km³/año.

En virtud de su mayor precipitación, la subcuenca Padamo supera los indicadores anteriores, ya que 52 % de lo precipitado se transforma en escorrentía y produce 42 l/s/km². En contraste, la subcuenca Ocamo, por su menor precipitación, está por debajo de las cifras promedio, exhibiendo un ME de 28 l/s/km² y un CE de 43 %, que significan mediana productividad y eficiencia.

Balance promedio anual hasta Puerto Ayacucho. Esta cuenca abarca todo el alto Orinoco y una parte del Orinoco medio dominada por la Orinoquia colombiana, cuyo río Guaviare es el afluente más caudaloso y el de mayor cuenca entre todos hasta el Atlántico. Entre Tamatama y Puerto Ayacucho se tiene como referencia adicional el registro parcial del río Orinoco en Guapachana, justo antes de la desembocadura del río Ventuari, con un promedio estimado de 1.950 m³/s. Además el Brazo Casiquiare promedia 315 m³/s en su inicio, de manera que 24,2 % del caudal del

río Orinoco en Tamatama es desviado a la cuenca amazónica. Por otra parte, los ríos Ventuari y Guaviare tienen sendos registros de referencia en Kanaripó y Guayare. El balance resultante se muestra en la Tabla 16 y al final se deduce la efluencia del Casiquiare.

Tabla 16. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta Puerto Ayacucho.

N°	Subcuencas por margen del río y demás áreas	A		Pp (cm)	Q (m ³ /s)	ME (l/s/km ²)	Q _v		Q _L (cm)	CE (%)	Et (cm)
		(km ²)	(%)				(km ³)	(%)			
1	Mavaca (izq.)	5.000	1,5	240	190	38,0	6,0	4,2	120	50,0	120
2	Ocamo (der.)	9.000	2,6	205	250	27,8	7,9	1,6	88	42,8	117
3	Padamo (der.)	12.000	3,5	255	500	41,7	15,8	3,2	131	51,6	124
4	Cunucunuma (der.)	6.250	1,8	305	350	56,0	11,0	2,2	177	57,9	128
5	Ventuari (der.)	42.500	12,4	300	2.300	54,1	72,6	14,5	171	56,9	129
6	Atabapo (izq. Ven - Col)	13.000	3,8	335	800	61,5	25,2	5,1	194	58,0	141
7	Guaviare (izq. Col)	141.000	41,0	300	7.200	51,1	227,2	45,5	161	53,7	139
8	Vichada (izq. Col)	32.000	9,3	235	1.000	31,3	31,6	6,3	99	42,0	136
9	Sipapo (der.)	14.000	4,1	295	750	53,6	23,7	4,7	169	57,3	126
10	Tomo (izq. Col)	26.500	7,7	220	730	27,5	23,0	4,6	87	39,5	133
Subtotal afluentes		301.250	87,6	282	14.070	46,7	444,0	89,0	147	52,3	134
11	Resto hasta Tamatama	12.500	3,6	210	360	28,8	11,4	2,3	91	43,3	119
12	Resto hasta el Ventuari	10.250	3,0	330	615	60,0	19,4	3,9	189	57,4	141
13	Del Ventuari al Atabapo	4.500	1,3	315	250	55,6	7,9	1,6	175	55,7	140
Subtotal resto alto Orinoco		27.250	7,9	273	1.225	45,0	38,7	7,7	142	52,0	131
14	Resto guayanés (der.)	4.500	1,3	255	180	40,0	5,7	1,1	126	49,5	129
15	Resto (izq. Col)	11.000	3,2	235	340	30,9	10,7	2,1	98	41,5	137
Subtotal resto Orinoco medio		15.500	4,5	241	520	33,5	16,4	3,3	106	44,0	135
Total hasta Puerto Ayacucho		344.000	100,0	279	15.815	46,0	499,1	100,0	145	52,0	134
Difluencia Casiquiare					-315		-9,9	-2,0			
Total neto					15.500		489,1	98,0			

Desde Tamatama hasta esta parte, la cuenca del Orinoco aumenta nueve veces en superficie y doce veces en escorrentía, elevando mucho su precipitación media. Sólo los ríos Ventuari y Guaviare aportan el 60 % de la escorrentía, resultando que el Orinoco promedia 4.250 m³/s luego de la afluencia del Ventuari y 12.500 m³/s después de la afluencia Atabapo - Guaviare.

La precipitación en el curso del Orinoco se mantiene entre 330 cm/año en Tamatama y 300 cm/año en San Fernando de Atabapo, para luego disminuir hasta 225 cm/año en Puerto Ayacucho. La subcuencas Ventuari, Sipapo y Guaviare presentarían núcleos lluviosos con más de 350 cm/año, asociados a sistemas orográficos. Un núcleo sería compartido por las dos primeras subcuencas y la tercera tendría el suyo en la serranía de La Macarena y al pie de la Cordillera Oriental. No obstante, la subcuenca Atabapo, con precipitaciones estimadas entre 300 y 360 cm/año y relieve poco

accidentado, resulta con la mayor precipitación media. La precipitación en la cuenca hasta Puerto Ayacucho alcanza 279 cm/año, o sea, 961 km³/año.

La escorrentía generada por esta cuenca de 344.000 Km² se estima en 15.815 m³/s, lo que significa una alta productividad de 46 l/s/km² y un volumen escurrido neto es de 489 km³/año; mientras la precipitación promedia 277 cm/año y 52 % de ella se transforma en escorrentía, lo que denota una alta eficiencia hídrica. El caudal neto en Puerto Ayacucho queda en 15.500 m³/s, debido a la difluencia. La evapotranspiración obtenida mediante balance es:

$$Et = Pp - Q_L = 279 - 145 = 134 \text{ cm/año}$$

En comparación con la cuenca hasta Tamatama, las láminas correspondientes a Pp, Q_L y Et han aumentado apreciablemente en 52, 38 y 14 cm/año, respectivamente.

Los valores de Et por subcuenca dependen además de la Pp de factores fisiográficos. La subcuenca Atabapo, que es la más lluviosa hasta Puerto Ayacucho pero además es muy cálida, boscosa y con topografía de penillanura, resulta con una elevada Et de 141 cm/año, cifra tope para esta cobertura. La subcuenca guayanesa Sipapo, también boscosa, evapotranspira 15 cm/año menos, pues al ser menos lluviosa tiene menos agua disponible para evapotranspirar y su relieve favorece más el escurrimiento. En cambio, en los Llanos orientales colombianos, las subcuencas Vichada y Tomo, aún teniendo una Pp mucho menor que las anteriores, poseen una Et intermedia a la de aquéllas porque su suelo está más expuesto a la radiación solar.

Los más altos indicadores de rendimiento hídrico los tienen las subcuencas más lluviosas, cuales son Cunucunuma, Ventuari, Atabapo, Guaviare y Sipapo, en particular por su productividad muy elevada que supera los 50 l/s/km². Las subcuencas menos lluviosas, como son Mavaca y Ocamo en el alto Orinoco, y Vichada y Tomo en la Orinoquia colombiana, generan menos de 40 l/s/km². En cuanto al coeficiente de escorrentía, éste tiende a ser mayor en las subcuencas guayanesas.

Balance promedio anual hasta Angostura. Esta cuenca incluye los Llanos de los departamentos del Vichada, Meta, Casanare y Arauca, como de los estados Apure, Barinas, Portuguesa, Cojedes, Guárico y parte de Anzoátegui; más la Guayana del estado Amazonas y una porción de ella en el estado Bolívar, abarcando el Orinoco alto y medio y una parte del bajo Orinoco. El balance correspondiente se muestra en la Tabla 17, que igual deduce al final lo que se lleva el Casiquiare.

Desde Puerto Ayacucho hasta Angostura la cuenca del Orinoco ha aumentado en 140 % su superficie y en 97 % su caudal, añadiendo tres de los seis grandes afluentes, cuales son los ríos Meta, Apure y Caura, cuyas estaciones hidrométricas de referencia son Cararabo, San Fernando y San Luis, respectivamente. Por la margen izquierda, los ríos Guaviare, Meta y Apure aportan el 46 % de la escorrentía generada por la cuenca orinoquense hasta Angostura.

Tabla 17. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta Ciudad Bolívar.

N°	Subcuenas por margen del río y demás áreas	A		Pp	Q	ME	Q _v		Q _L	CE	Et
		(km ²)	(%)	(cm)	(m ³ /s)	(l/s/km ²)	(km ³)	(%)	(cm)	(%)	(cm)
1	Alto Orinoco (bruto)	102.000	12,3	276	4.815	47,2	151,9	15,6	149	53,9	127
2	Atabapo (izq. Ven - Col)	13.000	1,6	335	800	61,5	25,2	2,6	194	58,0	141
3	Guaviare (izq. Col)	141.000	17,0	300	7.200	51,1	227,2	23,3	161	53,7	139
4	Vichada (izq. Col)	32.000	3,9	235	1.000	31,3	31,6	3,2	99	42,0	136
5	Sipapo (der.)	14.000	1,7	295	750	53,6	23,7	2,4	169	57,3	126
6	Tomo (izq. Col)	26.500	3,2	220	730	27,5	23,0	2,4	87	39,5	133
7	Meta (izq. Col - Ven)	111.000	13,4	260	4.600	41,4	145,2	14,9	131	50,3	129
8	Parguaza (der.)	4.200	0,5	255	180	42,9	5,7	0,6	135	53,0	120
9	Cinaruco (izq. Col - Ven)	12.500	1,5	195	300	24,0	9,5	1,0	76	38,8	119
10	Suapure (der.)	5.200	0,6	265	230	44,2	7,3	0,7	140	52,7	125
11	Capanaparo (i. Col-Ven)	19.500	2,4	185	430	22,1	13,6	1,4	70	37,6	115
12	Arauca (izq. Col - Ven)	33.000	4,0	205	880	26,7	27,8	2,9	84	41,1	121
13	Apure hasta S.F. (izq.)	117.000	14,1	185	2.500	21,4	78,9	8,1	67	36,4	118
14	Guárico - Aguaró (izq.)	34.500	4,2	125	360	10,4	11,4	1,2	33	26,3	92
15	Manapire (izq.)	9.000	1,1	115	85	9,4	2,7	0,3	30	25,9	85
16	Cuchivero (der.)	16.000	1,9	275	740	46,3	23,4	2,4	146	53,1	129
17	Caura (der.)	45.500	5,5	360	3.400	74,7	107,3	11,0	236	65,5	124
18	Aro (der.)	15.000	1,8	155	270	18,0	8,5	0,9	57	36,6	98
Subtotal subcuenas		750.900	90,8	248	29.270	39,0	923,7	94,8	123	49,5	125
19	Resto Colombia (izq.)	19.000	2,3	222	540	28,4	17,0	1,7	90	40,3	133
20	Resto de Apure (izq.)	5.100	0,6	165	100	19,6	3,2	0,3	62	37,5	103
21	Hasta Caicara (der.)	14.500	1,8	225	475	32,8	15,0	1,5	103	45,9	122
22	Hasta C. Bolívar (der.)	11.250	1,4	145	190	16,9	6,0	0,6	53	36,8	92
23	Hasta C. Bolívar (izq.)	26.250	3,2	120	290	11,0	9,2	0,9	35	29,1	85
Subtotal restante		76.100	9,2	172	1.595	21,0	50,3	5,2	66	38,4	106
Total hasta Ciudad Bolívar		827.000	100,0	241	30.865	37,3	974,0	100,0	118	48,8	124
Difluencia Casiquiare					-315		-9,9	-1,0			
Total neto					30.550		964,1	99,0			

La precipitación media Orinoco abajo continúa su ritmo decreciente hasta Angostura. En tanto, la precipitación media de esta cuenca disminuye 38 cm/año con respecto a la de la cuenca hasta Puerto Ayacucho, motivado principalmente a la baja precipitación del llano venezolano, pero que totaliza 2.000 km³/año. Algunos promedios pluviométricos de esta región llanera son por aproximación los siguientes: 200 cm/año en Puerto Páez; 180 cm/año en Elorza y Guasualito, 145 cm/año en Bruzual, 135 cm/año en San Fernando, 120 cm/año en Calabozo, 90 cm/año en Valle de La Pascua y 100 cm/año en Pariaguán. Por otra parte, en el bajo Orinoco guayanés la subcuenca Caura es la más lluviosa de todas con un elevado 360 cm/año, a pesar de que su máximo promedio registrado es de 380 cm/año en Santa María de Erebató; mientras que en el bajo Orinoco llanero la subcuenca Manapire es la menos lluviosa con un estimado de 115 cm/año.

La escorrentía generada por esta cuenca de 827.000 km² es de 30.865 m³/s, lo que representa una alta productividad de 37 l/s/km², con un volumen escurrido neto de 974 km³/año; mientras la precipitación promedio 241 cm/año y 49 % de ella se transforma en escorrentía, lo que indica una alta eficiencia hídrica. Luego, la evapotranspiración obtenida mediante balance es con redondeo:

$$Et = Pp - Q_L = 241 - 118 = 124 \text{ cm/año}$$

En comparación con la cuenca hasta Puerto Ayacucho, las láminas correspondientes a Pp, Q_L y Et han disminuido apreciablemente en 38, 27 y 10 cm/año, respectivamente.

