

### 3. Balance Hídrico

En toda cuenca hidrológica debe existir un balance entre la cantidad de agua que recibe la cuenca y la cantidad de agua que sale de ella. Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año. Conocer el balance de humedad en el suelo es importante para evaluar la disponibilidad de agua para los cultivos, estudios hidrológicos, de conservación de suelos, de drenaje, de recuperación de suelos salinos, de repoblación forestal, o el establecimiento del régimen de humedad de los suelos o de criterios de diferenciación climática

La ecuación de balance hídrico explica detalladamente lo antes mencionado, ya que dice que **“para cualquier territorio durante cualquier periodo de tiempo, la diferencia entre la entrada y salida será casi igual al cambio de volumen de agua almacenado”**.

La Ecuación del balance hídrico en su forma general es:

$$P-ET-S-Q=0$$

Donde las entradas de agua en la ecuación están representadas por la precipitación (P) y las salidas por la evaporación (ET), los flujos superficiales (Q) y el almacenamiento de aguas subterráneas. Esta última se omitirá en este estudio debido a que hay poca información existente sobre aguas subterráneas en Panamá.

Así tenemos la fórmula simplificada:

$$Q = P-ET$$

El balance hídrico ha sido elaborado con base en las estaciones hidrometeorológicas, cuyos datos están compuestos por los datos registrados y los estimados

La tabla siguiente muestra el balance hídrico de las estaciones utilizadas, indicando su área (m<sup>2</sup>), precipitación P (mm), evapotranspiración potencial ETP (mm), evapotranspiración real ETR (mm), escorrentía R (mm) y caudal específico (l/s/Km<sup>2</sup>).

**Cuadro N°15:**

**BALANCE HIDRICO SUPERFICIAL**

**CUENCA: RIO SANTA MARIA**

ESTACION	NUMERO	AREA m <sup>2</sup>	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Caudal Especifico, (l/s/Km <sup>2</sup> )		Error %
							Medido	Estimado	
Santa María Santa Fe	132-0101	185.0	3665.0	936.5	833.5	2831.5	89.7	89.7	0.0
Santa María La Soledad	132-0102	337.0	3208.0	984.0	895.1	2298.0	74.2	73.3	1.2
Santa María San Francisco	132-0103	1370.0	2883.5	1028.5	955.0	1928.9	53.1	55.1	1.7
San Juan Alto Jorón	132-0204	254.0	2624.3	1150.3	1069.5	1554.8	49.6	49.2	0.8
San Juan Sitio de Desvío	132-0204	19.3	3200.0	950.0	864.0	2491.0	72.0	74.0	1.3
Gatú San Juan	132-0301	445.0	2936.0	1150.0	1058.0	1878.0	59.6	59.3	0.5

El porcentaje de error que muestra la tabla anterior indica la veracidad que se le puede dar a la consistencia de la información de cada una de las estaciones. Es decir, que las estaciones que han sido rellenadas o cuyo dato se obtuvo por métodos analíticos son consistentes. El porcentaje de error máximo permitido entre caudal específico medido y del balance hídrico estimado no debe ser mayor del 5%.

**4. Mapa de caudales específicos**

El caudal específico es la cantidad de agua que escurre por un área determinada.

$$Q/A, (l/Km^2)$$

El mapa de caudales específicos es el resultado de la calibración del mapa de isoyetas (P) y de la evaporación (ET).

El mapa de caudales específicos para la cuenca del río Santa María contiene información del período 1980-1997, y se ha elaborado con base en el balance hídrico de las estaciones. Se trazó el mapa de evaporación y el mapa de isoyetas anuales para toda la cuenca, estos mapas fueron ajustados con el balance hídrico de las subcuencas con medición de caudal; el ajuste se hizo hasta lograr un balance óptimo, es decir, con errores menores de 10%, luego se extendió el ajuste al resto de la cuenca. El 10% ha sido asignado porque hay subcuencas que no cuentan con información registrada, por lo que muchos datos han sido asumidos.



El coeficiente de Escorrentía es la relación entre la escorrentía y la precipitación. Indica qué porcentaje de la precipitación circula en esa área.

