

Particularidades del escurrimiento de la cuenca cubana San Juan

Katia Luisa del Rosario Rodríguez e-mail: katia.rosario@mtz.insmet.cu
Centro Meteorológico Provincial. Matanzas. Cuba.

Viera Petrova Nicolaevna e-mail: vierapetrova70@yahoo.com
Alberto Cuéllar Valenzuela e-mail: alberto@uebcolon.hidro.cu
Dailene Acosta Freyre e-mail: daylene@uebcolon.hidro.cu
Empresa de Investigaciones, Proyectos e Ingeniería. INRH. Matanzas.

Armando Hernández Valdés e-mail: armando@cih.cujae.edu.cu
Haydée Llanusa Ruiz e-mail: hllanusa@tesla.cujae.edu.cu
Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), Habana.

RESUMEN

La cuenca San Juan, dividida en las subcuencas San Juan, San Agustín y Cañas, difiere totalmente de otras cuencas de la provincia. Los altos valores de los módulos del escurrimiento medio de los ríos y sus distribuciones dentro del año e hiperanual confirman esta particularidad, la cual fue comprobada con las investigaciones complementarias realizadas durante el periodo seco del 2011. El análisis del comportamiento del escurrimiento de la subcuenca San Agustín-Cañas, incluyendo el funcionamiento del trasvase Matanzas-Mayabeque, conllevó a los decisores a desarrollar un programa de gestión integrada de los recursos hídricos de esta cuenca.

Palabras clave: alimentación subterránea, escurrimiento superficial, trasvase.

Runoff particularities of Cuban basin San Juan

ABSTRACT

The San Juan basin, divided into sub-basins San Juan, San Agustín and Cañas, is completely different from other basins in the province. The high modular values of average river runoff, its within-year distribution and its overyear distribution confirm this peculiarity, which was checked with additional research conducted during the dry period of 2011. The behavior of the subbasin runoff of San Agustín-Cañas, including the operation of the water diversion canal Matanzas-Mayabeque, led the decision makers to develop an integrated water resources management program for this basin.

Keywords: groundwater recharge, runoff, water diversion canal.

INTRODUCCIÓN

La hidrografía cubana se caracteriza por la existencia de ríos cortos y poco caudalosos. Esto se debe al relieve y al clima de la isla. Debido a la configuración del archipiélago cubano, los ríos corren principalmente en las direcciones norte o sur desde el parteaguas central, que forma las alturas y elevaciones. El caudal de los ríos está en correspondencia con el clima, definido por dos estaciones en el año: período húmedo y seco. Su régimen se determina por las precipitaciones atmosféricas y la alimentación subterránea, esta última en algunos casos garantiza el escurrimiento base y permanencia durante todo el año. Las precipitaciones en forma de lluvia, y a menudo con carácter de aguaceros, tienen lugar sobre todo en el período húmedo, comprendido de mayo a octubre, lo cual determina el 60 % - 90 % del total anual.

El presente estudio está dedicado al análisis y evaluación del escurrimiento superficial de la cuenca San Juan, que permita su uso sostenible a través de la gestión y preservación de las condiciones medioambientales de la misma.

El área de estudio se ubica en las coordenadas conformes de Lambert: 422000 a 435000 Este y 361000 a 339000 Norte del sistema Cuba Norte; limita al norte con la cuenca hidrológica del río Yumurí, al sur con el parteaguas hidrológico de las vertientes norte-sur, al este con las cuencas hidrológicas de los ríos Bueyvaca y Canímar y al oeste con el límite de la provincia Mayabeque.

La cuenca está constituida por las sub-cuencas de los ríos San Agustín, Cañas y San Juan, tiene una forma casi cuadrada, alcanzando uno de sus ángulos la ciudad de Matanzas (figura 1).

La cuenca se presenta como una llanura ondulada con elevaciones en las líneas divisorias de las aguas al sur y oeste hasta 250 m.s.n.m. Geológicamente la cuenca está formada casi completamente por calizas cársicas, excepto el tramo comprendido entre el nacimiento del río San Agustín y el punto con las coordenadas: N354400 y E428200, el cual está constituido por serpentinatas. Con frecuencia se observan depresiones cársicas, que varían de tamaño desde varios m² hasta 1 – 2 km², a través de las cuales se infiltra parte del escurrimiento superficial. Las potentes salidas de manantiales como Bello en el río Cañas y La Gloria en el San Juan indican el desarrollo cársico en la cuenca. La capa vegetal de la cuenca alcanza un espesor de 1,0-1,5 m en los lugares bajos y llanos y de 0,10-0,15 m en las laderas de las lomas. Los terrenos llanos de la cuenca son cultivables, alcanzando un área roturada del 50-60 %. El cultivo predominante es la caña de azúcar. El resto del área está dedicada a pastos, cultivos varios, arbustos y bosques de palmas.

La red fluvial está constituida por tres ríos principales: San Agustín, Cañas y San Juan. Las características morfométricas de estas cuencas en condiciones naturales se resumen en la tabla 1.