En el bajo Orinoco aparecen valores de Et inferiores a 100 cm/año, debido a la baja precipitación en las subcuencas Guárico, Manapire y Aro y para el Orinoco entre Caicara y Ciudad Bolívar. En consecuencia, los más bajos indicadores de rendimiento hídrico los exhiben aquellas áreas con menor precipitación, en particular las subcuencas Guárico y Manapire más la porción que continúa aguas abajo por la margen izquierda del Orinoco; mientras que por el contrario la subcuenca Caura exhibe indicadores muy altos de 75 l/s/km² de productividad y 65 % de precipitación escurrida.

Balances hídricos complementarios.

Se infieren tres balances, igualmente importantes, que se intercalan con los anteriores. Luego se presentan resultados por regiones y países, confluencias notables y el resumen por subcuencas.

Balance promedio anual del alto Orinoco. Esta región hidrográfica pertenece al estado Amazonas y ocupa el 57 % de su superficie. Su balance se muestra en la Tabla 18.

Tabla 18. Balance promedio anual del alto Orinoco.

N°	Subcuencas por margen del río y demás áreas	A		Pp	Q	ME	Q _v		Q _L	CE	Et
		(km ²)	(%)	(cm)	(m ³ /s)	(l/s/km ²)	(km ³)	(%)	(cm)	(%)	(cm)
1	Mavaca (izq.)	5.000	4,9	240	190	38,0	6,0	3,9	120	50,0	120
2	Ocamo (der.)	9.000	8,8	205	250	27,8	7,9	5,2	88	42,8	117
3	Padamo (der.)	12.000	11,8	255	500	41,7	15,8	10,4	131	51,6	124
4	Cunucunuma (der.)	6.250	6,1	305	350	56,0	11,0	7,3	177	57,9	128
5	Ventuari (der.)	42.500	41,7	300	2.300	54,1	72,6	47,8	171	56,9	129
Subtotal afluentes		74.750	73,3	278	3.590	48,0	113,3	74,6	152	54,6	126
6	Resto hasta Tamatama	12.500	12,3	210	360	28,8	11,4	7,5	91	43,3	119
7	Tamatama al Ventuari	10.250	10,0	335	615	60,0	19,4	12,8	189	56,5	146
8	Del Ventuari al Atabapo	4.500	4,4	315	250	55,6	7,9	5,2	175	55,7	140
Subtotal restante		27.250	26,7	274	1225	45,0	38,7	25,4	142	51,7	132
Alto Orinoco		102.000	100,0	277	4.815	47,2	151,9	100,0	149	53,8	128
Difluencia Casiquiare					-315		-9,9	-6,5			
Total neto					4.500		142,0	93,5			

Desde Tamatama hasta Atabapo se incorporan 63.500 km² de cuenca y la precipitación media se incrementa en 50 cm/año. La escorrentía generada por el alto Orinoco es de 152 km³/año y sólo el río Ventuari aporta el 48 % de la misma. El alto Orinoco exhibe indicadores altos de 47 l/s/km² y 54 % y en la bifurcación del Casiquiare entrega a la cuenca amazónica el 6,5 % de su escorrentía.

Balance promedio anual hasta Caicara – puente MERCOSUR. Éste es el balance al término del Orinoco medio y se muestra en la Tabla 19 que aparece a continuación.

Tabla 19. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta Caicara.

N°	Subcuencas por margen del río y demás áreas	A		Pp	Q	ME	Q _v		Q _L	CE	Et
		(km ²)	(%)	(cm)	(m ³ /s)	(l/s/km ²)	(km ³)	(%)	(cm)	(%)	(cm)
1	Ventuari (der.)	42.500	6,0	300	2.300	54,1	72,6	8,9	171	56,9	129
2	Guaviare (izq. Col)	141.000	20,0	295	7.200	51,1	227,2	27,8	161	54,6	134
3	Meta (izq. Col – Ven)	111.000	15,8	260	4.600	41,4	145,2	17,8	131	50,3	129
4	Apure hasta S. F. (izq.)	117.000	16,6	185	2.500	21,4	78,9	9,7	67	36,4	118
Subtotal afluentes principales		411.500	58,5	255	16.600	40,3	523,9	64,1	127	50,0	127
5	Resto hasta Atabapo	72.500	10,3	273	3.315	45,7	104,6	12,8	144	52,9	129
6	Atabapo a Caicara (der.)	37.900	5,4	260	1.635	43,1	51,6	6,3	136	52,4	124
7	Colombia (izq.)	77.500	11,0	227	2.270	29,3	71,6	8,8	92	40,8	134
8	Del Meta al Apure (izq.)	70.100	10,0	195	1.710	24,4	54,0	6,6	77	39,5	118
9	Guárico – Aguaró (izq.)	34.500	4,9	125	360	10,4	11,4	1,4	33	26,3	92
Subtotal restante		292.500	41,5	223	9.290	31,8	293,2	35,9	100	45,0	123
Cuenca hasta Caicara		704.000	100,0	242	25.890	36,8	817,0	100,0	116	48,1	125
Difluencia Casiquiare					-315		-9,9	-1,2			
Total neto					25.575		807,1	98,8			

Esta cuenca de 704.000 km² genera una escorrentía bruta de 25.890 m³/s y una neta de 25.575 m³/s. Los ríos Ventuari, Guaviare, Meta y Apure aportan el 64 % de la escorrentía bruta. Las cuencas hasta Caicara y Angostura son también muy semejantes en Pp, Q_L, Et, ME y CE, pues en el área de drenaje intermedia los altos valores del Caura y del Cuchivero compensan los bajos valores de las subcuencas Manapire y Aro, así como del restante llanero y guayanés cercano al Orinoco.

Balance promedio anual hasta el océano Atlántico. El balance hasta Angostura es extrapolado a toda la cuenca para incorporar áreas importantes como la subcuenca Caroní y la región deltaica. Tal balance figura en la Tabla 20, empezando por los seis principales afluentes, tres por cada margen, los cuales aportan una suma exacta de 25.000 m³/s al gran río, es decir, justo dos tercios de la escorrentía total que genera la cuenca.

Tabla 20. Balance promedio anual para la cuenca del río Orinoco hasta el Atlántico.

N°	Subcuencas, margen del río y demás áreas	A		Pp	Q	ME	Qv		Q _L	CE	Et
		(km ²)	(%)	(cm)	(m ³ /s)	(l/s/km ²)	(km ³)	(%)	(cm)	(%)	(cm)
1	Ventuari (der.)	42.500	4,2	300	2.300	54,1	72,6	6,1	171	56,9	129
2	Guaviare (izq. Col)	141.000	14,0	300	7.200	51,1	227,2	19,2	161	53,7	139
3	Meta (izq. Col - Ven)	111.000	11,0	260	4.600	41,4	145,2	12,2	131	50,3	129
4	Apure hasta SF (izq.)	117.000	11,6	185	2.500	21,4	78,9	6,7	67	36,4	118
5	Caura (der.)	45.500	4,5	360	3.400	74,7	107,3	9,1	236	65,5	124
6	Caroní (der.)	92.500	9,2	295	5.000	54,1	157,8	13,3	171	57,8	124
Subtotal afluentes		549.500	54,5	272	25.000	45,5	788,9	66,5	144	52,9	128
7	Resto AO + Atabapo	72.500	7,2	273	3.315	45,7	104,6	8,8	144	52,9	129
8	Hasta Caicara (der.)	37.900	3,8	260	1.635	43,1	51,6	4,4	136	52,4	124
9	Hasta el Meta (izq.)	77.500	7,7	227	2.270	29,3	71,6	6,0	92	40,8	134
10	Hasta el Apure (izq.)	70.100	6,9	195	1.710	24,4	54,0	4,6	77	39,4	118
11	Hasta Caicara* (izq.)	43.500	4,3	123	445	10,2	14,0	1,2	32	26,3	91
12	Hasta Ciudad Bolívar	68.500	6,8	168	1.490	21,8	47,0	4,0	69	40,9	99
13	C. Bolívar al delta	7.500	0,7	110	60	8,0	1,9	0,2	25	23,0	85
Subtotal restante		377.500	37,4	208	10.925	28,9	344,8	29,1	91	43,9	117
15	Delta del Orinoco	23.000	2,3	180	440	19,1	13,9	1,2	60	33,5	120
16	Tigre y Morichal	14.000	1,4	120	145	10,4	4,6	0,4	33	27,2	87
17	Guanipa y Amana	10.500	1,0	130	120	11,4	3,8	0,3	36	27,7	94
18	Oeste del delta	5.500	0,5	130	65	11,8	2,1	0,2	37	28,7	93
19	Tributarios del sur	20.000	2,0	220	570	28,5	18,0	1,5	90	40,9	130
20	Zona en reclamación	9.000	0,9	240	300	33,3	9,5	0,8	105	43,8	135
Subtotal región deltaica		82.000	8,1	176	1.640	20,0	51,8	4,4	63	35,8	113
Cuenca hasta el Atlántico		1.009.000	100,0	240	37.565	37,2	1.185,5	100,0	117	48,9	123
		Difluencia Casiquiare			-315		-9,9	-0,8			
* Más el río Manapire		Total neto			37.250		1.175,5	99,2			

De Angostura al Atlántico se incorporan 182.000 km² de cuenca, incluyendo la zona reclamada, y 6.700 m³/s de caudal, totalizando una superficie de de 1.009.000 km² que aporta una escorrentía neta de 37.250 m³/s, que ratifica al Orinoco como el tercer río más caudaloso del mundo. Las cuencas hasta Angostura y el Atlántico se igualan en Pp, Q_L, Et, ME y CE, pues los altos valores del Caroní compensan los valores más bajos estimados para la región deltaica.

En términos globales, la cuenca completa del Orinoco recibe una precipitación media de 2.422 km³/año, de los cuales 1.175 km³/año llegan al Atlántico como escorrentía, 1.227 km³/año retornan a la atmósfera como evapotranspiración y 10 km³/año van a la cuenca amazónica.

Balance promedio anual por regiones hidrográficas y países. En la Tabla 21 se sintetizan valores por regiones hidrográficas, incluyendo una estimación por países. El alto y bajo Orinoco, ambos en

territorio venezolano, tienen los mejores indicadores de rendimiento hídrico gracias al dominio guayanés, más favorable al escurrimiento. Venezuela posee 64,6 % de la cuenca del Orinoco y genera 59,8 % de la escorrentía, mientras que la Orinoquia colombiana, por ser más lluviosa que la venezolana, produce 39,4 % de la escorrentía con sólo 34,5 % de la cuenca.

Tabla 21. Balance promedio anual de la cuenca del río Orinoco por regiones y países.

N°	Region hidrográfica y país	A		Pp	Q	ME	Qv		Ql	CE	Et
		(km ²)	(%)	(cm)	(m ³ /s)	(l/s/km ²)	(km ³)	(%)	(cm)	(%)	(cm)
1	Alto Orinoco (Ven)	102.000	10,1	276	4.815	47,2	151,9	12,8	149	53,9	127
2	Orinoco medio	602.000	59,7	236	21.075	35,0	665,1	56,1	110	46,9	125
	a) Total Colombia	348.000	34,5	269	14.800	42,5	467,1	39,4	134	49,9	135
	b) Venezuela	254.000	25,2	190	6.275	24,7	198,0	16,7	78	41,0	112
3	Bajo Orinoco (Ven)	223.000	22,1	259	10.035	45,0	316,7	26,7	142	54,8	117
4	Región deltaica	82.000	8,1	176	1.640	20,0	51,8	4,4	63	35,8	113
	a) Venezuela	73.000	7,2	168	1.340	18,4	42,3	3,6	58	34,4	111
	b) Zona reclamada	9.000	0,9	240	300	33,3	9,5	0,8	105	43,8	135
Total Venezuela		652.000	64,6	225	22.465	34,5	708,9	59,8	109	48,4	116
Cuenca hasta el Atlántico		1.009.000	100,0	240	37.565	37,2	1.185,5	100,0	117	48,9	123
				Difluencia Casiquiare			-315		-9,9	-0,8	
				Total neto			37.250		1.175,5	99,2	

Valoración de confluencias y balance hídrico. Siempre ha existido interés en relacionar el caudal aportante de ciertos afluentes del Orinoco con el que trae el gran río. Las figuras 9 y 10 muestran las confluencias Atabapo – Guaviare y Meta, respectivamente.



Figura 9. Trifluencia Orinoco – Atabapo – Guaviare en San Fernando y caudales medios.



Figura 10. Vista en perspectiva de la confluencia Orinoco – Meta y caudales medios.

La Tabla 22 muestra información relevante de cuatro confluencias seleccionadas. Acá se confirma la supremacía hídrica del Ventuari y el Guaviare sobre el Orinoco, al éste aportar sólo el 46 y 36 % del caudal de las confluencias respectivas, lo cual sólo quiere decir que ambos afluentes son más caudalosos en promedio y no que constituyan el cauce principal. No ocurre así en las confluencias del Meta y el Caroní, donde el Orinoco tiene amplia superioridad. En el caso del Ventuari, éste supera el caudal del Orinoco sólo de julio a noviembre, en junio y diciembre se emparejan.

