



## Proyecto del Tercer Juego de Esclusas

Traducción

**Nombre del estudio en inglés:** Study of variations and trends in the historical rainfall and runoff data in the Gatun Lake watershed

**Nombre del estudio en español:** Estudio de las variaciones y tendencias en los datos históricos de precipitación y escorrentía en la cuenca del lago Gatún

**Fecha del informe final:** 27 de diciembre de 2001

**Fecha de la traducción:** 17 de mayo de 2006

**Nombre del consultor:** Montgomery Watson Harza

## RESUMEN EJECUTIVO

### E.0 RESUMEN EJECUTIVO

El presente informe sobre el Estudio de las Variaciones y Tendencias en los Datos Históricos de Precipitación y Escorrentía en la Cuenca del Lago Gatún se encuentra organizado en dos volúmenes. El Volumen 1 es el informe principal. El Volumen 2 incluye siete anexos. El informe principal incluye una descripción de la metodología utilizada junto con un resumen de los resultados y cuadros explicativos y anexos. Las definiciones de los términos y abreviaturas utilizados en el informe aparecen después del Índice. El Anexo A incluye referencias citadas en el texto. En los Anexos B, C, D, E, F y G, se presentan los datos históricos, inventario de las estaciones de aforo de precipitación y caudal, datos calculados con series de tiempos y curvas de masa, archivos de entrada-salida de programas de computadora para cálculos, archivos de entrada-salida y resultados detallados de modelos estocásticos y serie de caudales sintéticos con archivos de entrada-salida, respectivamente. Más adelante se trata el resumen del informe.

### E.1 Datos hidrometeorológicos

La Autoridad del Canal de Panamá proporcionó los datos hidrometeorológicos (precipitación y caudal) mensuales. En el Cuadro E-1 se presentan las estaciones de aforo de precipitación y caudal



para las cuales se realizaron análisis estadísticos detallados. A través de Internet, se obtuvieron los datos de los índices climáticos de El Niño y el número anual de manchas solares.

El área de estudio se dividió en tres cuencas:

- Lago Madden: área de la cuenca que desagua hacia el lago Madden
- Aguas abajo de Gatún: área de la cuenca entre la presa de Madden y la presa de Gatún que drena hacia el lago Gatún.
- Gatún total: área de la cuenca total aguas arriba de la presa de Gatún, incluyendo el área de drenaje aguas arriba de la presa de Madden.

Se calculó la precipitación promedio mensual de la cuenca para cada una de las cuencas mencionadas anteriormente, así como el caudal generado por cada una de ellas. Igualmente se realizaron análisis estadísticos para cada una de las tres series de precipitación y de caudal.

## E.2 Revisión de los datos de precipitación y caudal

### E.2.1 Datos de precipitación

El sistema de recolección de datos de precipitación e instrumentación se mantiene en buenas condiciones. En cada estación, se instaló un pluviómetro de cubeta basculante junto con un pluviómetro de almacenamiento operado por flotación. Las observaciones simultáneas de los dos pluviómetros durante los años anteriores fueron casi siempre las mismas, a excepción de algunos casos. Actualmente, el meteorólogo de la ACP utiliza la observación de cualquiera de los dos pluviómetros, basándose en observaciones en las estaciones cercanas y su conocimiento de la operación de las estaciones. Se sugiere que la ACP descarte el uso del pluviómetro de almacenamiento. Se puede revisar y verificar la observación del pluviómetro de cubeta basculante, comparando las observaciones en las estaciones cercanas.

Cuadro E-1  
ESTACIONES DE AFORO DE PRECIPITACIÓN Y CAUDAL

<b>A. Estaciones de precipitación</b>	
1. Agua Clara	15. Gatún
2. Alhajuela	16. Guacha
3. Altos de Balboa	17. Colina Hodges
4. Barro Colorado	18. Humedad
5. Candelaria	19. Bahía Limón
6. Cano	20. Monte Lirio
7. Chico	21. Peluca
8. Ciento	22. Pedro Miguel
9. Chorro	23. Raíces
10. Cascadas	24. Río Piedras
11. Cañones	25. Salamanca
12. Colinas Emperador	26. San Miguel
13. Escandalosa	27. Santa Rosa
14. Gamboa	