TABLA 1. Principales características morfométricas de las cuencas

No.	Nombre del río y cierre considerado	Coordenadas		A km ²	L m	Y _L ‰	l m	Y ₁ %	H _{med.} m
		N	E						
1	Cañas – Estación Cañas	350488	431938	165	22,5	4,9	1146	29,7	105
2	San Juan – Estación San Juan	353389	438384	63,3	16,9	3,7	549	46,9	84
3	San Agustín – Estación San Agustín III	354366	434322	267	20,5	3,2	990	44,0	105
4	San Juan - Desembocadura	354990	438652	372	30,5	3,0	854	44,6	95
A: Área		L: Longitud del río		Y _L : Pendiente del río					
l: Longitud de la ladera		Y ₁ : Pendiente de la ladera		H _{med} : Altura media de la cuenca					

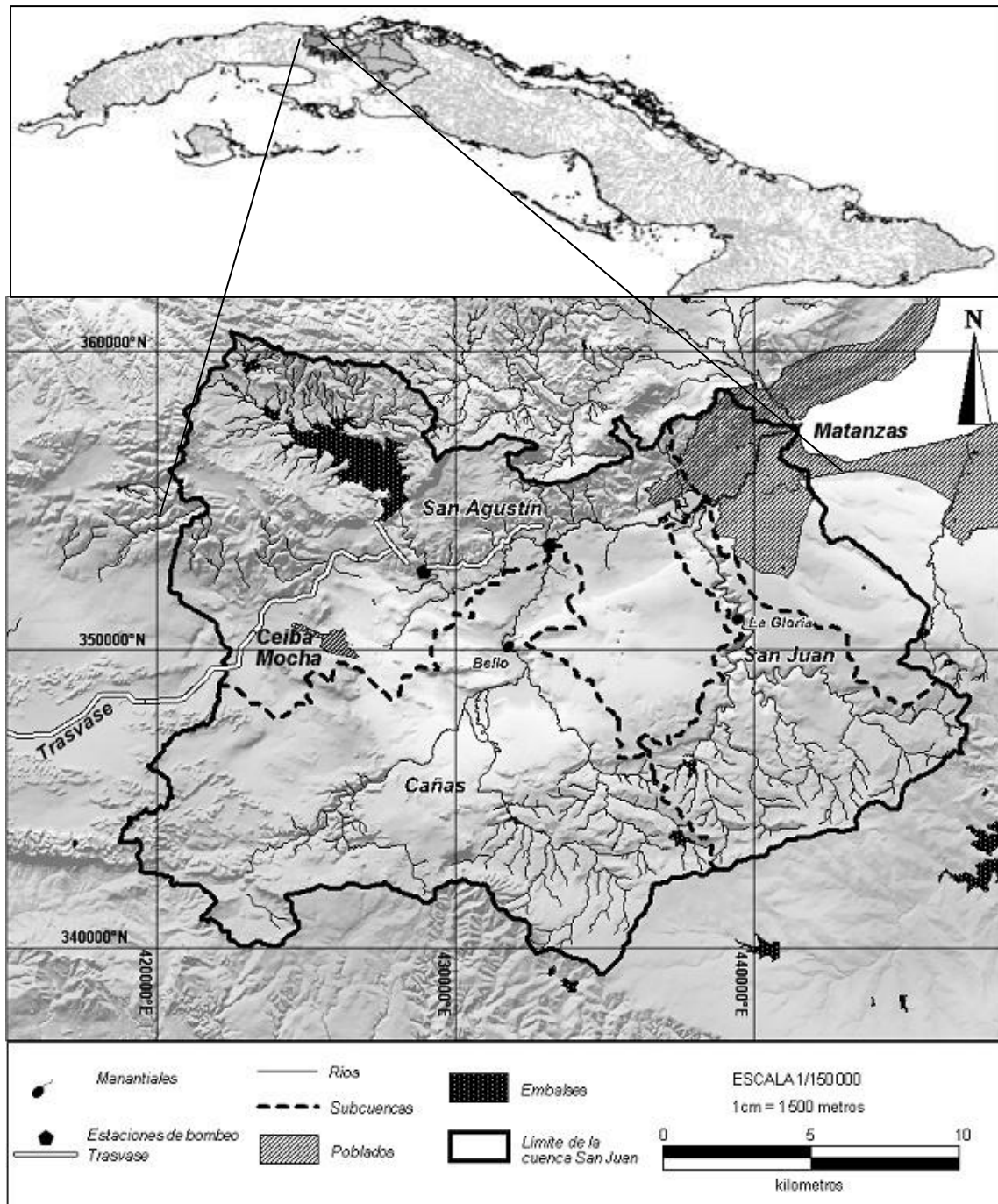


FIGURA 1. Ubicación de la cuenca hidrológica San Juan y las subcuencas San Agustín, Cañas y San Juan

El grado de estudio de la cuenca es suficiente para las condiciones naturales, pues contaba con 4 estaciones hidrométricas con observaciones diarias entre 10 y 30 años (EAH 1991): estación San Juan (1967-1987); estación San Agustín I (1963-1976); estación San Agustín III (1963-1990); estación Cañas (1967-1990). Al cierre de estas estaciones se recalcularon los escurrimientos para cada una de ellas (Petrova 1997). Existen, además, varios estudios hidrológicos que datan de los años 1970 -1986.

Las características climáticas de la región corresponden a un clima marino, húmedo, de tipo tropical. Se pueden establecer dos períodos climáticos bien definidos, uno seco de noviembre a abril y otro húmedo de mayo a octubre. Las temperaturas medias anuales son de 23,8 °C con un máximo absoluto de 36,1 °C en el mes de mayo y mínimo absoluto de 6,6 °C en el mes de enero.

Según Del Rosario y Petrova (2011) el comportamiento de la precipitación anual para las subcuencas San Agustín, Cañas y San Juan es similar; en el análisis se identifican ciclos –períodos de ascenso y descenso– de 16 años y períodos estacionales con tendencias descendentes (secos) y ascendentes (lluviosos) de 8 a 9 años. Desde 1967 hasta 1982-1983 se observa un período húmedo el cual termina con el evento del Niño en los primeros meses de 1983, continuando el período más seco registrado hasta 1990, le sigue un período de ascenso hasta 1999 y se inicia nuevamente otro descenso que aún se refleja en nuestros días. De repetirse el patrón observado, el ciclo debe cambiar en el 2014 ó 2015 y desde ahora hasta entonces los años deben ser más secos que los anteriores. Se resaltan años de sequía consecutiva para ambas: 1983–1987 y 2003–2004; así como el período lluvioso: 1991–1999.