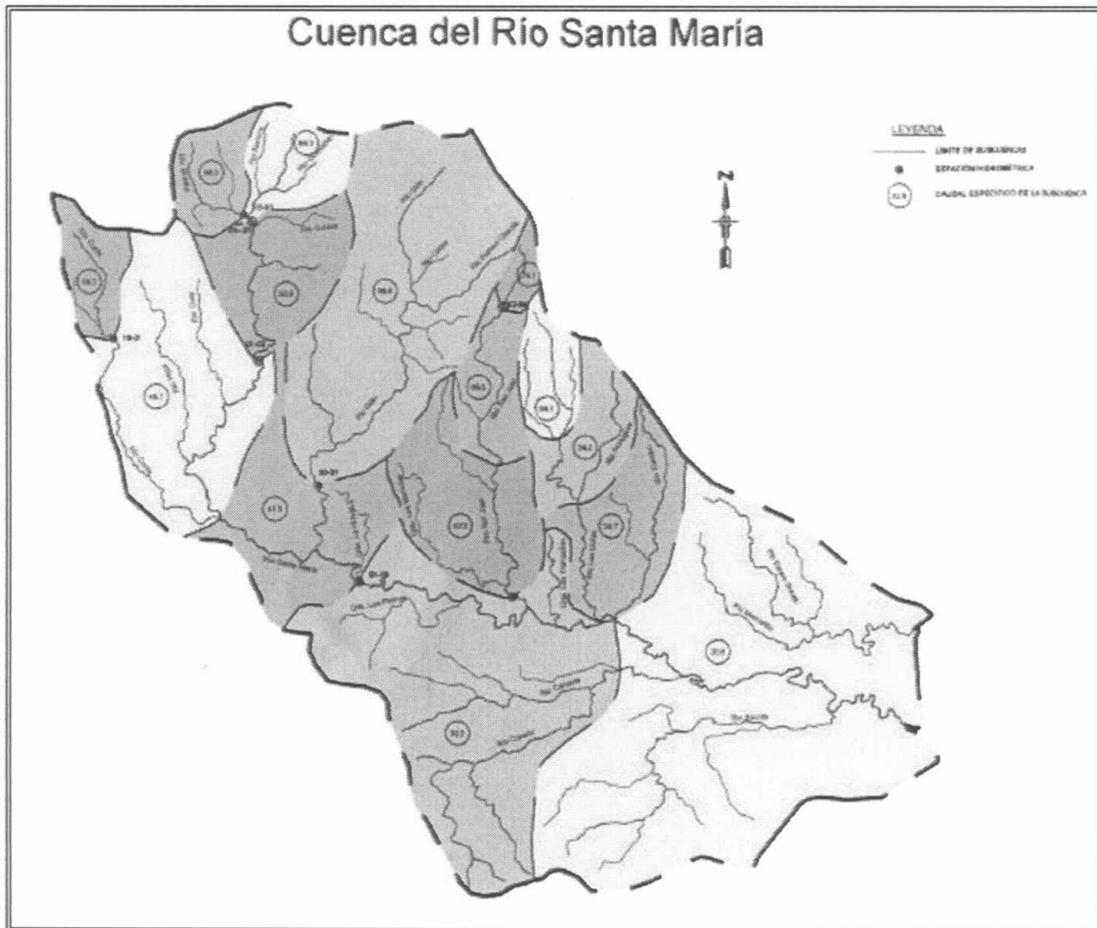
**Cuadro N°16**

CUENCA DEL RÍO SANTA MARÍA  
CAUDALES ESPECÍFICOS, (l/s/Km<sup>2</sup>)

SUB CUENCA	AREA (Km <sup>2</sup> )	P (mm)	ETP (mm)	ETR (mm)	R (mm)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Caudal Esp. (l/s/Km <sup>2</sup> )	Coef. Escorrentía
Santa Fé	101	3621	951	846.4	2774	8.8	88	0.76
La Soledad	152	2628.9	1026.9	955	16602	7.7	50.8	0.61
Corita	302	2576	1084.6	1008.7	1567.3	15	49.7	0.61
Los Corrales	207.5	2358.8	1160.5	1056	1302.7	8.5	41.3	0.55
Estación 132-1601	78.6	2623	958	881.6	1741.7	4.3	56.2	0.66
Santa Fé	84	3896.2	925	804.7	3091.5	8.2	98	0.79
Río Gatú	450.6	3140.8	1031.6	943.9	2196.9	31.4	69.6	0.7
Río Cardenillo y Las Guías parte alta	64.5	2905.9	112.8	1041.4	1864.5	3.81	59.1	0.64
Portugués	105.8	2123.2	1077.6	980.6	1142.6	3.8	36.2	0.53
Río Coccoo y Las Guías parte baja	156.2	1800	1188.1	1021.8	778.3	3.8	24.6	0.43
Cañazas	315.2	2001.3	1200	984	1017.3	10.2	32.2	0.5
Sitio de Desvío	19.3	3200	950	864	2336	1.43	74.1	0.73
Calobre	79.5	3210.2	1106.1	1017.5	2192.7	5.5	69.5	0.68
Alto Jorón	155.2	2398.2	1165.6	1072.3	1325.8	6.5	42	0.55
Desembocadura	1054.6	1657.7	1199.4	1007	650.7	21.7	20.6	0.39

Para las subcuencas sin medición de caudal se ajustaron de acuerdo con el mapa de caudales específicos y el mapa de isoyetas anuales para el período 1980-1997.

**Mapa de caudales específicos:**



El Mapa de caudales específicos tiene la finalidad de poder conocer el caudal en cada subcuenca sin control fluviométrico.

Tomando en cuenta la distribución de las líneas de precipitación se delimitaron las subcuencas, tomando en cuenta el relieve. La cuenca del río Santa María presenta su mayores rendimientos al norte, especialmente en los río Mulabá en la subcuenca Santa Fe a igual que en el río San Juan en su parte más alta. El rendimiento más bajo se observa en la parte baja de la cuenca.