<b>B. Estaciones de aforo de caudal</b>
1. Río Gatún en Ciento
2. Río Boquerón en Peluca
3. Río Pequení en Candelaria
4. Río Chagres en Chico
5. Río Trinidad en Chorro
6. Río Ciri Grande en Cañones

Instalar un pluviómetro que no registra con un pluviómetro registrador para proporcionar una verificación de la precipitación total medida por el pluviómetro registrador es una práctica mundial. La estación que no registra proporciona datos en caso de un mal funcionamiento de la estación registradora. Recomendamos que esta práctica continúe en la cuenca del Gatún. Debido a la lejanía de las estaciones, la estación que no registra deberá tener una capacidad suficiente para recolectar precipitación durante dos semanas aproximadamente. Todas las estaciones deberán ser visitadas dos veces al mes.

### **E.2.2 Las estaciones fluviográficas**

Las estaciones se encuentran bien mantenidas y están funcionando satisfactoriamente. Sin embargo, los procedimientos de medición de caudal requieren de mejoras significativas. Actualmente, todas las mediciones se hacen desde un cablevía elevado. Es altamente recomendable que las mediciones de caudal bajo se hagan mediante el método de vadeo en los lugares en los que sea posible. El hidrógrafo deberá realizar las mediciones de descarga por vadeo, hasta el nivel máximo posible del río.

Debe discontinuarse la práctica de realizar observaciones de profundidad y velocidad a aproximadamente tres localizaciones verticales a través del ancho del río durante caudales bajos y a aproximadamente seis o siete localizaciones verticales durante caudales altos. Se deben realizar las observaciones de profundidad y velocidad a un mínimo de 20 a 25 verticales a través del río. Sin embargo, la distancia entre dos verticales adyacentes no deberá ser menor de un metro para tomar la medida desde el cablevía y 0.5 metro para mediciones por vadeo.

Una revisión de las medidas desde el cablevía indicó que debido al arrastre en los pesos de sondeo se observaron ángulos verticales. Se requiere realizar correcciones a las profundidades observadas debido al arrastre y en función de los ángulos verticales. Existen dos tipos de correcciones – línea aérea y línea húmeda. Se debe evitar el ángulo vertical, mediante el uso de lastres de sondeos pesados, acordes con la condición de caudal en el río. En caso de no contar con un peso apropiado, se debe evitar la corrección de línea de aire utilizando los procedimientos de la División de Recursos Hídricos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). En el Informe Principal se hace referencia a estos procedimientos.

Cabe señalar que se notó que durante un año se computaron descargas diarias en la estación de aforo utilizando una curva de calibración (relación caudal-profundidad) actualizada en los años anteriores. Las mediciones del presente año no fueron utilizadas en el cómputo de los caudales diarios. Se utilizaron estas medidas al final del año o posteriormente cuando se hizo una revisión a la curva de calibración. En ese momento los caudales calculados anteriormente fueron, probablemente, revisados. Esta práctica es bastante común cuando existe un control hidráulico estable. En ese caso, los valores revisados no son considerablemente distintos de los primeros



estimados. Sin embargo, en el caso de estaciones con control variable, la diferencia podría ser significativa. Todas las estaciones de aforo en la cuenca de Gatún tienen controles variables del cauce. Debido a que la ACP se encuentra computando caudales diarios en una base continua, se recomienda que se utilice el procedimiento de “ajuste de cambios” de la USGS. El procedimiento es discutido en la referencia dada en el informe.

En el Anexo C, se presenta un inventario de las estaciones de precipitación y caudal. Este incluye la descripción de la ubicación, instrumentos, período de registro, etc., para cada estación. Se presentan fotografías del esquema de la estación con instrumentos en los casos en los que se cuenta con ellas.

### **E3. Extensión de la serie de precipitación**

Cinco estaciones de precipitación (Alhajuela, Altos de Balboa, Gatún, Pedro Miguel y Gamboa) cuentan con datos mensuales completos para el período entre 1911 a 2000. Este período de 90 años fue seleccionado como un período común para todas las estaciones. Se llenaron todos los datos de precipitación histórica mensual en todas las otras estaciones (incluidos en el Anexo B) y se extendieron por este período utilizando un programa de computación FILLIN desarrollado por la Junta de Desarrollo de Fuentes de Agua de Texas. El programa original tenía capacidad para manejar 25 estaciones y 50 años de datos mensuales; sin embargo, fue revisado para manejar 30 estaciones y 100 años de datos mensuales.