Los recursos de esta cuenca se utilizan desde hace muchos años, en gran parte para abasto de la ciudad de Matanzas, a partir de los campos de pozos San Juan y Conde y del escurrimiento superficial no regulado de los manantiales Bello y La Gloria. Esta explotación está implícita dentro de los datos registrados en las estaciones hidrométricas.



FIGURA 2. Esquema de trasvase Matanzas – Habana

En los años 1988-1990 se construyó el trasvase Matanzas–Habana (actualmente Matanzas-Mayabeque), pero no se estaba explotando. El trasvase incluye muchas obras hidráulicas en las

provincias Matanzas y Mayabeque (figura 2), entre las cuales el mayor interés para este estudio lo representan las derivadoras San Agustín I, II, III y el embalse Caunavaco.

El proyecto original (Delgado 1991) plantea almacenar en el embalse Caunavaco el volumen de escurrimiento del río San Agustín correspondiente al período húmedo, para suplir el déficit que se presente en el período menos lluvioso en los sistemas de riego de la región de Mayabeque, previa entrega de agua a aquellos usuarios que la reciben directamente del trasvase.

En el período lluvioso, con dos bombas de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ se trasvasaría desde la derivadora San Agustín I, el volumen correspondiente a través del canal –considerando un caudal de diseño de $8 \text{ m}^3/\text{s}$ por 20 horas al día de trabajo de la estación de bombeo– hacia la estación de rebombeo San Agustín II. El régimen de bombeo sería irregular, en dependencia del nivel en el río y su recuperación. Desde San Agustín II, con una capacidad instalada de dos bombas de $2,22 \text{ m}^3/\text{s}$ y $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$, se realizaría el rebombeo hacia el embalse Caunavaco para almacenar el volumen de escurrimiento correspondiente al período húmedo trasvasado desde la derivadora San Agustín I y de los volúmenes de compensación que aporta el propio embalse. Durante el período seco el agua se enviaría por gravedad desde el embalse Caunavaco hacia la estación de rebombeo San Agustín III y de esta hacia la derivadora Pedroso.

Teniendo en cuenta lo planteado en el proyecto, el trasvase se realizaría en el período húmedo. Considerando las pérdidas (15-20 %) y el escurrimiento propio hasta el cierre del embalse Caunavaco de $15,17 \text{ hm}^3$, se tendría un volumen para el trasvase de $64,97 \text{ hm}^3$.

Las modificaciones antrópicas en la cuenca, además de las variaciones de las precipitaciones son muy importantes a la hora de analizar el comportamiento hídrico de los ríos para prever el uso sostenible a través de la gestión y preservación de condiciones medioambientales.

Pero debido a los problemas energéticos en el país de los años 90, el trasvase Matanzas-Mayabeque no pudo comenzar a funcionar hasta noviembre de 2008, después de realizarse un mantenimiento capital y cambio de los paneles de la estación de bombeo San Agustín I.

Hasta el momento en que se concluye este estudio, el agua no se trasvasaba hacia el embalse Caunavaco como fue diseñado en proyecto, debido a que el canal de entrada está gravemente socavado, por tanto la extracción del escurrimiento superficial se realizaba en el período seco (Cuéllar et al. 2011).

METODOLOGÍA

La caracterización del comportamiento del escurrimiento de la cuenca de estudio se realizó a partir de la descripción estadística de las series de niveles y gastos de las estaciones hidrométricas y la selección de los años modelos a partir del análisis de masa simple de la lluvia y los gastos.

La distribución del escurrimiento se analizó por el método de analogía con los años de observaciones, considerando aquellos años cuyo valor de gasto promedio anual fuera similar al gasto de probabilidad de cálculo. Todos los análisis se realizaron considerando el año hidrológico.

Se utilizaron los métodos gráficos y de comparación de los datos de las observaciones históricas y las realizadas al paso de las investigaciones, considerando la explotación de las aguas subterráneas y el funcionamiento del trasvase Matanzas-Mayabeque.

ANÁLISIS DEL RÉGIMEN DEL ESCURRIMIENTO DE LA CUENCA SAN JUAN-SAN-AGUSTÍN-CAÑAS

Condiciones específicas de formación del escurrimiento de la cuenca San Agustín–Cañas-San Juan

Para el estudio del régimen de los escurrimientos de estos ríos se utilizaron los datos de las estaciones hidrométricas San Agustín III con la serie de observaciones de 28 años (1963-1990) y San Juan con serie de 21 años (1967-1987).

Para el procedimiento estadístico de estas series de las observaciones en ambas estaciones se generaron los años hidrológicos, o sea de mayo a abril.

Río San Agustín

La serie de observaciones de la estación hidrométrica San Agustín III es válida para la caracterización del régimen de escurrimiento para la subcuenca San Agustín–Cañas.

Analizando los hidrógrafos anuales del río San Agustín, en comparación con los otros ríos de la provincia, se observa que presenta grandes diferencias, expresadas en el elevado valor del escurrimiento base anual, la poca diferencia entre los gastos promedios de los períodos húmedo y seco y la menor cantidad de picos de avenidas, de 10 a 13, a diferencia con la cantidad de 20-25 en el resto de los ríos. Se realizaron las comparaciones para cada año de la serie existente entre el escurrimiento del período húmedo y seco, obteniendo como promedio anual que la diferencia entre los gastos del período húmedo y seco es de 40 % y a la parte del escurrimiento del período seco corresponde 42,2 % dentro del año. A la temporada crítica, marzo-abril, corresponde un valor de 13 % del total anual, correspondiente a 19,2 hm³, lo cual es equivalente al volumen mensual de uno de los meses más lluviosos, septiembre u octubre, para un año húmedo.