Tabla 22. Parámetros hidrológicos para confluencias notables del río Orinoco.

N°	Confluencias	A		Pp	Q	ME	Qv		Ql	CE	Et
		(km ²)	(%)				(km ³)	(%)			
1	Ventuari	42.500	43,6	300	2.300	54,1	72,6	54,1	171	56,9	129
	O. arriba (total)	55.000	56,4	256	2.265	41,2	71,5		130	50,7	126
	O. arriba (neto)				1.950		61,5	45,9			
	O. abajo (neto)	97.500	100,0	275	4.250		134,1	100,0			
2	Atabapo	13.000	5,1	335	800	61,5	25,2	6,4	194	58,0	141
	Guaviare	141.000	55,1	300	7.200	51,1	227,2	57,6	161	53,7	139
	Alto O. (total)	102.000	39,8	276	4.815	47,2	151,9		149	53,9	127
	Alto O. (neto)				4.500		142,0	36,0			
O. abajo (neto)	256.000	100,0	293	12.500		394,5	100,0				
3	Meta	111.000	23,9	260	4.600	41,4	145,2	22,6	131	50,3	129
	O. arriba (total)	353.500	76,1	277	16.065	45,4	507,0		143	51,7	134
	O. arriba (neto)				15.750		497,0	77,4			
	O. abajo (neto)	464.500	100,0	273	20.350		642,2	100,0			
4	Caroní	92.500	10,0	295	5.000	54,1	157,8	14,0	171	57,8	124
	O. arriba (total)	833.250	90,0	241	30.915	37,1	975,6		117	48,7	123
	O. arriba (neto)				30.600		965,7	86,0			
	O. abajo (neto)	925.750	100,0	246	35.600		1.123,5	100,0			

A título comparativo se indican valores presentados por COPLANARH (1969) en la Tabla 23.

Tabla 23. Valoración hidrológica de confluencias notables (COPLANARH, 1969).

Nº	Confluencias	Q _v (km ³ /año)	Q (m ³ /s)	(%)
1	Ventuari	63,3	2.006	36,1
	Orinoco arriba	112,0	3.550	63,9
	Orinoco abajo	175,3	5.556	100,0
2	Guaviare – Atabapo	259,1	8.212	59,1
	Orinoco arriba	179,1	5.676	40,9
	Orinoco abajo	438,2	13.888	100,0
3	Meta	142,5	4.516	20,2
	Orinoco arriba	563,8	17.868	79,8
	Orinoco abajo	706,3	22.384	100,0
4	Caroní	128,9	4.085	12,1
	Orinoco arriba	933,5	29.585	87,9
	Orinoco abajo	1.062,4	33.670	100,0

Jerarquización de subcuencas y su balance. Los afluentes más caudalosos se presentan en la Tabla 24. El 100 % del caudal se refiere a la escorrentía total generada que es igual a 37.565 m³/s.

Tabla 24. Balance de subcuencas del Orinoco por jerarquía de los afluentes pre deltaicos.

Nº	Orinoco y afluentes pre deltaicos	Q		A		ME (l/s/km ²)	Pp (cm/año)	CE (%)	Et (cm/año)
		(m ³ /s)	(%)	(km ²)	(%)				
	Orinoco (total)	37.565	100,0	1.009.000	100,0	37,2	240	48,9	123
	Orinoco (neto)	37.250	99,2						
1	Guaviare	7.200	19,2	141.000	14,0	51,1	300	53,7	139
2	Caroní	5.000	13,3	92.500	9,2	54,1	295	57,8	124
3	Meta	4.600	12,2	111.000	11,0	41,4	260	50,3	129
4	Caura	3.400	9,1	45.500	4,5	74,7	360	65,5	124
5	Apure en S.F.	2.500	6,7	117.000	11,6	21,4	185	36,4	118
6	Ventuari	2.300	6,1	42.500	4,2	54,1	300	56,9	129
7	Vichada	1.000	2,7	32.000	3,2	31,3	235	42,0	136
8	Arauca	880	2,3	33.000	3,3	26,7	205	41,1	121
9	Atabapo	800	2,1	13.000	1,3	61,5	335	58,0	141
10	Sipapo	750	2,0	14.000	1,4	53,6	295	57,3	126
11	Cuchivero	740	2,0	16.000	1,6	46,3	275	53,1	129
12	Tomo	730	1,9	26.000	2,6	27,5	220	39,5	133
13	Padamo	500	1,3	12.000	1,2	41,7	255	51,6	124
14	Capanaparo	430	1,1	19.500	1,9	22,1	185	37,6	115
15	Guárico – Aguaro	360	1,0	34.500	3,4	10,4	125	26,3	92
16	Cunucunuma	350	0,9	6.250	0,6	56,0	305	57,9	128
17	Cinaruco	300	0,8	12.000	1,2	24,0	195	38,8	119
18	Aro	270	0,7	14.900	1,5	18,0	155	36,6	98
19	Ocamo	250	0,7	9.000	0,9	27,8	205	42,8	117
20	Suapure	230	0,6	5.200	0,5	44,2	265	52,7	125
21	Mavaca	190	0,5	5.000	0,5	38,0	240	50,0	120
22	Parguaza	180	0,5	4.200	0,4	42,9	255	53,0	120

Relaciones matemáticas basadas en la precipitación media anual.

Utilizando los resultados de los 22 afluentes anteriores más los ríos Manapire, Tigre y Guanipa, se relacionan analíticamente y gráficamente los indicadores ME y CE con la Pp, separando las subcuencas guayanesas de las de la margen izquierda del Orinoco medio y bajo. Para ambas regiones, la ecuación que mejor se ajusta para cada indicador en función de la Pp es la del tipo potencial:

$$ME = a Pp^{(1+b)} \quad 0 < b < 1 \quad (22)$$

$$CE = c Pp^b \quad (23)$$

Donde a, b y c son coeficientes. Al dividir la ecuación (22) entre la (23) resulta:

$$\begin{aligned} ME &= (a/c) Pp^{(1+b-b)} CE \\ &= (a/c) Pp (100 (Q_L / Pp)) \\ ME &= 100 (a/c) Q_L = k_0 Q_L \end{aligned}$$

lo que verifica la proporcionalidad entre ME y Q_L , establecida en la ecuación (13), así como la lógica de las ecuaciones (22) y (23). Además, también se puede expresar Et en función de Pp, pues:

$$\begin{aligned} Q_L &= ME (c / 100 a) \\ Et &= Pp - (ME (c / 100 a)) \\ &= Pp - ((a Pp^{(1+b)}) (c / 100 a)) \\ Et &= Pp (1 - (c / 100) Pp^b) \quad (24) \end{aligned}$$

Regionalización matemática para las subcuencas guayanesas. Las ecuaciones obtenidas para las 12 subcuencas guayanesas del alto, medio y bajo Orinoco, con las unidades empleadas son:

$$ME = 0,00339 Pp^{1,699} \quad (25)$$

$$CE = 1,064 Pp^{0,699} \quad (26)$$

$$Et = Pp (1 - 0,01064 Pp^{0,699}) \quad (27)$$

Las ecuaciones (25) y (26), graficadas en la Figura 11, tienen muy buena correlación estadística.

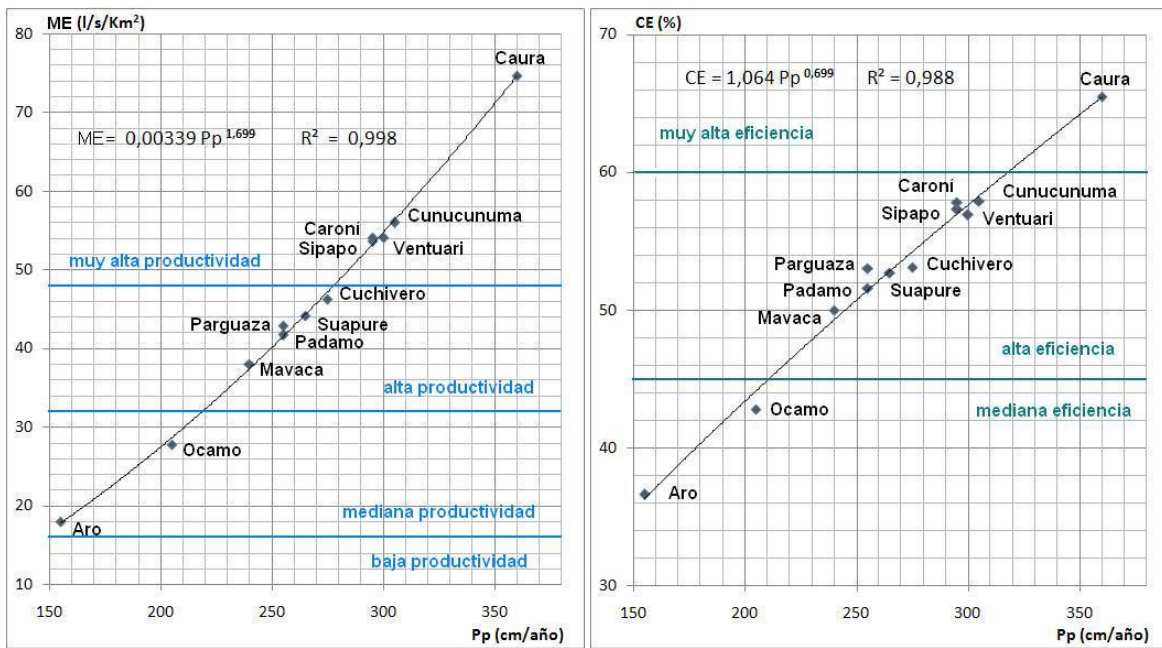


Figura 11. Relación entre indicadores hídricos y precipitación en subcuencas guayanasas.

Regionalización matemática para las otras subcuencas. Igual se procede con las otras subcuencas cuyas ecuaciones tienen igualmente muy buena correlación, como se aprecia en la Figura 12:

$$ME = 0,00212 Pp^{1,767} \quad (28)$$

$$CE = 0,668 Pp^{0,767} \quad (29)$$

$$Et = Pp (1 - 0,00668 Pp^{0,767}) \quad (30)$$

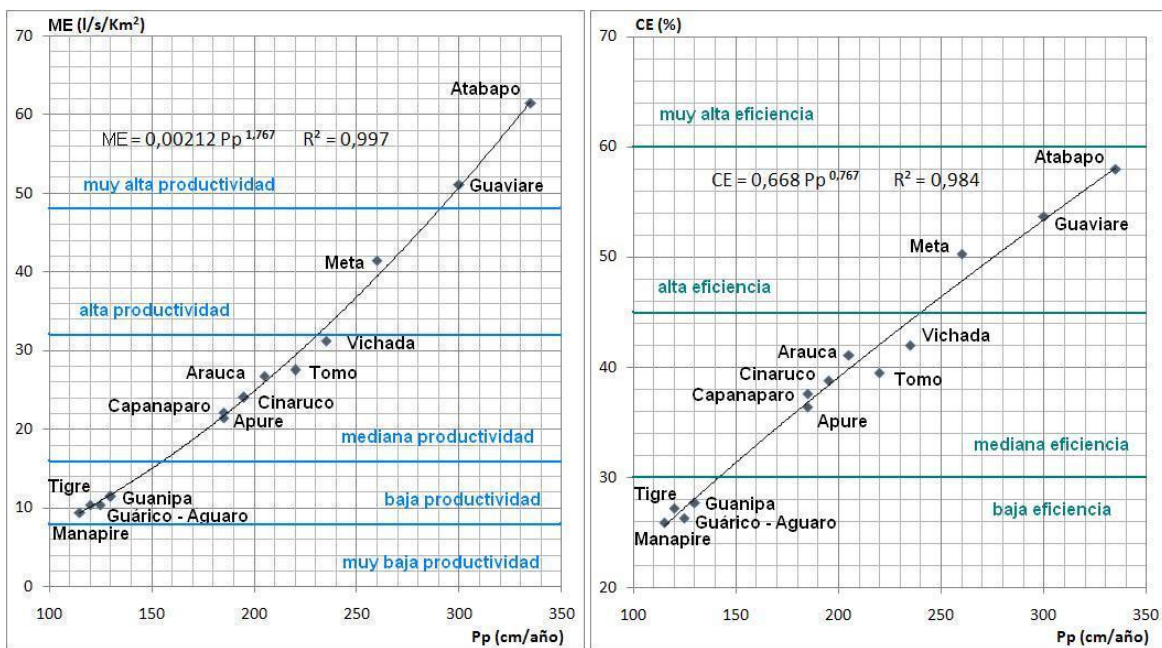


Figura 12. Relación entre indicadores hídricos y precipitación en otras subcuencas.

También se grafican las ecuaciones (27) y (30) en la Figura 13. La ecuación (27) tiene un máximo teórico de 128,823 cm/año para una Pp de 313 cm/año, equivalente a la Et estimada para las subcuencas Ventuari y Cuchivero; mientras que la ecuación (30) tiene un máximo teórico de 141,379 cm/año para una Pp de 326 cm/año, similar a la Et obtenida para la subcuenca Atabapo.