Las series extendidas y calculadas fueron revisadas utilizando curvas de masa y gráficas de series de tiempo cronológico. Los datos extendidos y calculados fueron congruentes con los datos históricos. En el Anexo D, se presentan los datos calculados y las gráficas.

### **E4. Extensión de la serie de caudal**

Basándose en los datos de caudal mensual en las seis estaciones, se seleccionó un período común de 1941 al 2000 (60 años). Los datos fueron calculados y/o extendidos utilizando el programa de computadora FILLIN mencionado anteriormente. Las gráficas de curvas de masa y series de tiempo de caudal, mostraron que los datos calculados/extendidos fueron acordes con los datos históricos. El Anexo D muestra los datos históricos, datos calculados y gráficas.

### **E.5 Precipitación promedio de la cuenca**

Las series de precipitación promedio mensuales de la cuenca fueron computadas para el período de 90 años para las cuencas de los lagos Madden, Gatún aguas abajo Gatún total. El método Thiessen fue utilizado para derivar los pesos de la estación de las estaciones pertinentes relativas a cada cuenca. Las series generadas fueron comparadas con las series proporcionadas por la ACP. Los valores de precipitación anual promedio a largo plazo estimados por Montgomery Watson Harza (MWH) fueron aproximadamente 2.3, 2.5 y 2.6 por ciento más altos que los estimados por la ACP para el lago Gatún, Gatún aguas abajo y Gatún Total, respectivamente. Asimismo, se realizaron comparaciones utilizando curvas de doble masa y diagramas aislados. Los dos grupos (de MWH y ACP) no fueron significativamente distintos.

### **E.6 Caudales de entrada de la cuenca**



La serie de caudales mensuales fue generada para las cuencas de los lagos Madden, Gatún aguas abajo y Gatún total. La cuenca del Lago Madden fue dividida en cinco subcuencas. Los caudales de entrada al lago Madden fueron la suma de los caudales de los ríos Chagres, Pequení, Boquerón, área intermedia y la escorrentía proveniente de la precipitación que cae directamente sobre el área del lago. Los caudales para el área intermedia fueron computados mediante la transposición de los caudales combinados de los ríos Chagres, Pequení y Boquerón, multiplicados por una relación de precipitación anual promedio por área de drenaje.

Para calcular los caudales mensuales de Gatún aguas abajo, la cuenca fue dividida en ocho subcuencas, tres subcuencas con registros, cuatro áreas intermedias y el área del lago. Los caudales para las áreas intermedias fueron estimados mediante la transposición de los caudales medidos, multiplicados por las relaciones de precipitación promedio anual-área de drenaje. El caudal de entrada fue la suma de los caudales de siete subcuencas más la escorrentía proveniente de la precipitación que cae directamente sobre el área del lago. Las series generadas fueron comparadas con las series proporcionadas por la ACP. Los valores de escorrentía anual promedio a largo plazo, estimados por MWH fueron casi iguales al lago Madden, cerca de 9 por ciento más altos que los de Gatún aguas abajo y aproximadamente 5 por ciento más altos para Gatún total. Igualmente, también se hicieron comparaciones utilizando curvas de doble masa y diagramas aislados. Los dos grupos (de MWH y ACP) no fueron significativamente diferentes.

El análisis anterior proporciona un procedimiento que puede ser utilizado cuando se cuenta con caudales en las estaciones fluviográficas. Se desarrolló un método alternativo para computar los caudales de entrada provenientes de las precipitaciones promedio de la cuenca. Se desarrollaron ecuaciones de regresión lineal para los casos del lago Madden y Gatún aguas abajo. A continuación se presentan las ecuaciones:

#### Lago Madden

$$\text{Caudal (t)} = 13.3 + 0.18 \text{ precipitación (t)} + 0.08 \text{ precipitación (t-1)},$$

$$\text{Coeficiente de correlación} = 0.84$$

Donde caudal es en  $\text{m}^3/\text{s}$ , precipitación es precipitación promedio de la cuenca en mm. y “t” es el mes.