El módulo del escurrimiento hiperanual para la cuenca es de $M = 17,6 \text{ L/s/km}^2$, siendo el valor para el resto de los ríos de la provincia de 8-9 L/s/km². El coeficiente de variación del escurrimiento es $C_v = 0,16$.

Aunque para el clima tropical marítimo de la isla y provincia, la única fuente de recursos hídricos superficiales y subterráneos son las precipitaciones, para el caso de esta cuenca, no le corresponde a las avenidas provocadas por las lluvias del período húmedo, el papel principal dentro de la formación del escurrimiento anual.

A las avenidas corresponde un 17,7 % del total anual nada más. Como es lógico el mayor tanto por ciento correspondiente a las avenidas del total del año se presenta en los años húmedos.

Este comportamiento totalmente anómalo en comparación con los otros ríos se explica porque el río naturalmente está regulado por la presencia de una parte significativa del escurrimiento base, cuya fuente es la alimentación subterránea a través de las salidas de numerosos manantiales, entre ellos los potentes manantiales Bello.

Río San Juan - afluente

El análisis del patrón hídrico de este río está basado en los datos de la serie de observaciones de la estación hidrométrica San Juan, la cual fue ubicada aproximadamente a 6 km de la desembocadura (confluencia con San Agustín).

Se realizaron los mismos procesamientos de los datos como en el río San Agustín y los resultados y conclusiones fueron similares.

El gasto hiperanual es de $Q_0 = 0,99 \text{ m}^3/\text{s}$, el módulo $M_0 = 15,6 \text{ L/s/km}^2$ y el coeficiente de variación $C_v = 0,23$, para un área de la cuenca de $63,3 \text{ km}^2$.

A los volúmenes del período seco corresponde un 38,2 % y a la temporada crítica (marzo-abril) un 12,1 %. Los valores son algo menores que para el río San Agustín, pero demuestran que el río San Juan también está regulado naturalmente por la alimentación subterránea. De forma similar se encuentra diferencia en las cantidades de grandes picos de avenidas, las cuales para los años característicos son de 3 a 6, siendo este un número aún menor que en San Agustín.

Según la geología de la cuenca, el origen de los manantiales La Gloria es diferente al de Bello y tienen un gasto promedio de 0,35 a $0,37 \text{ m}^3/\text{s}$.

Distribución del escurrimiento para los años de distintas probabilidades

Antes de procesar la serie de gastos anuales se comprobó su homogeneidad por el método de masa simple y se analizó su relación con la lluvia anual de la serie patrón mediante el gráfico de dispersión.

Basados en las probabilidades de las lluvias anuales se seleccionaron los años característicos, como húmedo, medio y seco, para determinar los hidrógrafos diarios y analizar la distribución del escurrimiento por períodos y por meses.

San Agustín

Según Del Rosario y Petrova (2011), los análisis de masa simple de los gastos muestran una desviación a partir del año 1983–84, la cual coincide con el análisis de variabilidad de la lluvia y se identificó un período de sequía prolongada a partir de 1983–84 hasta 1990, el cual es menos evidente en la subcuenca San Agustín–Cañas. Estos análisis indican que el estudio del régimen del escurrimiento debe incluir años representativos anteriores y posteriores a 1984. Teniendo en cuenta la correspondencia entre las probabilidades de la lluvia y los gastos, fueron seleccionados 3 años, los cuales se utilizaron como representativos de la distribución del escurrimiento de los años medio, húmedo y seco (tabla 2).

TABLA 2. Distribución del escurrimiento para años de diferentes probabilidades. Río San Agustín–Estación San Agustín III (W-volumen anual; Q-gasto medio anual)

Año	Unidad	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Año
Húmedo 1978-79	%	7,10	14,30	9,50	7,80	12,00	9,60	6,10	8,30	6,50	6,20	6,10	6,50	100,0
	W h m ³	11,66	23,5	15,61	12,81	19,72	15,77	10,02	13,64	10,68	10,19	10,02	10,68	164,3
	Q, m ³ /s	4,35	9,07	5,82	4,78	7,61	5,88	3,87	5,09	3,98	4,21	3,74	4,12	5,21
Medio 1988-89	%	6,9	9,2	7,90	9,8	12,8	10,1	7,3	8,0	7,6	7,0	6,6	6,8	100,0
	W h m ³	10,29	13,73	11,77	14,62	19,1	15,07	10,89	11,94	11,34	10,44	9,85	10,16	149,2
	Q, m ³ /s	3,84	5,3	4,39	5,45	7,37	5,62	4,2	4,34	4,23	4,31	3,67	3,93	4,73
Seco 1980-81	%	6,50	10,40	11,30	7,80	8,40	10,70	7,30	8,70	7,70	7,50	6,80	6,90	100,0
	W h m ³	8,51	13,61	14,79	10,21	11	14,01	9,55	11,39	10,08	9,82	8,9	9,03	130,9
	Q, m ³ /s	3,17	5,25	5,52	3,81	4,25	5,23	3,69	4,25	3,76	4,06	3,32	3,49	4,15

Estos resultados demuestran, una vez más, que el patrón hídrico de esta cuenca se debe en gran medida al aporte de las aguas subterráneas. Esto se observa en la distribución en tanto por ciento del escurrimiento para los años de distintas probabilidades y distintos períodos, cuando los valores mensuales varían muy poco, en el orden de 15-18 %, siendo algo mayores en los meses del final del período húmedo, septiembre-octubre, y en los años medio y seco en el primer mes del período seco.

Río San Juan

Para el río San Juan se realizaron los mismos procedimientos (Del Rosario y Petrova 2011). El análisis de masa simple para los gastos mostró una ligera desviación a partir del año 1983, lo cual coincide con el análisis de variabilidad de la lluvia realizado con la subcuenca San Agustín.