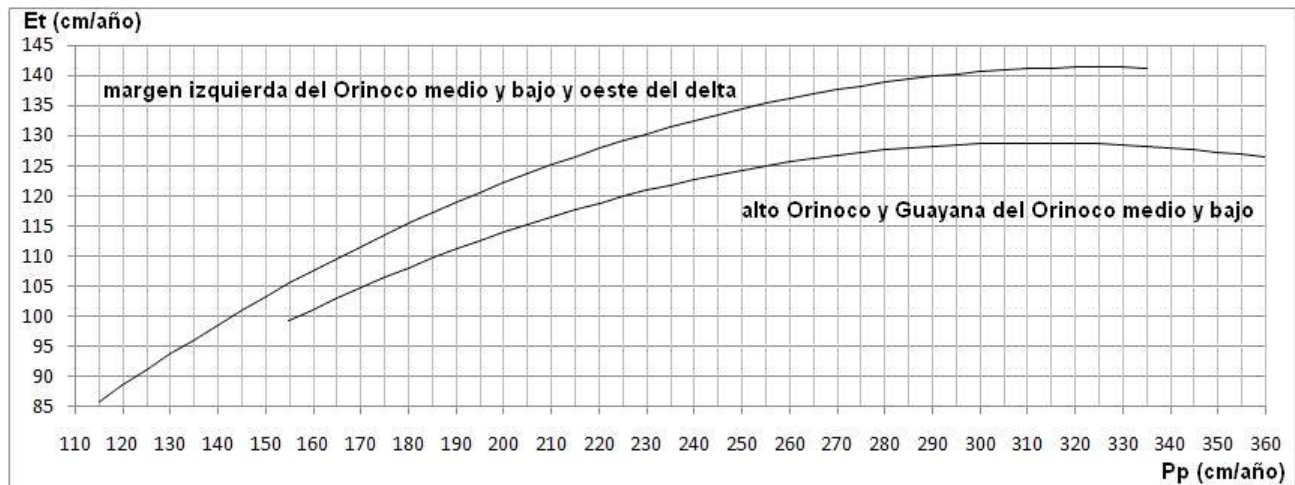


Figura 13. Curvas regionales de evapotranspiración de subcuencas según la precipitación.

En el caso de las subcuencas guayanesas, la subsiguiente disminución de la Et con la Pp explica el caso de la subcuenca Caura, que con una Pp de 360 cm/año tiene una Et estimada por balance de 124 cm/año, mientras la calculada con la ecuación (27) es de 126 cm/año. Una posible explicación al decrecimiento final de la Et serían la elevada humedad atmosférica y condiciones fisiográficas favorables al escurrimiento, como la cobertura boscosa dominante, el tipo de suelo y el relieve residual con montañas y planos inclinados. De esta manera y por su alta Pp, la subcuenca Caura mantiene su clímax vegetal, generando escorrentía con muy alta productividad y eficiencia.

Datos y análisis suplementarios. Información adicional se contempla en los anexos siguientes:

Anexo A. Precipitación media anual preliminar en las subcuencas mayores.

Anexo B. Registro pluviométrico 1970 – 1989 en estaciones climáticas seleccionadas.

Anexo C. Registro hidrométrico 1970 – 1989 en Tamatama, Pto Ayacucho y Angostura.

Anexo D. Caudales corregidos del río Orinoco en Angostura y Pto Ayacucho, 1970 – 1989.

Anexo E. Estimación de caudales del río Orinoco en Caicara, 1970 – 1989

Anexo F. Caudales mensuales en la difluencia Orinoco – Casiquiare, 1970 – 1989.

CONCLUSIONES

Para realizar estudios de balance hídrico es indispensable disponer de registros de caudales en los ríos de interés, así como de precipitación en las cuencas respectivas. En este caso de estudio de nivel 1 de la cuenca del río Orinoco fue suficiente considerar los datos hidroclimáticos del período 1970 – 1989, teniendo por referencia principal la hidrometría de las estaciones Tamatama, Puerto Ayacucho y Angostura. No obstante, cuando los caudales son elevados el margen de error en su medición puede ser importante en términos absolutos, lo que parece ocurrir con el río Orinoco en Angostura donde puede haber un exceso cercano a los 1.500 m³/s en el caudal medio anual de 32.029 m³/s, por cuanto no fue posible en este análisis asignar esa diferencia a las subcuencas ubicadas aguas arriba, en particular a las mayores, de acuerdo a los promedios conocidos del río Ventuari en Kanaripó, del río Guaviare en Guayare, del río Meta en Cararabo, del río Apure en San Fernando y del río Caura en San Luis. Aún ajustando el promedio en Angostura a 30.550 m³/s, la escorrentía que el Orinoco y sus tributarios entregan al Atlántico es del orden de los 37.000 m³/s.

La sistematización del balance hídrico de la cuenca del río Orinoco ha sido posible gracias a la sectorización hidrográfica implementada, lo que ha permitido elaborar cuadros con resultados que luego han sido expresados matemáticamente, al establecer ecuaciones inéditas de tipo regional que relacionan la precipitación media anual de las subcuencas principales con el módulo de escorrentía anual, el coeficiente de escorrentía anual y la evapotranspiración real obtenida por balance. Tal expresión es una contribución a la comprensión hidrológica de las cuencas fluviales orinoquenses al diferenciar el comportamiento del Alto Orinoco y del resto de la margen derecha de la Guayana, con el de toda la margen izquierda del Orinoco medio y bajo, exhibiendo la primera región un mejor rendimiento hídrico debido a sus particulares condiciones fisiográficas y climáticas, que son más favorables para generar la escorrentía.

Los resultados presentados en este estudio general de nivel 1 son marco de referencia importante para emprender estudios más detallados de nivel 2 y 3, en las subcuencas mayores y menores ubicadas en ambos márgenes del río Orinoco, cuyos resultados serán más completos y precisos.

RECOMENDACIONES

Es necesario un esfuerzo binacional para elaborar una cartografía semidetallada de la cuenca del río Orinoco con divisorias de agua más precisas por regiones y subcuencas, incluyendo las del río Guanipa, Amacuro y Barima; y generar un mapa isoyético cónsono con las precipitaciones medias de este estudio. Esta labor puede conducir a la preparación de un atlas de la cuenca que incluya población, navegación fluvial, biodiversidad, riquezas, producción y el balance hídrico a nivel 2 en las mayores subcuencas, empezando por el Caroní, como está previsto, el Meta, el Apure y el Caura. Y con interés ecológico debe examinarse la regulación del caudal del caño Mánamo.

LITERATURA CITADA

- Azuaje Y. y R. Cárdenas (2012). *Características generales y balance hídrico de la cuenca del río Masparro hasta puente Masparro, estado Barinas*. Inédito. Trabajo especial de grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía. Mérida. 96 p.
- Bockh, A. (1956). *El desecamiento del lago de Valencia*. Ediciones La Fundación Eugenio Mendoza. Caracas.
- Castillo, J. y M. V. López, (2009). *Balance hídrico de la cuenca del río Santo Domingo hasta El Campero, estados Mérida y Barinas*. Inédito. Trabajo especial de grado. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía. Mérida. 71 p.
- Codazzi, A. (1940). *Resumen de la Geografía de Venezuela*. Vol. I. Segunda edición. Biblioteca Venezolana de Cultura, 1. Caracas. 148 p.
- COPLANARH (1969). *Inventario nacional de aguas superficiales*. Vol. I. Caracas. 127 p.
- Córdoba, J. y González, M. (2007). *Hidrografía, cuencas y recursos hídricos*. Cap. 14, GeoVenezuela 2: Medio físico y recursos ambientales, pp. 330 - 400. Fundación Polar.
- Delgado, M. (2005). *Estimación del balance hídrico de la cuenca del río Caroní mediante un modelo conceptual*. Inédito. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Universidad Simón Bolívar, Decanato de Estudios de Postgrado. Caracas. 103 p.
- ICLAM (1994). *Balance hidrológico de la cuenca del Lago de Maracaibo*. Inédito Elaborado por CGR Ingeniería. Caracas.
- IMFIA – DNH (2001). *Balances hídricos superficiales en cuencas del Uruguay*. Universidad de la República, Facultad de Ingeniería – Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Dirección Nacional de Hidrografía. Montevideo. 45 p.
- Jahn, A. (1909). *Bosques y Aguas*. Revista “El Naturalista Venezolano”, mes de julio.
- _____ (1941). *Aspectos físicos de Venezuela*. Editorial Cecilio Acosta. Caracas. 210 p.
- Jiménez, G. (1911). *Las aguas del valle de Caracas*. Boletín de la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, 2001. IV Parte: Testimonios para la Historia de la Ingeniería, pp 191 – 213.

Lafragua, C. J., Gutiérrez-López, A., Aguilar, G. E., Aparicio, M. J., Mejía Z. R. y Sánchez D. L. F., (2003). *Balance Hídrico de la Cuenca de México*. Coordinación de Tecnología Hidrológica, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA, México.

MARNR (1979). *Determinación del volumen medio anual escurrido en cuencas sin mediciones hidrométricas. Aplicación de la metodología en la cuenca del río Tuy*. Elaborado por Fradique Chacón, Alma Hernández, Alfonso Áñez y José García. Dirección General de Planificación y Ordenación Ambiental, DGSP/OA/IT/34. Caracas

_____ (1987). *Estudio del balance hidráulico mensual del Lago de Valencia*. Elaborado por Cilino González. Dirección General de Planificación y Ordenación Ambiental, DGSP/OA/211. Caracas.

_____ (1988). *Balance hídrico de Venezuela. Informe de avance*. Balance hídrico de América del Sur, UNESCO – PHI. Inédito. Elaborado por Carmen Fermín y colaboradores. Diciembre. Caracas. 71 p. sin numerar.

_____ (1992a). *Balance hídrico superficial en las cuencas de la región Guárico central*. Balance hídrico de América del Sur, UNESCO – PHI. Inédito. Elaborado por Reina Pérez. Enero. Caracas. 15 p. más anexos.

_____ (1992b). *Balance hídrico superficial en las cuencas de la región Llanos occidentales de Venezuela*. Balance hídrico de América del Sur, UNESCO – PHI. Inédito. Elaborado por Reina Pérez. Marzo. Caracas. 22 p. más anexos.

_____ (1993a). *Balance hídrico en las cuencas de la región centro norte*. Serie de Informes Técnicos DGSIASV/sn. Elaborado por Reina Pérez. Enero. Caracas. 14 p. más anexos.

_____ (1993b). *Balance hídrico superficial en la cuenca del lago de Maracaibo*. Serie de Informes Técnicos DGSIASV/sn. Elaborado por Reina Pérez. Octubre. Caracas. 23 p. más anexos.

_____ (1995). *Balance hídrico superficial de las cuencas del estado Bolívar*. Inédito. Elaborado por Carmen Fermín. Marzo. Caracas. 12 p. más anexos.

_____ (2000). *Actualización del modelo de balance hidrológico de la cuenca del lago de Valencia*. Inédito. Oficina Ejecutora del Proyecto de Saneamiento del Lago de Valencia. Elaborado por CGR Ingeniería. Caracas.

MOP (1956). *Registro fluviométrico 1940 – 1954*. Dirección de Obras Hidráulicas, División de Hidrología. Imprenta Nacional. Caracas. 1.226 p.

- _____ (1968). *Manual de estudios preliminares para el aprovechamiento integral de cuencas hidrográficas*. Tomo I. Dirección de Obras Hidráulicas, División de Planeamiento. Caracas.
- _____ (1972). *Mediciones en ríos grandes*. Dirección General de Recursos Hidráulicos. Dirección de Información Básica. Caracas. 93 p.
- Perrault, P. (1674). *De l'origine des fontaines*. Pierre le Petit imprimeur, Paris. En edición del Comité National Français pour le PHI d' UNESCO (1996).
- Silva, G. (2005). *La cuenca del río Orinoco: visión hidrográfica y balance hídrico*. Revista Geográfica Venezolana, 46 (1): 75 – 108. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/24636>
- _____ (2006). *Balance hídrico promedio anual y mensual para la cuenca del río Caroní, Venezuela*. XII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Ciudad Guayana, Venezuela. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/31157>
- _____ (2010). *Tipos y subtipos climáticos de Venezuela*. Trabajo de ascenso a profesor titular. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Escuela de Geografía. Mérida. 69 p. <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/31158>
- UNESCO (1979). *Balance hídrico mundial y recursos hidráulicos de la Tierra*. Estudios e informes sobre hidrología 25. 821 p. (Edición original rusa de 1974, edición inglesa de 1978).
- _____ (1981). *Métodos de cálculo del balance hídrico*. Guía internacional de investigación y métodos. Estudios e Informes sobre hidrología 17. 183 p.
- _____ (1982). *Guía metodológica para la elaboración del balance hídrico de la América del Sur*. Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe. Montevideo. 130 p.
- _____ (2006). *Evaluación de los Recursos Hídricos. Elaboración del balance hídrico integral por cuencas hidrográficas*. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°4.
- _____ (2007). *Balance hídrico superficial de Costa Rica. Período: 1970-2002*. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 10.
- Verne, J. (1999). *El soberbio Orinoco*. Colección La Palma Viajera. Editorial EDUVEN. Caracas. 248 p.

ANEXO A

Distribución preliminar de la precipitación media en las subcuencas mayores.