#### Gatún aguas abajo

$$\text{Caudal (t)} = 6.7 + 0.38 \text{ precipitación (t)} + 0.17 \text{ precipitación (t-1)},$$

$$\text{Coeficiente de correlación} = 0.91$$

### E.7 Análisis estadístico de las series de tiempo

Se realizó un análisis lineal de tendencia para las 27 estaciones pluviométricas. Se realizaron análisis estadísticos detallados para probar la congruencia y homogeneidad de las series anuales presentadas en el Cuadro E-2.

## Cuadro E-2 SERIES ANUALES PROBADAS PARA VERIFICAR SU CONGRUENCIA Y HOMOGENEIDAD



<b>Series de precipitación</b>	<b>Series de escorrentía</b>
Lago Madden	Caudal de entrada hacia el lago Madden
Gatún aguas abajo	Caudal de entrada hacia Gatún aguas abajo
Gatún total	Caudal de entrada hacia Gatún total
Agua Clara	Río Cirí Grande
Alhajuela	Río Trinidad
Altos de Balboa	Río Chagres
Barro Colorado	Río Pequení
Chico	Río Boquerón
Chorro	Río Gatún
Gamboa	
Gatún	
Monte Lirio	
Pedro Miguel	
Salamanca	
San Miguel	

Se realizaron las pruebas al azar (pruebas de auto correlación y Pormanteau modificada), tendencia (pruebas de correlación lineal y Mann-Kendall & Abelson-Tukey) y una prueba de población utilizando desviaciones promedio y estándar de dos subgrupos de cada una de las series. Se efectuaron conclusiones finales después de la revisión cuidadosa de todos los datos. En el Cuadro E-3, se presentan los resultados de la prueba estadística y las gráficas.

Se consideraba congruente una serie si no se identificaba ningún cambio y la serie era de la misma población. Se consideró una serie como homogénea cuando la tendencia era insignificante.

El presente estudio no encontró ninguna disminución congruente en la precipitación desde 1971 que pudiera ser atribuida al cambio en la instrumentación o medio ambiente en la estación, cambios físicos en la cuenca o factores climáticos. En realidad, en la mayoría de los casos se observó una tendencia decreciente desde finales de 1960, que después de 1985 se convirtió en una tendencia creciente. Dos subgrupos de unas pocas series indicaron que los promedios o las desviaciones estándar eran considerablemente distintos a un nivel de confiabilidad de 95 por ciento y, por lo tanto, los datos después de 1971 podrían ser de una población distinta. Sin embargo, esta conclusión basada en estadísticas no se consideró como válida debido a tres episodios de El Niño en los años 1976-1977, 1982 y 1997-1998 que fueron bastante severos, dando como resultado caudales anuales promedio significativamente bajos. Este es un efecto a corto plazo y no puede servir de base para sustentar que continuarán las tendencias decrecientes observadas en algunas estaciones de precipitación y escorrentía. Sin embargo, episodios similares podrían afectar la precipitación y caudales nuevamente.

**Cuadro E-3  
RESUMEN DE LAS PRUEBAS DE CONGRUENCIA Y HOMOGENEIDAD**

<b>Estación de precipitación</b>	<b>Al azar</b>	<b>Tendencia</b>	<b>Relación</b>	<b>Congruencia</b>	<b>Homogeneidad</b>
<b>Agua Clara</b>	<b>Sí</b>	<b>Considerable, creciente</b>	<b>6 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
<b>Alhajuela</b>	<b>Sí</b>	<b>Insignificante,</b>	<b>1 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>



		<b>decreciente</b>			
<b>Altos de Balboa</b>	Sí	<b>Considerable, creciente</b>	<b>2 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
<b>Barro Colorado</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>2 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Chico</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>2 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Chorro</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>3 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Gamboa</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>1 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Gatún</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>3 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Monte Lirio</b>	Sí	<b>Considerable, creciente</b>	<b>4 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>No</b>
<b>Pedro Miguel</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>1 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Salamanca</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>2 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>San Miguel</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>1 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Lago Madden</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>1 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Gatún aguas abajo</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>3 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Gatún total</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>2 mm/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Estaciones de Caudal</b>					
<b>Gatún-Ciento</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>5 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Boquerón-Peluca</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>5 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Pequení-Candelaria</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>13 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Chagres-Chico</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>24 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Trinidad-Chorro</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>18 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Cirí Grande-Cañones</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>26 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Lago Madden</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>1 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Gatún aguas abajo</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>152 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>
<b>Gatún total</b>	Sí	<b>Insignificante, decreciente</b>	<b>153 l/s/año</b>	<b>Sí</b>	<b>Sí</b>