Los datos de la tabla 3 demuestran poca diferencia en los valores de los gastos medios anuales, aunque para los años húmedo y medio durante el período húmedo, aparecen valores altos característicos de los ríos menos regulados naturalmente, lo cual es el caso de este río.

Los 3 años modelos para esta subcuenca difieren de los del San Agustín en la selección de los años húmedo y medio. Para San Juan se seleccionó el año hidrológico 1973-74 como medio, porque en el año 1988 se cerró la estación hidrométrica.

TABLA 3. Distribución interanual del escurrimiento para años de diferentes acuosidades. Río San Juan - Estación San Juan

Año	Unidad	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	AÑO
Húmedo	%	11,20	8,80	8,80	14,92	10,68	14,48	4,51	4,53	5,94	5,30	5,46	5,38	100,0
1978-79	W 10 ⁶ m ³	3,99	3,10	3,13	5,3	3,91	5,12	1,60	1,61	2,11	1,89	1,94	1,90	35,6
	Q, m ³ /s	1,49	1,20	1,17	1,98	1,51	1,91	0,62	0,60	0,78	0,78	0,72	0,73	1,13
Medio	%	7,65	12,73	8,78	10,1	13,15	11,12	7,01	5,95	6,11	5,69	6,05	5,66	100,0
1973-74	W 10 ⁶ m ³	2,39	3,97	2,74	3,15	4,1	3,47	2,19	1,86	1,91	1,78	1,88	1,76	31,2
	Q, m ³ /s	0,89	1,53	1,02	1,17	1,58	1,29	0,84	0,69	0,71	0,74	0,70	0,70	0,99
Seco	%	9,14	9,33	9,25	7,58	10,78	8,36	12,37	6,36	7,06	6,13	7,28	6,36	100,0
1980-81	W 10 ⁶ m ³	2,39	2,44	2,42	1,98	2,82	2,19	3,24	1,67	1,85	1,61	1,92	1,67	26,2
	Q, m ³ /s	0,89	0,94	0,9	0,74	1,09	0,82	1,25	0,62	0,69	0,66	0,72	0,64	0,83

Investigaciones complementarias

Para conocer las condiciones actuales del régimen hídrico, teniendo en cuenta la puesta en funcionamiento del trasvase Matanzas-Mayabeque a partir del final del año 2008, fue recopilada la información sobre la explotación del embalse Caunavaco y la derivadora San Agustín III y se realizaron mediciones de las velocidades de las corrientes en varios cierres de los ríos San Agustín, Cañas y San Juan, cuyos resultados y ubicación se muestran en la tabla 4 y figura 3.

Primeramente se comprobó la correspondencia de los gastos a lo largo de los ríos. La suma de los gastos del río San Agustín (campismo Paso del Medio) y Cañas (puente de los tubos sin el bombeo de los manantiales Bello) se corresponde con el gasto aforado en el cierre del puente La Julia, ubicado aguas abajo y muy próximo a la derivadora San Agustín I: $Q_{PM} + Q_{CAÑAS-LOS TUBOS} = Q_{Julia}$; $420 + 1479 = 1899$ L/s; $1899 \approx 1853$ L/s.

Nótese que existe correspondencia entre los gastos aforados en el puente militar de los tubos del río Cañas (1479 L/s) y en la antigua estación Caña, después de 90 minutos de parada del sistema de bombeo de los manantiales Bello (1471 L/s, tabla 4). La comparación de los gastos aforados del manantial La Gloria con bombeo y sin bombeo, o sea, 160 L/s y 265 L/s, confirma que esta diferencia corresponde a lo que se extrae por el equipo instalado con una capacidad de 90 L/s.

TABLA 4. Resultados de los aforos de los ríos San Agustín, Cañas y San Juan

No	Lugar	caudal (L/s)	fecha	Observaciones
1	Sección aguas arriba puente de tubos sobre el río Cañas	1479	27/04/2011	
2	Paso del Medio sobre el río San Agustín.	420	05/05/2011	
3	Puente La Julia sobre el río San Agustín.	1853	05/05/2011	
4	Sección Manantiales Bello (s/vertical 6)	1178	28/04/2011	Pozos bombeando
5	Sección Manantiales Bello (con/vertical 6)	1257	28/04/2011	Pozos bombeando
6	Sección Manantiales Bello (30 min de parado sistema)	1413	28/04/2011	Pozos parados
7	Sección Manantiales Bello (90 min de parado sistema)	1471	28/04/2011	Pozos parados
8	Manantial La Gloria río San Juan. (eq. bombeando)	160	04/05/2011	Aforo en canal
9	Manantial La Gloria río San Juan. (eq. bombeando)	166	04/05/2011	Aforo en tubos
10	Manantial La Gloria río San Juan. (Sin bombeo)	265	04/05/2011	Aforo en canal
11	Manantial La Gloria río San Juan. (Sin bombeo)	256	04/05/2011	Aforo en tubos
12	Vertedor del río San Juan.	3006	04/05/2011	
13	Antigua estación San Juan.	334	06/05/2011	Poca velocidad
14	Vertedor del Trasvase entre las estaciones No 1 y 2.	2419	06/05/2011	Comprob. molinete
15	Vertedor del Trasvase entre las estaciones No 2 y 3.	1966	13/05/2011	Comprob. molinete

El aforo en el cierre de la antigua estación San Juan, el cual resultó ser de 334 L/s, es muy dudoso, en comparación con el mes de abril de los años secos, 1980-81 y 1985-86, que es de 560 – 600 L/s.