A manera de ensayo se escogen las subcuencas de los seis afluentes principales del Orinoco, para evaluar si su precipitación media anual estimada por ajuste se corresponde con una distribución espacial creíble, sabiendo que existe infinidad de soluciones por causa de la limitada medición pluviométrica. En la Tabla A1 se ilustra una solución tentativa por subcuenca, cuya Pp obtenida por el método isoyético es exactamente igual al valor ajustado por balance hídrico. De manera que:

$$P_p = \sum (P_{pi} * (A_i/A)) \quad (30)$$

donde P_{pi} es la precipitación media entre isoyetas consecutivas y (A_i/A) es la fracción del área de la subcuenca que tiene esa precipitación media por estar entre esas isoyetas.

Tabla A1. Ejercicio de inferencia de la distribución espacial de la Pp por subcuencas.

Intervalos de Pp (cm/año)			Subcuencas y valores aproximados de (A _i /A)					
L. Inf.	L. Sup.	P _{pi}	Ventuari	Guaviare	Meta	Apure	Caura	Caroní
25	75	50				0,03		
75	125	100			0,05	0,08		0,03
125	175	150		0,03	0,10	0,45		0,08
175	225	200	0,04	0,08	0,19	0,21	0,04	0,12
225	275	250	0,21	0,19	0,26	0,12	0,06	0,16
275	325	300	0,46	0,34	0,19	0,07	0,12	0,22
325	375	350	0,29	0,28	0,11	0,03	0,35	0,20
375	425	400		0,08	0,07	0,01	0,30	0,13
425	475	450			0,03		0,13	0,04
475	525	500						0,02
Suma			1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Pp			300	300	260	185	360	295

No existen estaciones pluviométricas con promedios mayores a 350 cm/año en Ventuari ni mayores a 400 cm/año en Caura, mientras se tiene muy poca información del Guaviare y no mucho más del Meta, pero aún así se infiere la Pp a discreción en esos casos. En cambio, las mediciones de lluvia en las subcuencas Apure y Caroní tienen mayor cubrimiento y es en ellas donde se puede refinar el análisis considerando el balance hídrico.

Subcuencas de amplias cabeceras montañosas, como son las del Meta y el Apure, tienen una entrada de agua adicional por causa de las selvas nubladas que interceptan agua condensada no precipitada y el rocío y la escarcha propios de sus páramos, tema que se estudia luego con las subcuencas apureñas. Por tanto, la Pp de esas subcuencas incluiría esa entrada adicional.

ANEXO B

Registro pluviométrico 1970 – 1989 en doce estaciones venezolanas seleccionadas.

Tabla B1. Precipitación (mm) en Tamatama, alto Orinoco, estado Amazonas.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	146	229	118	256	440	526	369	489	478	201	188	186	3.625
1971	164	360	277	399	252	182	373	276	102	284	319	280	3.267
1972	123	270	228	313	408	302	286	342	260	250	163	82	3.028
1973	58	73	149	301	398	430	362	457	266	193	360	121	3.166
1974	112	158	86	349	469	323	525	273	180	202	266	172	3.116
1975	165	141	163	340	491	381	687	354	243	225	84	229	3.503
1976	113	226	214	489	531	788	257	223	139	253	223	111	3.567
1977	48	177	210	216	419	582	426	201	243	253	177	105	3.057
1978	64	134	124	484	493	444	395	253	222	250	177	126	3.165
1979	66	39	192	388	575	676	333	598	227	191	268	227	3.780
1980	134	73	237	264	417	562	257	341	352	247	340	184	3.406
1981	63	155	126	341	429	519	773	313	369	195	130	200	3.613
1982	79	145	187	396	597	426	334	231	223	137	198	84	3.036
1983	90	49	172	416	406	330	459	291	346	233	189	150	3.130
1984	255	156	60	202	475	539	278	366	321	123	149	174	3.096
1985	156	60	56	151	410	509	503	465	211	258	260	103	3.141
1986	81	173	181	293	326	879	558	219	368	353	271	154	3.856
1987	62	20	182	241	478	621	462	440	250	245	155	34	3.189
1988	97	152	31	112	349	500	578	289	376	259	177	233	3.152
1989	230	140	236	217	678	423	283	391	188	413	370	20	3.588
Prom.	115	147	161	308	452	497	425	341	268	238	223	149	3.324
%	3,5	4,4	4,9	9,3	13,6	15,0	12,8	10,2	8,1	7,2	6,7	4,5	100,0

Tabla B2. Precipitación (mm) en San Fernando de Atabapo, Orinoco medio, estado Amazonas.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	80	79	106	137	373	372	393	521	296	293	192	103	2.943
1971	176	148	213	277	533	427	544	218	228	253	264	178	3.459
1972	158	120	113	248	436	578	501	259	440	153	259	109	3.373
1973	36	18	52	97	385	368	441	401	503	144	164	86	2.695
1974	99	30	82	143	195	313	736	319	293	237	183	60	2.692
1975	86	50	104	200	252	482	454	321	279	188	42	73	2.530
1976	129	67	129	215	436	599	538	283	256	151	120	121	3.044
1977	40	131	153	44	346	530	604	337	300	149	69	61	2.764
1978	14	107	198	313	385	416	403	305	280	148	86	58	2.710
1979	1	6	121	322	255	798	305	422	257	267	251	87	3.091
1980	50	36	151	312	488	476	298	152	172	146	187	157	2.626
1981	13	111	133	228	156	324	619	187	274	92	128	143	2.408
1982	44	184	139	192	437	395	539	339	430	181	61	90	3.030
1983	118	127	52	320	384	580	377	339	355	222	237	179	3.290
1984	177	162	44	198	344	410	366	374	448	264	220	65	3.072
1985	15	37	79	65	227	691	700	389	281	377	165	135	3.161
1986	88	66	163	124	420	615	579	388	186	234	307	106	3.276
1987	125	180	88	343	317	279	507	421	209	200	114	90	2.874
1988	68	94	36	165	380	440	684	233	203	422	120	120	2.964
1989	129	133	57	122	653	499	341	404	280	204	76	33	2.932
Prom.	82	94	111	203	370	480	496	331	299	216	162	103	2.947
%	2,8	3,2	3,8	6,9	12,6	16,3	16,8	11,2	10,1	7,3	5,5	3,5	100,0

Tabla B3. Precipitación (mm) en Puerto Ayacucho, Orinoco medio, estado Amazonas.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	156	71	-	-	302	300	292	302	194	123	80	64	-
1971	36	17	38	193	197	548	327	318	208	142	175	36	2.234
1972	68	31	298	167	512	216	505	198	218	115	115	2	2.445
1973	14	0	146	59	249	340	399	200	132	194	329	19	2.080
1974	12	38	25	84	268	203	458	189	136	260	112	9	1.793
1975	1	12	35	107	380	367	233	312	158	224	112	103	2.043
1976	18	8	47	-	233	669	292	593	97	185	63	23	-
1977	25	4	95	53	332	410	365	423	134	233	210	4	2.289
1978	9	42	82	319	202	476	225	372	298	187	130	39	2.378
1979	16	0	78	234	242	416	332	249	263	154	111	69	2.164
1980	12	24	39	94	353	354	457	318	283	263	98	14	2.308
1981	25	131	46	275	269	467	231	450	253	111	210	91	2.556
1982	0	10	71	393	306	554	499	229	176	197	82	53	2.568
1983	92	74	21	220	401	355	388	256	202	169	100	122	2.400
1984	102	19	10	169	200	244	287	414	229	204	133	69	2.080
1985	0	4	60	138	422	308	423	568	226	186	145	4	2.483
1986	77	11	25	145	230	741	517	290	309	189	144	41	2.718
1987	21	25	81	155	146	362	484	372	128	395	167	64	2.398
1988	4	40	37	132	146	398	481	296	112	174	87	30	1.936
1989	26	12	18	36	381	418	434	193	256	197	123	17	2.112
Prom.	36	29	66	165	289	407	381	327	201	195	136	44	2.275
%	1,6	1,3	2,9	7,2	12,7	17,9	16,8	14,4	8,8	8,6	6,0	1,9	100,0

Tabla B4. Precipitación (mm) en Elorza, cajón del Arauca, estado Apure.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	4	43	10	154	170	169	364	199	149	209	91	22	1.583
1971	19	0	21	90	346	138	235	263	131	107	109	77	1.535
1972	42	23	22	287	361	266	272	239	185	128	27	1	1.851
1973	1	0	43	86	174	212	270	279	299	199	123	0	1.686
1974	0	0	0	58	217	160	212	331	190	92	44	3	1.307
1975	0	0	34	99	387	316	332	267	187	125	69	54	1.869
1976	10	0	36	196	268	389	361	388	191	133	44	0	2.015
1977	0	0	45	18	325	189	370	421	128	197	79	29	1.800
1978	1	1	103	165	229	374	375	308	313	96	113	8	2.085
1979	0	0	39	137	235	415	241	187	138	185	115	26	1.719
1980	0	0	4	190	333	502	241	274	283	223	90	0	2.138
1981	3	110	39	252	363	380	201	390	335	205	9	19	2.305
1982	7	12	1	296	363	253	341	289	200	161	14	10	1.948
1983	2	11	26	158	388	398	324	283	240	219	40	39	2.127
1984	53	4	1	15	119	336	184	393	212	110	81	1	1.508
1985	0	0	2	52	341	335	398	236	104	154	127	2	1.750
1986	0	44	3	98	195	331	460	392	280	236	197	6	2.241
1987	0	1	91	120	363	-	-	-	-	-	92	16	-
1988	0	20	0	83	107	489	349	373	221	119	39	3	1.801
1989	5	16	0	2	328	172	240	131	218	241	8	1	1.362
Prom.	7	14	26	128	281	306	304	297	211	165	76	16	1.830
%	0,4	0,8	1,4	7,0	15,3	16,7	16,6	16,2	11,5	9,0	4,1	0,9	100,0

Tabla B5. Precipitación (mm) en Barinitas, piedemonte andino, estado Barinas.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	31	73	23	177	170	401	319	493	150	421	200	93	2.552
1971	82	43	87	151	300	169	124	437	188	233	145	97	2.056
1972	219	189	442	491	357	193	232	310	393	282	172	124	3.404
1973	31	4	47	207	149	209	269	265	310	427	113	69	2.100
1974	21	53	65	164	156	206	217	288	350	177	210	3	1.911
1975	35	45	147	131	297	147	179	207	305	477	129	47	2.146
1976	49	29	206	491	290	589	356	201	172	257	71	95	2.805
1977	0	1	110	127	525	261	403	317	173	373	154	21	2.464
1978	37	6	92	335	355	569	289	603	515	289	307	132	3.528
1979	0	1	133	328	475	435	358	280	410	321	505	198	3.444
1980	7	4	7	328	287	390	520	250	285	509	146	25	2.756
1981	2	239	68	518	594	587	217	384	439	308	257	66	3.679
1982	10	205	133	378	622	276	321	148	335	195	169	120	2.912
1983	41	19	30	554	337	590	262	404	120	259	123	116	2.854
1984	49	72	13	132	163	380	264	433	321	273	198	37	2.333
1985	4	8	79	245	436	211	207	350	302	350	248	97	2.535
1986	73	14	76	251	413	447	361	299	505	340	244	101	3.124
1987	27	131	125	166	252	231	292	208	225	372	210	5	2.242
1988	2	12	13	157	192	367	307	533	300	487	193	69	2.630
1989	59	157	37	81	324	206	456	487	342	383	126	121	2.779
Prom.	39	65	97	271	335	343	298	345	307	337	196	82	2.713
%	1,4	2,4	3,6	10,0	12,3	12,7	11,0	12,7	11,3	12,4	7,2	3,0	100,0

Tabla B6. Precipitación (mm) en Acarigua, Llanos occidentales, estado Portuguesa.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	0	75	9	41	162	184	169	199	337	215	47	143	1.581
1971	4	16	0	108	202	241	214	139	190	187	78	6	1.385
1972	26	40	83	210	308	285	266	100	111	144	71	30	1.674
1973	2	0	3	69	69	181	239	242	158	82	38	2	1.085
1974	3	4	4	15	193	189	203	278	199	134	212	11	1.445
1975	5	0	19	4	150	239	99	195	149	247	127	46	1.280
1976	2	0	17	230	169	363	206	195	200	78	84	35	1.579
1977	0	0	108	2	208	190	269	246	164	172	41	2	1.402
1978	13	0	14	243	222	270	162	188	138	167	68	31	1.516
1979	0	15	76	111	284	328	243	255	170	230	108	67	1.887
1980	2	0	14	170	267	298	231	191	129	176	79	5	1.562
1981	2	125	34	197	341	288	209	125	156	207	54	202	1.940
1982	15	4	3	316	269	218	259	200	218	185	59	37	1.783
1983	15	0	42	113	40	266	280	226	145	164	146	72	1.509
1984	3	7	0	109	115	169	266	160	159	173	135	0	1.296
1985	0	0	23	29	144	209	183	132	226	164	96	47	1.253
1986	4	4	17	16	104	120	171	180	120	287	266	22	1.311
1987	3	0	39	31	179	208	263	187	116	238	102	55	1.421
1988	0	2	0	60	45	248	183	422	162	107	196	16	1.441
1989	1	11	0	14	111	152	273	135	158	168	157	54	1.234
Prom.	5	15	25	104	179	232	219	200	170	176	108	44	1.479
%	0,3	1,0	1,7	7,1	12,1	15,7	14,8	13,5	11,5	11,9	7,3	3,0	100,0