## E.8 Modelo estocástico

Se revisó una variedad de modelos estocásticos a fin de seleccionar uno apropiado que pudiera adaptarse a las series hidrológicas de la cuenca de Gatún y una vez ajustado a las series, pudiera proporcionar pronósticos mensuales con varios meses de anticipación a su ocurrencia. Basándose en esta revisión, el modelo periódico auto regresivo (PAR) desarrollado por K.W. Hipel y A.I. McLeod de Canadá fue considerado como el más apropiado. El modelo se adaptó a seis series de precipitación mensual promedio en la cuenca del lago Madden, Gatún aguas abajo y Gatún total, así como caudales mensuales de entrada de estas tres cuencas.

Los datos mensuales para el período entre 1911 y 1995 fueron utilizados para desarrollar parámetros del modelo para las series de precipitación. Los datos de los últimos 5 años, 1996 al 2000, fueron utilizados para la verificación de los parámetros. En el Anexo F se presentan los resultados. En caso de series de caudales de entrada, se desarrollaron los parámetros del modelo utilizando los datos de 1941 a 1997 y para la verificación del modelo se usaron los datos de los tres últimos años -- 1998 al 2000. Los resultados también se presentan en el Anexo F.

Los resultados del modelo fueron generalmente bastante buenos a excepción de algunos casos en que no fueron apropiadamente reproducidos las precipitaciones ni los caudales mensuales de entrada altos. Los caudales bajos y medios mostraron buena adaptación. El Anexo F proporciona comparaciones de precipitaciones y caudales históricos y simulados.

## E.9 Series de tiempo sintético

El modelo de computadora HEC-4 desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, fue utilizado para generar series sintéticas. Se generaron diez series de períodos de 100 años cada una para las tres series de precipitación promedio de cuenca y tres series de caudales de entrada. El programa utiliza las series de precipitación mensual de 90 años y series de caudal mensual de entrada de 60 años como fuente para generar las secuencias sintéticas. En el proceso de generación, se mantuvieron los promedios y las desviaciones estándar de las series de entrada. En el Anexo G se presentan los resultados.

## E.10 Efecto de El Niño

Se obtuvieron todos los datos/información disponible sobre los índices que califican la oscilación Sur de El Niño (ENSO). Los índices incluían, temperaturas de superficie del mar (SST, por sus siglas en inglés) y sus anomalías, índice de oscilación sur (SOI, diferencia entre las presiones de nivel del mar observadas en Tahití y en Darwin) y la radiación emitida de onda larga (OLR, por sus siglas en inglés). Los episodios de El Niño más severos desde 1525 fueron identificados cualitativamente y desde 1951 dentro de una base cuantitativa. Se identificaron las regiones de medidas de estos índices.

A partir de las ubicaciones de las regiones relativas a la ubicación de la cuenca de Gatún, se determinó que en caso de que hubiera una correlación, ésta sería entre los índices ENSO observados en la Región El Niño 3, la región Atlántico del Norte y SOI. Sin embargo, los datos reales mostraban que no existía correspondencia entre los caudales bajos en Gatún (o altos), el SST del Atlántico del Norte y el SOI. El SST registrado en la Región El Niño 3 podría tener alguna relación.



Con el propósito de evaluar el efecto de El Niño en la precipitación/escorrentía de la Cuenca de Gatún, se compararon la precipitación y escorrentía anual promedio a largo plazo con la precipitación y escorrentía anual promedio durante los años de El Niño. En todos los casos, la precipitación o escorrentía registrada fue significativamente más baja. En el Cuadro E-4 se presentan los datos de los principales episodios.