Las mediciones en los tramos del canal entre las derivadoras I a II y II a III, fueron de 2419 L/s y 1966 L/s respectivamente, lo que también confirma que los mismos son reales, pues se realizaron con la estación de bombeo San Agustín I trabajando con la capacidad de bombeo 2500 L/s. Si se tienen en cuenta las pérdidas por conducción que plantea el proyecto original de 15 – 20 %, entonces los valores son satisfactorios.

Las mediciones en el vertedor del río San Juan fueron realizadas en condiciones muy difíciles, pues ya la obra está destruida casi totalmente, las velocidades de la corriente eran grandes y algunas profundidades mayores de 1 m. El gasto de esta triple cuenca fue de 3006 L/s, este valor es similar al de la suma de los gastos en el cierre de San Agustín – puente La Julia, de San Juan – antigua estación y el gasto del área complementaria entre estos cierres y el cierre del vertedor, la cual es de 42 km². Si se considera el módulo del escurrimiento para esta área complementaria igual que el de la estación San Agustín III, de 17,6 L/s/km², se obtiene un gasto de 740 L/s y la suma de los gastos de estas tres áreas, 1853 L/s, 330 L/s y 740 L/s, es 2923 L/s que, comparado con el gasto medido de 3006 L/s, se puede comprobar que la coincidencia es aceptable.

Al comparar estos gastos aforados al final del período seco, en el mes de abril y primeros días de mayo del 2011, con los datos del mes de abril de otros años cercanos por las probabilidades (tabla 5), y conociendo que en el tiempo de funcionamiento de las estaciones hidrométricas, el trasvase no existía y las observaciones reflejaban el estado de la cuenca en condiciones casi naturales, se observa que hay afectaciones en el escurrimiento base del río San Agustín debido a la operación incorrecta del trasvase. Esto se demuestra en el cierre del puente La Julia, cercano a la derivadora San Agustín I, donde la diferencia es del orden 1300 L/s – 1500 L/s, lo que corresponde al funcionamiento de los equipos de bombeo con la capacidad de 2,5 m³/s durante 12-14 horas por día, que según los registros del gasto extraído, para el mes abril del 2011, el promedio bombeado fue de 1510 L/s.

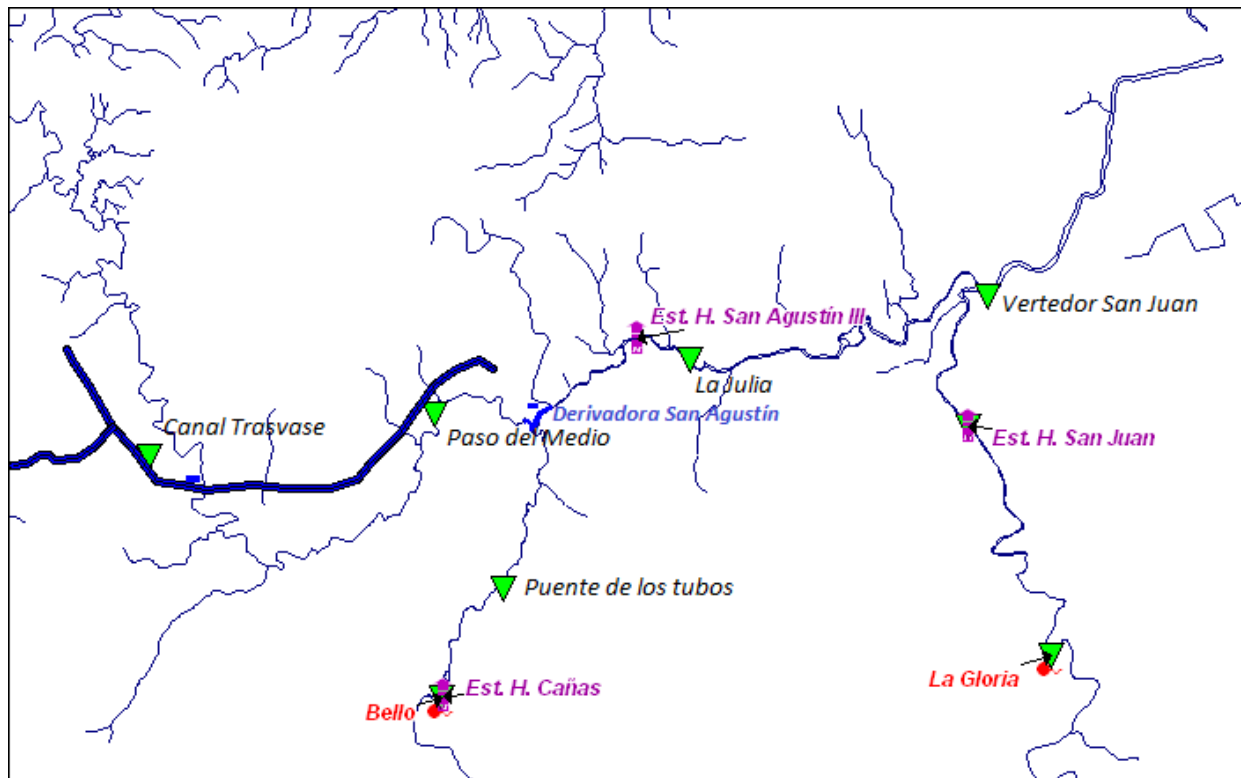


FIGURA 3. Esquema lineal del sistema fluvial de la cuenca y puntos donde se realizaron las mediciones de corriente

Los valores para el manantial La Gloria y la estación San Juan de las campañas del año 1990 y 2011 son similares, lo cual es lógico, pues el escurrimiento del afluente San Juan no depende del aporte de los manantiales Bello, ni del funcionamiento del trasvase.