Tabla B7. Precipitación (mm) en San Fernando, cajón del Apure, estado Apure.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	1	31	0	17	140	151	399	268	279	109	24	22	1.441
1971	1	0	0	116	225	293	166	147	132	144	92	2	1.318
1972	11	0	24	86	104	101	170	74	86	64	18	1	739
1973	0	0	0	23	64	410	358	255	264	64	43	2	1.483
1974	2	0	0	5	203	75	290	311	379	81	25	1	1.372
1975	0	0	1	37	123	139	257	318	185	47	18	12	1.137
1976	9	0	1	156	172	396	254	195	159	153	58	0	1.553
1977	0	0	0	0	131	223	322	151	220	66	66	4	1.183
1978	0	0	7	261	90	367	246	332	192	133	11	5	1.644
1979	0	0	58	82	111	388	173	300	150	76	29	4	1.371
1980	0	0	1	37	246	208	413	482	159	99	85	0	1.730
1981	0	38	2	188	234	235	281	312	116	54	18	10	1.488
1982	0	0	0	162	210	93	106	138	165	120	4	0	998
1983	2	10	5	103	214	213	369	340	150	33	0	2	1.441
1984	0	1	0	8	115	318	385	282	157	86	120	4	1.476
1985	0	0	0	204	208	208	200	398	74	106	61	24	1.483
1986	1	0	0	0	296	370	279	129	335	89	47	7	1.553
1987	0	0	17	162	232	227	161	135	170	145	18	1	1.268
1988	0	6	0	2	89	315	295	298	155	187	124	15	1.486
1989	1	0	0	49	123	114	358	183	54	78	6	0	966
Prom.	1	4	6	85	167	242	274	252	179	97	43	6	1.357
%	0,1	0,3	0,4	6,3	12,3	17,8	20,2	18,6	13,2	7,1	3,2	0,4	100,0

Tabla B8. Precipitación (mm) en Valle de La Pascua, Llanos centrales, Guárico.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	40	0	4	10	150	131	161	172	112	124	17	40	961
1971	11	19	1	38	78	153	155	38	127	68	30	12	731
1972	57	0	38	12	50	216	210	115	136	75	26	4	938
1973	0	0	0	26	20	130	31	83	156	54	32	0	532
1974	8	1	2	0	5	22	200	147	124	163	29	1	700
1975	5	0	0	0	37	83	104	135	102	143	40	11	659
1976	30	4	5	12	16	201	322	203	42	154	40	25	1.054
1977	0	1	0	0	157	181	60	94	111	61	81	4	750
1978	0	0	0	94	143	290	131	227	99	48	27	11	1.070
1979	0	0	25	3	107	520	179	132	96	79	43	22	1.207
1980	8	1	0	4	163	175	153	163	164	90	35	11	966
1981	0	28	1	126	68	158	197	150	131	46	12	37	953
1982	16	4	6	66	196	177	103	199	37	19	17	8	847
1983	8	4	0	22	135	134	148	269	83	144	13	9	967
1984	37	0	0	19	4	105	135	129	177	83	84	14	788
1985	0	2	0	69	72	219	237	108	80	137	96	43	1.063
1986	0	0	0	1	164	147	161	118	105	165	21	50	929
1987	0	0	0	1	127	159	98	169	127	89	122	17	909
1988	0	1	0	0	2	304	126	142	122	124	26	33	881
1989	11	3	0	2	51	118	149	145	136	37	38	0	688
Prom.	12	3	4	25	87	181	153	147	113	95	41	18	880
%	1,3	0,4	0,5	2,9	9,9	20,6	17,4	16,7	12,9	10,8	4,7	2,0	100,0

Tabla B9. Precipitación (mm) en Maripa, bajo Caura, estado Bolívar.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	109	26	16	43	201	365	553	362	273	56	124	36	2.164
1971	35	30	23	30	128	181	198	129	266	147	135	63	1.365
1972	92	5	67	137	134	201	277	254	253	164	134	21	1.737
1973	1	0	0	9	21	198	231	260	212	193	219	55	1.398
1974	22	10	14	13	63	51	307	310	226	182	89	22	1.308
1975	54	6	8	82	118	149	221	405	201	180	178	164	1.767
1976	30	11	73	286	100	335	379	349	117	155	37	73	1.946
1977	2	3	17	0	271	333	156	298	252	326	60	46	1.764
1978	9	0	2	107	185	390	377	352	191	151	54	126	1.943
1979	6	0	38	41	118	507	612	306	306	180	156	76	2.346
1980	4	1	1	73	453	210	402	588	263	129	190	33	2.348
1981	2	72	59	373	323	347	403	316	324	218	57	85	2.576
1982	15	13	11	253	472	282	351	311	320	77	128	131	2.365
1983	12	30	77	348	510	339	305	400	269	185	45	100	2.621
1984	74	16	11	48	126	292	352	270	337	152	163	117	1.959
1985	2	3	3	51	128	392	164	493	248	230	374	138	2.227
1986	7	27	0	42	320	282	371	239	208	256	169	72	1.993
1987	16	2	36	41	189	337	363	445	228	238	155	75	2.124
1988	2	40	0	0	50	482	396	525	194	235	170	66	2.158
1989	41	22	6	5	188	165	365	412	188	113	179	7	1.692
Prom.	27	16	23	99	205	292	339	351	244	178	141	75	1.990
%	1,3	0,8	1,2	5,0	10,3	14,7	17,0	17,6	12,3	9,0	7,1	3,8	100,0

Tabla B10. Precipitación (mm) en Entre Ríos, Caura medio, estado Bolívar.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	198	42	90	72	330	392	703	695	280	131	75	282	3.290
1971	97	43	29	152	234	340	552	414	319	330	297	239	3.046
1972	328	43	285	210	413	412	715	364	477	209	194	107	3.756
1973	12	25	24	93	181	493	520	361	512	219	211	99	2.749
1974	63	13	25	136	208	185	368	383	448	139	286	31	2.284
1975	70	11	78	77	283	478	391	549	342	277	114	251	2.921
1976	44	123	116	300	392	774	908	380	252	221	77	141	3.726
1977	6	11	49	29	250	406	435	574	396	431	153	33	2.773
1978	6	1	15	129	441	602	601	514	263	357	183	216	3.327
1979	4	0	119	231	200	523	533	373	415	353	178	243	3.172
1980	56	1	22	248	358	499	623	641	433	307	241	53	3.481
1981	77	27	8	575	526	497	403	557	337	158	87	335	3.588
1982	20	79	162	333	503	533	914	384	223	223	58	80	3.511
1983	48	119	86	304	700	795	524	571	330	261	73	185	3.995
1984	100	61	9	43	191	513	404	520	496	280	223	199	3.040
1985	46	3	9	201	345	616	358	584	378	338	261	97	3.235
1986	31	70	51	109	387	493	536	404	465	294	389	138	3.366
1987	11	30	51	136	561	476	968	483	495	188	152	77	3.626
1988	16	75	5	13	133	459	636	662	348	308	172	336	3.162
1989	88	146	94	63	243	293	662	313	432	348	231	45	2.958
Prom.	66	46	66	173	344	489	588	486	382	269	183	159	3.250
%	2,0	1,4	2,0	5,3	10,6	15,0	18,1	15,0	11,8	8,3	5,6	4,9	100,0

Tabla B11. Precipitación (mm) en Urimán, Caroní medio, estado Bolívar.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	190	50	189	202	548	618	701	638	455	186	200	300	4.275
1971	94	42	69	221	425	450	516	643	252	337	476	281	3.805
1972	255	72	100	414	645	476	742	306	400	372	338	100	4.220
1973	47	54	100	140	102	667	412	486	500	401	434	304	3.647
1974	21	51	76	130	288	166	561	757	501	452	428	67	3.477
1975	55	39	53	133	301	592	530	624	429	262	187	279	3.483
1976	19	50	145	473	465	817	877	455	242	298	136	133	4.109
1977	26	56	148	70	546	903	503	804	461	368	252	31	4.166
1978	21	14	64	144	302	820	255	708	274	503	289	111	3.506
1979	19	4	127	329	283	1.261	598	399	431	316	221	176	4.165
1980	45	19	54	359	605	495	892	880	428	309	259	296	4.640
1981	105	130	69	360	847	725	670	549	600	190	173	229	4.646
1982	28	71	85	280	568	621	656	474	283	341	163	178	3.749
1983	55	114	124	558	807	786	541	591	508	271	126	216	4.694
1984	159	61	29	77	310	688	619	806	494	394	379	242	4.256
1985	60	0	73	110	347	541	340	562	480	383	203	138	3.236
1986	18	110	52	144	424	916	563	668	-	-	-	-	-
1987	26	79	93	174	769	604	799	720	327	269	81	148	4.090
1988	17	59	63	202	333	582	953	688	731	352	507	279	4.766
1989	102	283	130	66	399	382	718	635	376	386	342	29	3.848
Prom.	68	68	92	229	466	656	622	620	430	336	273	186	4.046
%	1,7	1,7	2,3	5,7	11,5	16,2	15,4	15,3	10,6	8,3	6,8	4,6	100,0

Tabla B12. Precipitación (mm) en Macagua, bajo Caroní, estado Bolívar.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	104	15	26	8	139	181	261	233	76	41	22	54	1.160
1971	26	26	4	7	66	147	215	133	25	65	91	117	920
1972	84	74	115	33	210	231	168	137	113	-	-	20	-
1973	7	6	0	39	36	142	79	174	158	74	116	49	879
1974	45	59	8	35	35	80	136	156	80	88	78	22	823
1975	32	14	0	17	92	182	175	136	207	72	124	283	1.333
1976	43	49	74	52	128	328	219	104	62	13	66	100	1.238
1977	3	16	17	2	43	219	250	167	100	63	5	10	895
1978	12	8	2	20	134	243	201	256	68	74	77	80	1.175
1979	10	0	80	32	164	267	208	142	166	93	38	80	1.280
1980	11	7	3	15	266	298	318	120	64	164	215	33	1.514
1981	19	41	10	137	318	210	229	210	175	62	39	127	1.577
1982	15	57	25	55	168	235	275	143	25	55	21	194	1.269
1983	41	4	1	65	205	301	219	112	71	100	32	29	1.177
1984	27	9	21	0	67	285	208	143	102	112	199	50	1.224
1985	24	10	15	46	108	242	229	178	60	202	170	101	1.385
1986	20	30	9	0	92	281	246	184	62	142	101	199	1.367
1987	12	3	0	15	168	178	275	206	68	95	84	80	1.186
1988	9	41	0	0	40	215	230	271	137	75	110	223	1.350
1989	141	45	26	0	128	155	282	72	130	72	130	33	1.214
Prom.	34	26	22	29	130	221	221	164	97	87	90	94	1.216
%	2,8	2,1	1,8	2,4	10,7	18,2	18,2	13,5	8,0	7,2	7,4	7,7	100,0

ANEXO C

Registro hidrométrico 1970 – 1989 del río Orinoco en Tamatama, Pto Ayacucho y Angostura.

Tabla C1. Caudales mensuales (m³/s) del río Orinoco en Tamatama (antes de la difluencia).

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	611	605	618	1.308	1.596	1.262	1.858	2.434	1.910	1.260	1.260	718	1.291
1971	657	702	1.127	1.403	2.461	2.746	<u>2.612</u>	2.342	2.072	1.216	1.237	992	<u>1.636</u>
1972	881	876	875	1.157	2.377	2.327	1.744	1.091	1.142	702	1.088	498	1.230
1973	393	330	262	399	1.061	1.867	1.924	2.132	2.385	1.597	1.157	1.135	1.225
1974	747	739	709	1.068	917	1.550	2.037	2.262	1.828	1.634	1.127	782	1.287
1975	642	448	521	596	1.421	1.669	2.220	2.355	1.932	1.240	898	998	1.251
1976	1.063	724	994	2.063	2.787	2.853	2.511	1.634	1.046	1.050	878	778	1.534
1977	487	362	338	554	1.497	2.231	2.014	1.409	1.223	1.178	759	464	1.047
1978	343	333	293	996	1.406	1.654	1.629	1.475	1.439	961	624	484	973
1979	343	213	395	726	1.498	2.596	2.581	1.977	1.986	1.490	1.193	989	1.338
1980	713	467	400	610	1.323	2.144	1.912	1.572	1.414	1.539	1.355	883	1.196
1981	634	531	656	1.260	1.957	2.695	2.699	2.484	2.281	1.493	981	799	1.545
1982	688	767	708	1.673	2.316	2.245	1.447	1.367	1.133	871	634	614	1.206
1983	542	300	272	752	1.144	1.129	1.051	1.324	851	656	748	625	786
1984	616	760	446	470	1.502	2.207	2.152	2.388	2.252	1.451	1.466	968	1.391
1985	874	476	398	319	978	2.308	1.893	2.619	2.130	1.355	1.304	1.230	1.329
1986	623	581	611	528	847	2.196	2.364	1.357	1.055	1.577	1.270	861	1.159
1987	483	478	433	624	1.603	2.483	2.127	1.902	1.641	1.429	1.012	669	1.244
1988	561	629	370	470	1.017	2.635	2.819	2.800	2.478	1.918	1.825	1.429	1.581
1989	1.293	920	1.117	1.257	2.210	2.833	2.685	2.284	1.753	1.767	1.771	1.062	1.751
Prom.	660	562	577	912	1.596	2.182	2.114	1.960	1.698	1.319	1.129	849	1.300
%	50,7	43,2	44,4	70,1	122,8	167,8	162,6	150,8	130,6	101,5	86,9	65,3	100,0

Nota. Valores subrayados del año 1971 ajustados en concordancia con las Tablas F1 y F2.