**Cuadro E-4**  
**PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN LA ESCORRENTÍA Y PRECIPITACIÓN ANUAL**

<b>Estación de precipitación</b>	Episodio 1930	Episodio 1957	Episodio 1976	Episodio 1977	Episodio 1982	Episodio 1997
Lago Madden	22.3	28.8	37.8	18.7	27.4	33.4
Gatún aguas abajo	20.5	14.6	27.6	15.0	24.3	38.2
Gatún total	21.1	19.3	30.9	16.3	25.4	36.7
<b>Estación de escorrentía</b>						
Lago Madden	---	33.8	30.9	20.6	18.1	36.8
Gatún aguas abajo	---	37.4	31.5	25.6	23.5	49.3
Gatún total	---	35.9	31.2	23.6	21.3	44.3

Se realizaron comparaciones similares mensuales para los años 1976- 77, 1982-83 y 1997-98, los episodios más severos desde 1951 para los cuales estaban disponibles los datos mensuales de los índices ENSO. El Cuadro E-5 muestra la comparación. Los meses más afectados fueron los de las estaciones de transición y seca tal y como se muestra en el cuadro.



Cuadro E-5

**PORCENTAJE DE DISMINUCIÓN EN LA PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTÍA MENSUAL**

Meses del año	Lago Madden	Gatún aguas abajo	Gatún total
<b>Precipitación promedio</b>			
Nov. 76	41	47	45
Dic.	86	67	74
Ene. 77	0	46	39
Feb.	76	65	68
Mar.	46	78	66
Abr.	70	73	71
Nov. 82	62	58	59
Dic.	75	85	83
Ene. 83	59	69	71
Feb.	47	88	74
Mar.	29	75	60
Jul. 97	52	31	39
Ago.	55	42	46
Sep.	16	19	18
Oct.	28	42	38
Nov.	25	39	38
Dic.	86	83	84
Ene. 98	55	83	79
Feb.	44	44	45
Mar.	22	13	17
<b>Caudales de entrada a la Cuenca</b>			
Dic. 76	67	61	
Ene. 77	42	52	
Feb.	32	45	
Mar.	31	55	
Abr.	55	71	
May.	53	40	
Jun.	48	47	
Jul.	35	46	
Nov. 82	35	42	
Dic.	61	72	
Ene.	41	59	
Feb.	43	52	
Mar.	42	54	
Abr.	44	38	
Jul. 97	49	54	
Ago.	55	66	
Sep.	41	51	
Oct.	36	49	



Nov.	56	46	
Dic.	67	75	
Ene. 98	61	71	
Feb.	50	61	
Mar.	61	58	

### E.11 Efecto de las manchas del sol

Las variaciones en el número de manchas solares ofrecen un indicador general de la actividad solar. Sin embargo, existe una fuerte asociación entre las manchas solares, el clima y el tiempo de la tierra. La cantidad de precipitación anual en muchos lugares del mundo muestra dependencia con el ciclo de 11 años de las manchas solares. Existe una tendencia razonable de una precipitación promedio mayor que el promedio durante los máximos años solares en la latitud de la región ecuatorial (entre 20° Norte y 20° Sur). En contraste a esto, existen estudios que han mostrado que el aumento en las manchas solares puede disminuir la temperatura del aire y reducir la precipitación. No obstante, los efectos orográficos y otros índices climáticos pueden anular toda influencia del ciclo solar.

### E.12 Análisis de las sequías

Se utilizó la serie de escorrentía mensual del lago Madden (área de drenaje que descarga hacia el lago), Gatún aguas abajo (área de drenaje entre la presa Madden y la presa Gatún) y Gatún total (área de drenaje aguas arriba de la presa Gatún, incluyendo el área de drenaje aguas arriba de la presa Madden). El período de registro fue de 60 años desde 1941 hasta el año 2000. En el Cuadro E-6, se presentan las magnitudes de volumen correspondientes a las duraciones y períodos de retorno seleccionados. Igualmente, el cuadro incluye el período de registro más seco y más húmedo.

### E.13 Calentamiento global

Se realizó una investigación extensa con la documentación disponible para determinar el efecto del calentamiento global en las fuentes de agua. No existe una tendencia clara de los efectos del calentamiento global en diversos lugares en el mundo. El aumento de temperaturas podría producir una precipitación mayor a la normal en algunos lugares y una precipitación menor que la normal en otros. En la cuenca de Gatún en Altos de Balboa (Balboa FAA), una tendencia al incremento en la temperatura mostró un aumento en la precipitación. Dado que no se cuenta con datos de temperatura a largo plazo en otras estaciones, esta tendencia no pudo ser confirmada. Se deben realizar estudios adicionales.

### E.14 Conclusiones y recomendaciones

A continuación se presentan para referencia las conclusiones y recomendaciones dadas en la Sección 19.0.