TABLA 5. Comparación de los gastos (L/s) del mes de abril de diferentes campañas

Lugar	3/2/90	19/4/90	Abr/1983	Abr/81	Abr/86	A-M/2011
San Juan-estación	350	350		560	600	334
Manantiales La Gloria			300			265
Manantiales Bello	1723	1969				1471
La Julia (Estación S.A.III)				3360	3150	1853

Al analizar la tabla 6, el escurrimiento base, que se determina como el valor mínimo del gasto anual registrado en las series de observaciones hidrométricas de la estación San Agustín III, varía para los años desde muy seco hasta el húmedo de 4,22 m³/s a 2,60 m³/s.

Si se comparan los volúmenes de la explotación (We), obtenidos en los registros de la oficina del Trasvase de la EAH de Matanzas, y del escurrimiento base (Wb), el cual corresponde a la alimentación subterránea, a primera vista no se detecta ningún inconveniente para la explotación, de igual forma la comparación de los volúmenes de explotación (We) y del periodo seco (Wps), cuando actualmente se realiza el trasvase, también parece satisfactoria. Pero esto es sólo en los términos de valores anuales.

TABLA 6. Escurrimiento base y volúmenes de explotación del río San Agustín – Estación San Agustín III

Año	Qb m ³ /s	Wb hm ³	Wps hm ³	We del trasvase (hm ³)		
				2008-09	2009-10	2010-11
1969-70	4,22	133,1	66,5	11,52	12,07	8,24
1988-89	2,66	83,9	41,9			
1980-81	3,29	103,8	51,9			
1985-86	2,60	82,0	41,0			

Un análisis más detallado arroja lo contrario. Teniendo en cuenta que las probabilidades de los gastos y de las precipitaciones (PLL) fueran similares, se compararon los hidrógrafos de los gastos diarios medidos durante los años de observación, reflejando estos la condición natural del río, con los hidrógrafos de estos gastos reducidos por la correspondiente explotación diaria de los años de funcionamiento de trasvase 2008, 2009 y 2010 (Q-QE08, Q-QE09 y Q-QE10), considerándose estos hidrógrafos como el reflejo de la condición natural afectada.

El gasto diario mínimo, representado como gasto crítico (QCrítico), ocurrido en el río durante el período de observación de 28 años es de 2,31 m³/s, que corresponde a un volumen del escurrimiento base de 36,4 hm³.

Para el año muy húmedo 1969-1970 (figura 4), se ve que los valores de los gastos de los hidrógrafos afectados por la explotación descontada, se encuentran entre los valores del gasto mínimo anual en su condición natural y el gasto crítico, reflejándose, en ocasiones, el gasto del hidrógrafo por debajo del valor crítico.

El cuadro más desfavorable se presenta para el año seco 1985-1986 (figura 5), donde los valores de los gastos del hidrógrafo afectados por la explotación se encuentran, en la mayoría del período, por debajo del valor crítico.

Todo lo descrito anteriormente indica que se debe realizar un manejo óptimo e integral de los recursos hídricos en este territorio, pues de no considerarse la afectación de la componente subterránea - que conforma el escurrimiento superficial - durante el período poco lluvioso, por la explotación indebida en el período seco del Trasvase, se reduciría la escorrentía permanente que conllevaría a la disminución de los recursos subterráneos y por consiguiente afectaría el equilibrio hídrico y ecológico de la cuenca.

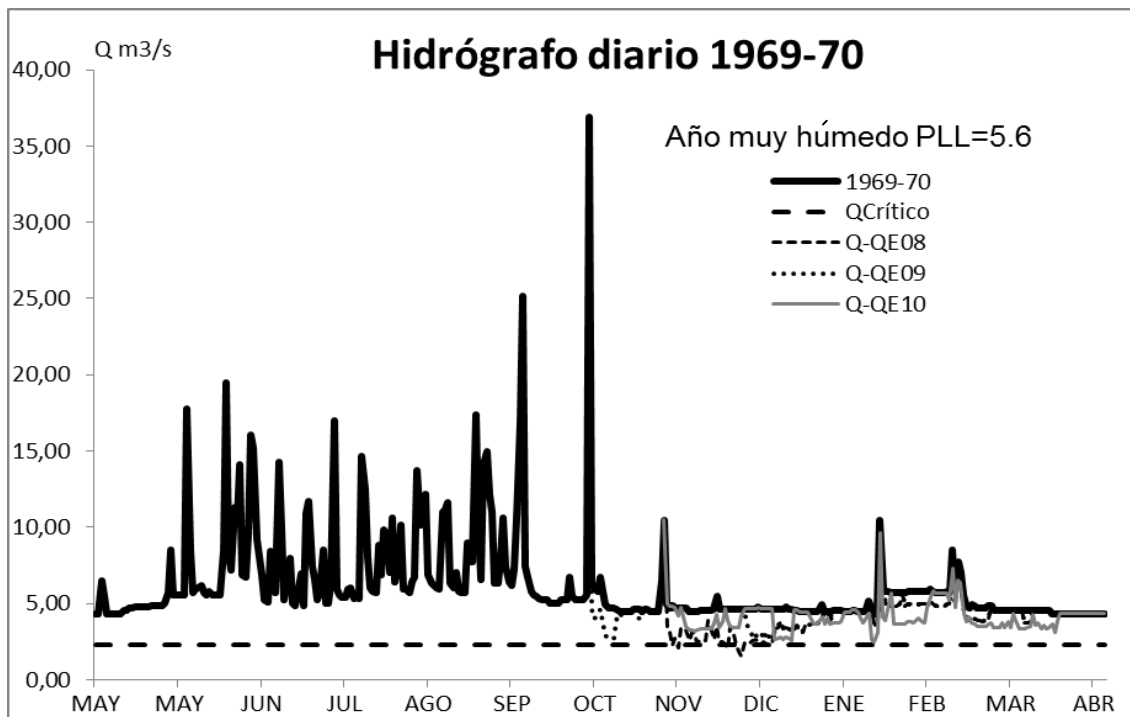


FIGURA 4. Hidrógrafo diario en condición natural y afectada por la explotación diaria de los años 2008-09, 2009-10 y 2010-11. (río San Agustín–estación San Agustín III: año húmedo)