Tabla C2. Caudales mensuales (m³/s) del río Orinoco en Puerto Ayacucho.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	9.196	6.778	5.557	9.703	14.477	19.678	25.694	26.117	25.534	20.619	14.309	9.185	15.624
1971	7.412	5.850	6.681	7.373	13.509	23.760	33.285	30.655	26.786	19.433	15.590	12.121	16.945
1972	10.238	7.848	6.342	8.721	18.373	24.527	28.456	28.011	24.241	16.827	15.176	10.790	16.660
1973	6.484	4.773	4.226	5.048	9.755	14.912	21.943	24.086	25.690	21.971	15.499	11.096	13.848
1974	6.754	5.121	4.714	5.781	8.547	13.531	20.645	26.366	23.397	21.442	14.583	10.531	13.510
1975	6.192	4.546	4.752	5.696	10.103	18.312	25.309	27.433	26.635	19.246	13.961	11.833	14.565
1976	7.655	5.484	6.597	9.526	18.417	26.612	35.894	34.107	24.823	16.204	11.338	8.720	17.168
1977	5.925	4.403	4.842	5.726	9.084	19.160	28.857	29.075	22.586	17.952	15.518	9.650	14.466
1978	5.597	4.890	4.192	8.288	14.788	22.183	27.950	25.594	21.300	17.151	13.649	11.803	14.846
1979	5.978	4.230	4.199	7.247	12.986	21.319	26.605	25.727	21.481	16.209	15.688	11.319	14.477
1980	7.279	4.890	3.872	5.182	12.580	21.760	29.019	28.513	23.766	18.825	15.558	9.904	15.135
1981	6.233	4.644	6.366	6.804	15.804	23.918	29.090	27.773	24.421	18.395	12.025	9.582	15.495
1982	7.035	5.052	4.854	8.216	16.898	24.581	27.998	28.206	24.176	17.098	13.147	10.101	15.679
1983	7.068	4.681	4.534	6.445	17.188	21.577	25.085	27.843	24.465	18.450	13.889	11.734	15.319
1984	8.604	7.404	6.537	5.873	9.634	18.237	25.238	27.359	24.864	19.387	14.737	10.324	14.879
1985	6.623	4.440	3.875	3.880	7.873	18.624	25.477	28.344	27.430	19.246	13.806	10.761	14.259
1986	5.621	4.693	5.233	6.045	9.866	18.939	30.789	31.873	24.847	21.090	19.746	13.907	16.133
1987	7.781	6.070	5.931	7.108	14.446	18.304	25.128	29.321	26.811	20.593	14.466	10.725	15.623
1988	6.676	5.225	3.966	4.538	7.484	16.230	25.365	27.979	22.332	17.676	15.887	11.827	13.801
1989	8.251	6.025	6.023	5.967	11.467	21.723	26.876	25.827	20.672	17.369	13.506	9.505	14.492
Prom.	7.130	5.352	5.165	6.658	12.664	20.394	27.235	28.010	24.313	18.759	14.604	10.771	15.146
%	47,1	35,3	34,1	44,0	83,6	134,7	179,8	184,9	160,5	123,9	96,4	71,1	100,0

Tabla C3. Caudales mensuales (m³/s) del río Orinoco en Angostura.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	17.052	12.428	9.302	13.003	21.721	33.756	51.138	65.634	67.190	55.712	35.900	19.264	33.638
1971	14.161	9.927	9.526	11.523	19.306	35.866	54.461	66.792	64.684	49.268	33.321	23.641	32.854
1972	18.735	14.906	10.676	13.957	32.987	46.693	57.937	65.069	58.926	44.974	32.834	20.539	34.926
1973	11.667	6.969	4.587	5.689	12.543	23.055	36.134	45.795	55.279	53.965	36.318	23.993	26.451
1974	13.912	8.798	6.703	7.747	12.949	19.413	30.667	46.634	51.250	46.694	32.874	19.718	24.878
1975	9.867	6.239	5.944	7.492	13.613	27.994	45.145	57.030	61.758	47.615	31.976	23.912	28.351
1976	15.510	9.714	10.480	14.850	28.866	45.680	70.419	85.964	70.406	42.593	24.614	16.968	36.456
1977	10.732	6.158	5.664	8.136	11.768	31.445	52.519	67.781	62.947	48.301	36.286	20.391	30.325
1978	10.113	7.126	5.342	10.528	22.568	37.865	57.152	63.937	60.486	44.435	32.013	22.036	31.286
1979	11.906	6.476	5.434	10.173	21.089	38.145	63.583	66.694	59.109	44.162	36.551	25.582	32.583
1980	15.003	8.504	5.343	6.349	20.154	39.528	63.362	74.009	71.815	52.896	37.499	21.781	34.785
1981	12.131	7.533	11.113	11.269	31.221	50.239	71.436	79.491	72.017	54.454	31.222	19.228	37.821
1982	13.972	9.098	8.702	13.735	31.767	50.216	62.093	71.905	66.709	48.304	30.024	20.189	35.726
1983	13.691	8.270	7.613	9.359	30.708	46.022	57.681	70.296	69.658	53.622	34.151	21.757	35.407
1984	15.580	13.131	11.043	8.337	13.828	28.211	45.454	58.353	61.395	49.863	33.700	21.846	30.123
1985	13.114	7.264	5.469	5.310	12.445	30.817	46.082	59.650	66.746	50.709	33.025	24.205	29.705
1986	11.387	7.761	7.933	8.762	16.093	31.269	54.428	73.750	65.639	52.733	49.058	33.824	34.558
1987	15.567	10.369	9.314	10.187	22.055	32.429	49.070	66.091	67.665	54.506	35.600	22.039	33.054
1988	12.413	8.412	5.696	5.672	10.317	23.821	43.444	62.859	62.552	51.086	40.637	29.080	29.744
1989	16.399	12.238	10.002	9.445	15.603	33.512	46.951	54.224	46.149	38.554	30.825	19.980	27.928
Prom.	13.646	9.066	7.794	9.576	20.080	35.299	52.958	65.098	63.119	49.222	34.421	22.499	32.029
%	42,6	28,3	24,3	29,9	62,7	110,2	165,3	203,2	197,1	153,7	107,5	70,2	100,0

ANEXO D

Corrección de caudales del río Orinoco en Angostura y Puerto Ayacucho, 1970 - 1989.

Se considera primero la estación río Orinoco en Angostura, porque presenta la mayor variación porcentual del caudal histórico con respecto al ajustado por balance hídrico. Para el período 1970 – 1989, se reporta para dicha estación un promedio de 32.029 m³/s, un máximo de 85.964 m³/s para agosto de 1976 y un mínimo de 4.587 m³/s para marzo de 1973. Como el caudal promedio estimado con el balance es 1.479 m³/s más bajo que el histórico, se plantea disminuir los caudales mensuales del registro correspondiente, proponiendo la ecuación siguiente:

$$Q' = Q - (a * (Q - b) * Q) + \xi$$

donde Q es el caudal de un mes cualquiera del registro histórico, Q' es el caudal corregido de ese mes, a y b son coeficientes empíricos y ξ es una cantidad en el rango de $\pm 0,5$ m³/s que permite el ajuste exacto. Los valores a y b se obtienen como función lineal de los caudales extremos:

$$Y_1 = a * (85.964 - b)$$

$$Y_2 = a * (4.587 - b)$$

donde Y₂ se fija de antemano igual a cero, o sea, b igual a 4.587, significando que el caudal mínimo no va ser ajustado; mientras Y₁ se determina por ensayo y error, significando que el caudal máximo tiene el mayor ajuste. Para acortarlo, el proceso iterativo se inicia con:

$$Y_1 = -2 * ((32.029 - 30.550)/32.029) = -2 * 0,046192 \approx -0,0924$$

Después de ensayos sucesivos en hoja de cálculo, la solución pendiente queda como:

$$Y_1 = -0,0903$$

$$a = 0,00000110965$$

$$\xi = -0,1 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tomando como ejemplo de cálculo la corrección del caudal máximo, resulta:

$$Q' = 85.964 - (0,00000110965 * (85.964 - 4.587) * 85.964) - 0,1 = 78.201 \text{ m}^3/\text{s}$$

De manera que el caudal mensual de la gran crecida de agosto de 1976 en Angostura no sería 85.964 m³/s sino 78.201 m³/s, de manera que el ajuste afecta más a los caudales mayores. Los resultados se muestran en la Tabla C1, los cuales respetan el ritmo de ascenso y descenso del río Orinoco en cada año del período 1970 – 1989, que evidencian los datos originales de la Tabla B3.

Tabla D1. Caudales mensuales corregidos (m³/s) del río Orinoco en Angostura.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	16.816	12.320	9.253	12.881	21.308	32.663	48.496	61.188	62.522	52.551	34.653	18.950	32.088
1971	14.010	9.868	9.474	11.434	18.991	34.621	51.447	62.182	60.370	46.825	32.258	23.141	31.356
1972	18.441	14.735	10.604	13.812	31.947	44.511	54.507	60.702	55.373	42.958	31.805	20.175	33.365
1973	11.575	6.950	4.587	5.682	12.432	22.582	34.869	43.701	52.169	51.008	35.039	23.476	25.452
1974	13.768	8.757	6.687	7.720	12.829	19.094	29.779	44.458	48.596	44.512	31.842	19.387	24.046
1975	9.809	6.227	5.935	7.468	13.477	27.267	43.113	53.711	57.840	45.341	31.004	23.399	27.178
1976	15.322	9.659	10.411	14.681	28.088	43.597	65.275	78.201	65.264	40.797	24.067	16.735	34.448
1977	10.659	6.147	5.657	8.104	11.674	30.508	49.726	63.028	58.871	45.958	35.010	20.033	28.920
1978	10.051	7.106	5.337	10.458	22.118	36.467	53.818	59.726	56.734	42.470	31.039	21.609	29.887
1979	11.809	6.462	5.429	10.110	20.703	36.724	59.420	62.098	55.533	42.223	35.254	24.986	31.058
1980	14.829	8.467	5.338	6.336	19.806	37.995	59.229	68.308	66.458	50.060	36.129	21.365	32.951
1981	12.029	7.508	11.032	11.185	30.298	47.694	66.137	72.884	66.628	51.441	30.299	18.916	35.697
1982	13.826	9.052	8.662	13.595	30.809	47.673	58.131	66.534	62.110	45.961	29.176	19.839	33.936
1983	13.553	8.236	7.587	9.309	29.818	43.906	54.283	65.170	64.628	50.704	33.031	21.342	33.625
1984	15.390	13.006	10.964	8.302	13.686	27.471	43.393	54.871	57.525	47.358	32.611	21.428	28.891
1985	12.990	7.242	5.464	5.306	12.336	29.920	43.960	56.005	62.142	48.114	31.983	23.678	28.390
1986	11.301	7.734	7.903	8.721	15.887	30.343	51.418	68.090	61.192	49.916	46.637	32.727	32.816
1987	15.377	10.302	9.265	10.124	21.627	31.427	46.648	61.580	62.929	51.487	34.375	21.612	31.533
1988	12.305	8.376	5.689	5.665	10.251	23.312	41.571	58.794	58.529	48.450	39.011	28.290	28.427
1989	16.184	12.134	9.942	9.394	15.412	32.436	44.744	51.237	44.021	37.101	29.927	19.639	26.945
Prom.	13.502	9.015	7.761	9.514	19.675	34.011	49.998	60.623	58.972	46.762	33.258	22.036	30.550
%	44,2	29,5	25,4	31,1	64,4	111,3	163,7	198,4	193,0	153,1	108,9	72,1	100,0

Para la estación río Orinoco en Puerto Ayacucho, cuyo caudal histórico de 15.146 m³/s ha sido elevado por balance a 15.500 m³/s, se pueden corregir los caudales mensuales con la ecuación:

$$Q' = Q + (0,0000014646 * (Q - 3.872) * Q) + 0,2$$

cuya aplicación ilustra la Tabla C2, siendo 3.872 el caudal mínimo mensual en m³/s de marzo de 1980, que se mantiene igual con este ajuste, mientras el caudal máximo mensual de julio de 1976 queda aumentado de 35.894 a 37.578 m³/s.

Como una curiosidad, se puede comentar que 1974 fue el año de menor caudal en el período 1970 – 1989, tanto en Puerto Ayacucho como Angostura, producto de una anomalía climática que detuvo la precipitación en el mes de junio de ese año, que resultó con un caudal bajo, siendo ese mes normalmente lluvioso y de incremento vigoroso del caudal del Orinoco.