1. El sistema de recolección y transmisión de datos hidrometeorológicos de la ACP se encuentra en buenas condiciones.



**Cuadro E-6**  
**VOLÚMENES DE ESCORRENTÍA (MCM) PARA DURACIONES Y PERÍODOS DE**  
**RETORNO SELECCIONADOS**

Periodo de retorno (años)	Duración en meses						
	3	6	12	18	24	30	36
<b>LAGO MADDEN</b>							
Más seco	100	430	1309	2054	3387	3952	8266
Más húmedo	1432	2281	3478	5015	5990	7438	5340
10	135	500	1630	2450	3730	4790	6400
25	114	445	1480	2160	3500	4300	5500
50	110	425	1350	2060	3400	4000	5300
75	100	410	1250	2000	3300	3800	5100
<b>GATÚN AGUAS ABAJO</b>							
Más seco	73	429	1599	2347	4375	5412	7255
Más húmedo	2419	3916	5447	7865	8971	11797	12942
10	127	533	2616	3404	5655	6745	9182
25	100	477	2104	2917	4839	5800	8223
50	80	440	1800	2500	4400	5600	7600
75	73	410	1700	2300	4100	5300	7100
<b>GATÚN TOTAL</b>							
Más seco	223	868	2908	4426	8476	9364	12708
Más húmedo	3399	5629	8582	12057	16071	18115	20225
10	249	1061	4020	5860	10250	11800	15350
25	234	970	3580	5070	8500	10250	14050
50	230	900	3100	4700	8200	9400	13000
75	225	860	2800	4300	7900	8900	12000

2. Se debe descontinuar el uso de pluviómetros de almacenamiento. En su reemplazo, se deberá instalar un pluviómetro no registrador en cada estación meteorológica para proporcionar una revisión al pluviómetro de la cubeta basculante.
3. Se deben mejorar los procedimientos de medición de caudal. Debe utilizarse el método de medición de descarga por vadeo para el caso de mediciones de caudales bajos, cuando sea factible. Debe incrementarse el número de puntos de observación para la profundidad y velocidades. Se deben realizar las observaciones en 20 a 25 verticales a lo ancho del río. Sin embargo, la distancia mínima entre las verticales deberá ser de 0.5 metro para vadeo y 1.0 metro para las medidas tomadas desde un cablevía.
4. Se deben evitar las correcciones de la línea de aire, tal y como se trató en el informe.



5. Los análisis de las series indicaban que todas las series de precipitación y escorrentía son congruentes y homogéneas. Las tendencias decrecientes son insignificantes y tienen un 95 por ciento de nivel de confiabilidad.
6. Los datos de precipitación y escorrentía a largo plazo en diversos lugares de la cuenca pueden ser utilizados para análisis más extensos de los esclusajes del canal. No existe necesidad de tratar los datos para corregir por tendencia decreciente.
7. El Niño tiene un efecto negativo en las series de precipitación y escorrentía. Dependiendo de la gravedad del episodio, la precipitación o escorrentía podría bajar de 10 a 20 por ciento de los valores normales en una base mensual. Los meses más afectados son noviembre hasta febrero/marzo.
8. Una tendencia decreciente desde 1971 (indicada por las curvas masa en algunas estaciones) podría deberse a episodios de El Niño más severos como los de 1976-77, 1982-83 y 1977-98. Estos episodios afectaron el promedio y la desviación estándar de la serie anual desde 1971 al 2000.
9. No existe razón para creer que la tendencia ligeramente decreciente de inicios de 1970 se debió a algún cambio en la instrumentación, medio ambiente o técnicas de observación.
10. Una tendencia incremental en el número de manchas solares a mediados de los años 1960 y una posterior tendencia decreciente desde mediados de los años 1980, pudieran estar relacionadas con la tendencia ligeramente decreciente desde principios de 1970.
11. Existe una tendencia al incremento de la temperatura en las cuatro estaciones seleccionadas. Esta situación podría originar una tendencia al incremento en la precipitación. Los datos de precipitación en Altos de Balboa confirman esto, sin embargo, debe ser confirmado mediante el análisis de otras estaciones.
12. Se puede iniciar un estudio más detallado con el fin de analizar el efecto de El Niño en series hidrológicas y la relación entre El Niño, zona de convergencia intertropical y las manchas en el sol.