## 5. ESCALA ESPACIAL Y TEMPORAL

El objetivo de la evaluación del recurso hídrico de un territorio es conocer el estado real de los flujos y almacenamiento del ciclo del agua del área en estudio, tomando en cuenta el régimen natural. Esta evaluación del recurso es muy importante, pues se puede usar para convalidar los resultados de los métodos anteriores.

En principio, los métodos de evaluación cuantitativos de recursos hídricos suponen la determinación del recurso o sea la aportación total y su desglose en aportaciones de la red fluvial ( $Q_f$ ) y transferencia subterráneas ( $Q_s$ ).

Lo ideal sería disponer de medidas representativa de ( $Q_f$ ) y de ( $Q_s$ ), entendiéndose por tales medidas continuadas durante un periodo de tiempo extenso que incorpore toda la variabilidad hidrológica del fenómeno. La variabilidad espacial sería contemplada al disponer de tales medidas en los diferentes punto de interés.

Se entiende por escala espacial el numero y distribución de los puntos o fronteras de control en los se evalúa el recurso hídrico. Entre los criterios utilizados para su selección cabe citar los siguientes:

- ✓ Existencia de una estación fluviométrica
- ✓ Tamaño de la cuenca
- ✓ Existencia de un demandante del recurso
- ✓ Frontera con otro sistema o territorio

La escala temporal hace referencia al intervalo de tiempo adoptado en la evaluación de recursos (día, semana, mes) y a la longitud de las series de aportaciones.

El intervalo temporal viene condicionado por futura gestión de cada sistema, que como mínimo precisa la simulación a escala mensual. La evaluación de aportaciones a escala inferior a la mensual (semanal, diario) deberá realizarse sólo cuando la propia especificidad del sistema lo requiera, pues la disponibilidad de datos y su manejo y control disminuye de forma notable. Graficas de comparaciones del periodo divididos cada 5 años.

La serie de aportaciones deberá ser suficientemente larga, siendo conveniente la utilización de un período de registro homogéneo para toda los sistemas en estudio. Este periodo deberá reflejar la variedad hidrológica existente e incluir años secos, medios y húmedos, así como periodos de años consecutivos tanto secos como húmedos.

A través de la información hidrológica ya depurada y homogeneizada para la cuenca del río Santa María y con la construcción del mapa de caudales específicos se pueden obtener caudales sintéticos en las cuencas que no tienen ninguna información hidrológica registrada, esto siempre y cuando sean homogéneas en sus rendimiento, podremos utilizar el método de áreas:

$$Q_1/A_1=Q_2/A_2$$

Donde:

$Q_1$  - Caudal medido en una estación fluviométrica

$A_1$  - Ara de la cuenca

$Q_2$  - Caudal que deseo obtener

$A_2$  - -Área de la cuenca en estudio

A través de la información hidrológica ya depurada y homogeneizada para la cuenca del Santa María, se procedió hacer una comparación entre los parámetros de precipitación y caudal a una escala espacial mensual. Los gráficos muestran cómo reacciona la cuenca ante la ocurrencia de grandes precipitaciones, notándose la relación de estos dos parámetros. Estos gráficos nos ayudan a corroborar que los datos obtenidos estadísticamente son lógicos y consistentes (ver anexo).

## **6. Génesis de los valores extremos**

Los episodios hidrológicos de caudales extremos por exceso o escasez se deben debido al más importante parámetro meteorológico: la precipitación. Cuando el caudal es por exceso es producto un fenómeno meteorológico peculiar de la zona, así

puede ser por huracanes o por otro fenómeno, si el caudal es escaso puede ser por fenómeno climatológico como el efecto del ENSO.

Los parámetros descriptores de las crecidas o sequías no varían sensiblemente con el tiempo. Las crecidas o sequías, las hay y las habrá siempre y en cualquier parte de la tierra.

Aunque no es un fenómeno periódico, si son notables en la probabilidad de ocurrencia dentro del año, ya que son periódicas muchas de las causas que la producen.

#### **6.1. Análisis de crecidas**

Para el análisis de los caudales máximos se usó la información de los caudales máximos instantáneos en la estaciones limnigráficas y los máximos registrados en las estaciones limnimétricas de la cuenca. Se hizo el análisis de frecuencia de los caudales máximos instantáneos con diferentes distribuciones, de las cuales Gumbel I fue la que mejor se ajustó para el estudio. Ver cuadros con los resultados en el anexo.

#### **6.2. Análisis de sequías**

Al igual que para el análisis de crecidas, para el análisis de los caudales mínimos se usó la información de los caudales mínimos instantáneos de las estaciones limnigráficas y los caudales mínimos registrados en las estaciones limnimétricas.

Se determinaron los períodos de retorno tanto para la ocurrencia de caudales máximos como mínimos.

### **B. Sedimentos**

Actualmente no existe información sobre la sedimentación del Río Santa María.