También se puede observar que el caudal máximo mensual en ambas estaciones corresponde a la gran crecida de 1976, solo que en Puerto Ayacucho fue en julio y en Angostura en agosto, debido al recorrido fluvial de 700 Km entre estas estaciones y a la progresiva inundación de las márgenes, existiendo al menos una semana de diferencia entre los picos de crecida respectivos.

Entre ambas estaciones sí hay diferencias en cuanto a los años más caudalosos. Los tres primeros en Puerto Ayacucho fueron 1976, 1971 y 1972, con más de 17.000 m³/s, mientras los tres primeros en Angostura fueron 1981, 1976 y 1982, con más de 34.000 m³/s, según los ajustes realizados.

Tabla D2. Caudales mensuales corregidos (m³/s) del río Orinoco en Puerto Ayacucho.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	9.268	6.807	5.571	9.786	14.702	20.134	26.515	26.968	26.344	21.125	14.528	9.257	15.972
1971	7.451	5.867	6.709	7.411	13.700	24.452	34.719	31.858	27.685	19.876	15.858	12.268	17.398
1972	10.334	7.894	6.365	8.783	18.763	25.269	29.481	29.002	24.964	17.146	15.427	10.900	17.060
1973	6.509	4.779	4.228	5.057	9.839	15.153	22.524	24.799	26.511	22.554	15.763	11.214	14.137
1974	6.783	5.131	4.720	5.797	8.606	13.723	21.152	27.235	24.066	21.994	14.812	10.634	13.782
1975	6.213	4.551	4.758	5.711	10.195	18.699	26.104	28.380	27.523	19.680	14.167	11.971	14.895
1976	7.698	5.497	6.624	9.605	18.810	27.499	37.578	35.618	25.585	16.497	11.462	8.782	17.660
1977	5.943	4.407	4.849	5.742	9.154	19.589	29.913	30.148	23.205	18.322	15.783	9.732	14.802
1978	5.611	4.897	4.194	8.342	15.025	22.778	28.936	26.408	21.844	17.485	13.845	11.940	15.175
1979	5.997	4.232	4.201	7.283	13.160	21.864	27.491	26.551	22.035	16.502	15.960	11.443	14.790
1980	7.316	4.897	3.872	5.192	12.741	22.330	30.088	29.542	24.459	19.237	15.824	9.992	15.499
1981	6.255	4.649	6.389	6.833	16.080	24.620	30.165	28.745	25.156	18.786	12.169	9.662	15.869
1982	7.068	5.061	4.861	8.268	17.221	25.327	28.988	29.211	24.895	17.429	13.326	10.193	16.056
1983	7.101	4.687	4.539	6.469	17.523	22.137	25.865	28.821	25.203	18.844	14.093	11.869	15.670
1984	8.664	7.443	6.563	5.890	9.716	18.621	26.028	28.300	25.629	19.828	14.972	10.422	15.203
1985	6.650	4.444	3.875	3.880	7.919	19.027	26.283	29.360	28.377	19.680	14.007	10.870	14.594
1986	5.636	4.699	5.244	6.064	9.953	19.357	32.003	33.180	25.610	21.622	20.205	14.112	16.556
1987	7.826	6.090	5.949	7.142	14.670	18.691	25.910	30.414	27.712	21.098	14.691	10.833	15.987
1988	6.704	5.236	3.967	4.543	7.524	16.524	26.164	28.967	22.936	18.034	16.167	11.965	14.098
1989	8.304	6.044	6.042	5.986	11.595	22.291	27.782	26.658	21.181	17.713	13.697	9.584	14.800
Prom.	7.166	5.366	5.176	6.689	12.845	20.904	28.184	29.008	25.046	19.173	14.838	10.882	15.500
%	46,2	34,6	33,4	43,2	82,9	134,9	181,8	187,2	161,6	123,7	95,7	70,2	100,0

ANEXO E

Estimación de caudales del río Orinoco en Caicara – Puente MERCOSUR, 1970 – 1989.

(al término del Orinoco medio)

Datos: caudales medios anuales de 15.500 m³/s en Puerto Ayacucho, 25.575 m³/s en Caicara y 30.550 m³/s en Angostura; y caudales mensuales corregidos en Puerto Ayacucho y Angostura.

Procedimiento: se interpolan linealmente y mes a mes los caudales mensuales del período de referencia entre Puerto Ayacucho y Angostura, en función de los promedios anuales.

VARIABLES CONSIDERADAS: $\Delta_1 = 25.575 - 15.500 = 10.075$

$\Delta_2 = 30.550 - 15.500 = 15.050$

$QA_{i,j}$ = caudal corregido del mes j del año i en Angostura

$QP_{i,j}$ = caudal corregido del mes j del año i en Puerto Ayacucho

$QC_{i,j}$ = caudal del mes j del año i en Caicara

Fórmula propuesta: $QC_{i,j} = QP_{i,j} + ((\Delta_1 / \Delta_2) * (QA_{i,j} - QP_{i,j}))$

Resultados:

Tabla E1. Caudales estimados del río Orinoco en Caicara – Puente MERCOSUR.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	14.321	10.497	8.036	11.858	19.124	28.521	41.230	49.876	50.563	42.163	28.000	15.746	26.761
1971	11.842	8.546	8.560	10.104	17.242	31.260	45.917	52.158	49.566	37.917	26.837	19.547	26.742
1972	15.761	12.474	9.203	12.149	27.589	38.151	46.234	50.223	45.321	34.426	26.391	17.109	27.975
1973	9.901	6.233	4.468	5.475	11.575	20.127	30.788	37.453	43.688	41.602	28.667	19.423	21.712
1974	11.459	7.558	6.037	7.084	11.433	17.318	26.928	38.765	40.487	37.068	26.212	16.493	20.653
1975	8.620	5.673	5.546	6.887	12.392	24.435	37.490	45.337	47.818	36.859	25.438	19.621	23.118
1976	12.802	8.283	9.159	13.003	25.021	38.275	56.119	64.125	52.147	32.764	19.900	14.106	28.899
1977	9.100	5.572	5.390	7.323	10.841	26.898	43.176	52.159	47.081	36.823	28.654	16.628	24.253
1978	8.583	6.376	4.960	9.759	19.773	31.942	45.593	48.712	45.201	34.211	25.355	18.413	25.024
1979	9.888	5.725	5.023	9.175	18.209	31.812	48.866	50.347	44.460	33.720	28.876	20.509	25.681
1980	12.346	7.287	4.854	5.958	17.470	32.817	49.596	55.493	52.574	39.871	29.417	17.606	27.182
1981	10.120	6.563	9.498	9.747	25.598	40.067	54.246	58.293	52.919	40.646	24.306	15.857	29.142
1982	11.592	7.733	7.406	11.835	26.317	40.286	48.497	54.196	49.808	36.529	23.937	16.651	28.026
1983	11.420	7.063	6.580	8.371	25.754	36.710	44.889	53.154	51.596	40.172	26.770	18.211	27.690
1984	13.166	11.167	9.509	7.505	12.374	24.546	37.652	46.088	46.981	38.257	26.780	17.789	24.366
1985	10.894	6.317	4.939	4.834	10.876	26.319	38.117	47.197	50.980	38.714	26.041	19.444	23.829
1986	9.428	6.730	7.024	7.843	13.926	26.712	45.000	56.550	49.430	40.563	37.900	26.573	27.441
1987	12.881	8.910	8.169	9.138	19.328	27.217	39.793	51.278	51.287	41.441	27.868	18.049	26.394
1988	10.453	7.338	5.120	5.294	9.350	21.068	36.478	48.934	46.763	38.395	31.460	22.893	23.690
1989	13.579	10.121	8.653	8.267	14.150	29.083	39.137	43.112	36.471	30.692	24.562	16.315	22.930
Prom.	11.408	7.808	6.907	8.581	17.417	29.678	42.787	50.173	47.757	37.642	27.169	18.349	25.575
%	44,6	30,5	27,0	33,6	68,1	116,0	167,3	196,2	186,7	147,2	106,2	71,7	100,0

ANEXO F

Caudales mensuales en la difluencia Orinoco – Casiquiare, 1970 – 1989.

Tabla F1. Caudales mensuales al inicio del Brazo Casiquiare.
(faltantes subrayados estimados con datos de río Orinoco en Tamatama)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	151	150	148	366	439	352	500	647	520	349	346	188	347
1971	143	158	285	370	658	745	784	646	572	335	358	255	444
1972	211	208	208	288	631	618	459	282	288	154	273	100	310
1973	71	53	38	73	261	492	501	569	631	424	308	295	311
1974	175	176	162	271	<u>227</u>	402	<u>518</u>	606	479	430	293	188	<u>328</u>
1975	153	100	120	140	362	429	577	607	505	317	224	249	317
1976	270	176	248	533	732	732	644	407	251	251	204	172	386
1977	98	66	60	114	363	568	513	349	297	292	174	93	250
1978	64	61	53	240	355	424	417	373	366	234	138	104	237
1979	67	44	<u>84</u>	<u>170</u>	<u>370</u>	<u>660</u>	667	480	<u>498</u>	<u>361</u>	<u>278</u>	<u>217</u>	<u>326</u>
1980	<u>150</u>	<u>96</u>	<u>85</u>	<u>143</u>	<u>327</u>	<u>545</u>	<u>486</u>	<u>409</u>	<u>355</u>	<u>373</u>	<u>316</u>	<u>194</u>	<u>290</u>
1981	<u>133</u>	<u>109</u>	<u>140</u>	271	452	689	687	609	553	322	189	150	<u>360</u>
1982	127	142	130	366	558	551	310	289	231	166	116	115	259
1983	102	56	52	147	236	230	218	276	165	123	143	116	156
1984	117	145	83	86	334	528	508	586	537	307	308	184	311
1985	165	85	72	59	192	558	418	652	501	331	262	249	297
1986	111	104	112	94	158	511	562	566	<u>265</u>	<u>382</u>	261	163	<u>275</u>
1987	85	86	<u>92</u>	<u>146</u>	<u>396</u>	<u>631</u>	<u>540</u>	<u>495</u>	<u>412</u>	<u>346</u>	<u>236</u>	<u>147</u>	<u>302</u>
1988	<u>118</u>	115	67	84	<u>251</u>	<u>670</u>	<u>716</u>	<u>728</u>	<u>622</u>	424	401	298	<u>375</u>
1989	259	170	216	252	<u>546</u>	<u>720</u>	<u>682</u>	<u>594</u>	<u>440</u>	<u>428</u>	<u>412</u>	<u>233</u>	<u>414</u>
Prom.	138	115	123	211	392	553	535	508	424	318	262	185	315
%	44,0	36,5	39,0	66,9	124,7	175,6	170,1	161,6	134,8	100,9	83,2	58,9	100,0

Tabla F2. Caudales mensuales estimados del río Orinoco después de la difluencia.
(obtenido por diferencia entre Orinoco en Tamatama y Brazo Casiquiare en la bifurcación)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1970	460	455	470	942	1.157	910	1.358	1.787	1.390	911	914	530	943
1971	514	544	842	1.033	1.803	2.001	1.828	1.696	1.500	881	879	737	1.192
1972	670	668	667	869	1.746	1.709	1.285	809	854	548	815	398	920
1973	322	277	224	326	800	1.375	1.423	1.563	1.754	1.173	849	840	914
1974	572	563	547	797	690	1.148	1.519	1.656	1.349	1.204	834	594	959
1975	489	348	401	456	1.059	1.240	1.643	1.748	1.427	923	674	749	934
1976	793	548	746	1.530	2.055	2.121	1.867	1.227	795	799	674	606	1.149
1977	389	296	278	440	1.134	1.663	1.501	1.060	926	886	585	371	797
1978	279	272	240	756	1.051	1.230	1.212	1.102	1.073	727	486	380	736
1979	276	169	311	556	1.128	1.936	1.914	1.497	1.488	1.129	915	772	1.012
1980	563	371	315	467	996	1.599	1.426	1.163	1.059	1.166	1.039	689	906
1981	501	422	516	989	1.505	2.006	2.012	1.875	1.728	1.171	792	649	1.185
1982	561	625	578	1.307	1.758	1.694	1.137	1.078	902	705	518	499	948
1983	440	244	220	605	908	899	833	1.048	686	533	605	509	630
1984	499	615	363	384	1.168	1.679	1.644	1.802	1.715	1.144	1.158	784	1.080
1985	709	391	326	260	786	1.750	1.475	1.967	1.629	1.024	1.042	981	1.032
1986	512	477	499	434	689	1.685	1.802	791	790	1.195	1.009	698	884
1987	398	392	341	478	1.207	1.852	1.587	1.407	1.229	1.083	776	522	942
1988	443	514	303	386	766	1.965	2.103	2.072	1.856	1.494	1.424	1.131	1.206
1989	1.034	750	901	1.005	1.664	2.113	2.003	1.690	1.313	1.339	1.359	829	1.337
Prom.	521	447	454	701	1.203	1.629	1.579	1.452	1.273	1.002	867	663	985
%	52,9	45,4	46,1	71,2	122,2	165,4	160,3	147,4	129,3	101,7	88,1	67,4	100,0