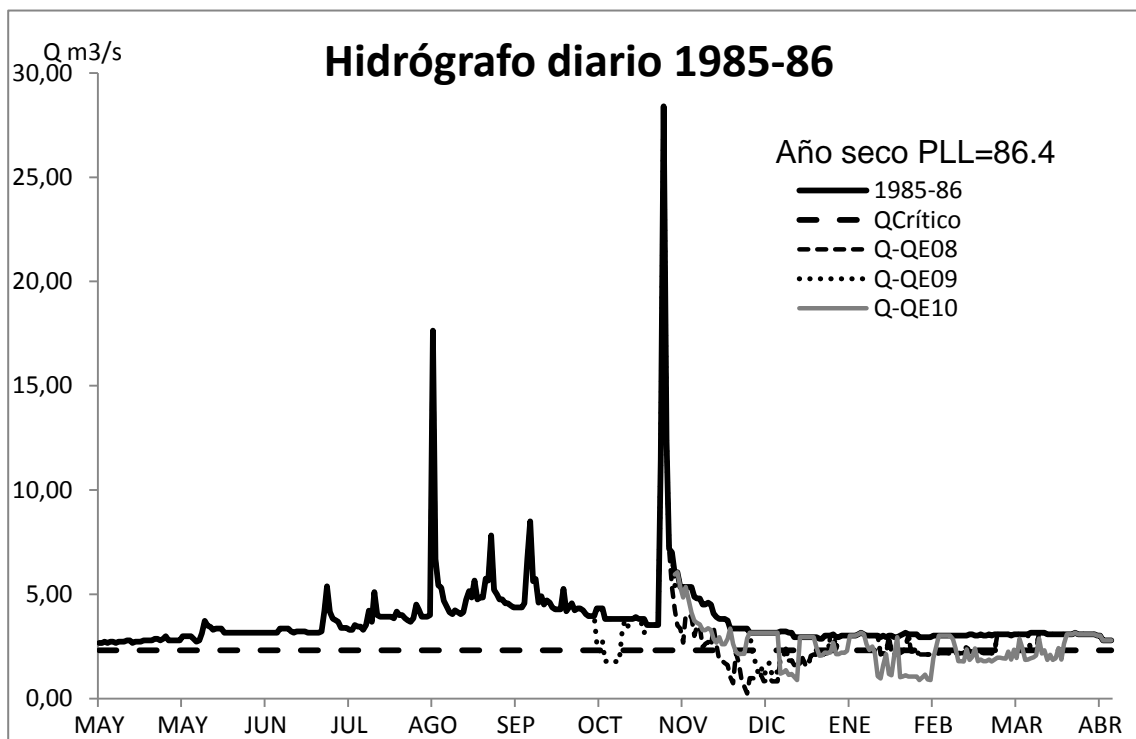


FIGURA 5. Hidrógrafo diario en condición natural y afectada por la explotación diaria de los años 2008-09, 2009-10 y 2010-11. (río San Agustín – estación San Agustín III: año seco)

CONCLUSIONES

La correspondencia entre el análisis de las series de observación de las antiguas estaciones hidrométricas y de los resultados de las investigaciones complementarias, demostró que las condiciones naturales del escurrimiento base de la cuenca San Juan – San Agustín – Cañas aún se mantienen.

El escurrimiento base, durante el período seco, de la subcuenca San Agustín-Cañas, está afectado debido a que el funcionamiento del trasvase Matanzas–Mayabeque no se corresponde en la actualidad con lo proyectado originalmente, dado el deterioro técnico del sistema de canales, menor capacidad de bombeo instalada, variación en las demandas de los usuarios y el no cumplimiento del régimen de explotación durante los períodos del año hidrológico.

Los resultados obtenidos permitieron que los gestores de los recursos hídricos elaboraran e iniciaran la implementación de un programa cuyo objetivo principal es el manejo integral sustentable de los recursos hídricos de la cuenca. Dentro de las acciones realizadas está la reconstrucción del canal de entrega al embalse Caunavaco, así como la continuación del programa de investigaciones hidrogeológicas e hidrológicas del territorio.

REFERENCIAS

Cuéllar A., Del Rosario K., Petrova V., Acosta D. (2011). “Evaluación del estado actual de la cuenca M-I”. Informe Técnico 077-08-02C-11. Empresa Investigaciones, Proyectos e Ingeniería, INRH, Colón. Matanzas, Cuba.

Delgado E. (1991). “Esquema del Trasvase de las aguas superficiales de la provincia Matanzas a la provincia Habana”. Informe Técnico. Archivo de la Empresa Investigaciones, Proyectos e Ingeniería, INRH, Matanzas. Matanzas, Cuba.

Del Rosario K. y Petrova V. (2011). “Estudio hidrológico de la formación y comportamiento del escurrimiento superficial de la cuenca San Agustín – Cañas – San Juan”. Informe Técnico 077-08-02C-11. Anexo 1. Empresa Investigaciones, Proyectos e Ingeniería, INRH, Colón. Matanzas, Cuba.

EAH (1991). “Escurrecimientos líquidos de la estación hidrométrica San Juan. Matanzas (1967-1987)”. Archivo Empresa de Aprovechamiento Hidráulico, Matanzas, Cuba.

Petrova V. (1997). “Análisis y recálculo de los escurrimientos líquidos de la estación San Agustín III”. Archivo de la Empresa Investigaciones, Proyectos e Ingeniería, INRH. Matanzas, Cuba.