



CANAL DE PANAMÁ



AGUA y BOSQUES
en la Cuenca del Canal:
Tendencias de Largo Plazo

ÍNDICE

MENSAJE DEL ADMINISTRADOR	7
MENSAJE DEL VICEPRESIDENTE EJECUTIVO DE AMBIENTE, AGUA Y ENERGÍA	11
1. COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN LA CUENCA DEL CANAL	16
1.1. Introducción	
1.2. Información de caudal	
1.3. Caracterización de los caudales en las estaciones hidrométricas	
1.4. Desviaciones acumuladas (CUSUM)	
1.5. Variación de los caudales promedios anuales	
1.6. Variabilidad de los caudales promedio anuales utilizando la desviación estándar, con el rango de variación, mínimo y máximo.	
1.7. Variación de los caudales promedios mensuales	
1.8. Curvas de variación estacional de caudales mensuales.	
1.9. Mapa de caudales específicos	
1.10. Conclusiones y recomendaciones	
2. CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ (CHCP)	52
2.1. Índice de calidad de agua en la CHCP, 2003-2009	
2.1.1. Embalse Gatún	
2.1.2. Embalse Alhajuela	
2.1.3. Subcuenca del río Tinajones	
2.1.4. Subcuenca del río Gatuncillo	
2.2. Evaluación de la calidad microbiológica en los embalses Gatún, Alhajuela y Miraflores	
2.2.1. Indicadores de contaminación fecal en aguas superficiales	
2.2.2. Análisis descriptivo del promedio mensual de <i>E. coli</i> , 2003-2009	
2.2.3. Concentración de <i>E. coli</i> con respecto a valores guías recomendados para calidad microbiológica de aguas superficiales, 2003-2009	
2.2.4. Variación espacial en la concentración de bacterias coliformes totales y <i>E. coli</i> , 2008-2009	
2.3. Descripción del estado trófico en los embalses Gatún y Alhajuela.	
2.3.1. Índice de Estado Trófico (Carlson, 1977)	
2.3.2. Aproximación del grado trófico de los embalses Gatún y Alhajuela	
2.3.3. Variación estacional y espacial del índice de estado trófico en los embalses Gatún y Alhajuela (Carlson,1977)	
2.3.4. Usos potenciales de la vegetación acuática	
2.4. Recomendaciones	
2.5. Anexos	

3. COBERTURA VEGETAL, USOS DEL SUELO Y TASA DE DEFORESTACIÓN EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ, 2008.	96
3.1. Antecedentes	
3.2. Cobertura vegetal y usos del suelo 2008	
3.3. Tasa de deforestación y cambios en los usos del suelo 2003 – 2008	
3.4. Zonas de cambio	
3.5. Tasa de deforestación	
3.6. Programas de reforestación en la Cuenca Hidrográfica del Canal	
4. CONCLUSIONES	108
5. BIBLIOGRAFÍA	109



MENSAJE

del Administrador

El agua es esencial para los seres vivos. La cantidad y calidad de este preciado líquido son condicionadas, en gran medida, por el estado de los bosques y el entorno natural y social en las cuencas hidrográficas.

En los últimos años, se ha establecido un consenso sobre los cambios rápidos que está experimentando el planeta con relación al clima, y se mencionan como posibles causas los altos niveles de contaminación atmosférica con gases de efecto invernadero, producto de patrones no sostenibles de producción, crecimiento poblacional, destrucción de hábitat naturales, creciente generación y manejo inadecuado de desechos, etc.

El recurso hídrico ha sido mencionado como uno de los factores más vinculados a las alteraciones del clima. Por ello, cada vez con mayor énfasis, aquellas organizaciones vinculadas al manejo de recursos hídricos invierten más tiempo y esfuerzo al estudio de los procesos naturales y ecosistemas con el fin de mejorar su gestión del agua y contribuir con los objetivos internacionales de construir una sociedad donde la humanidad y el resto de los seres vivos puedan existir en bienestar.

En nuestro país hay un vínculo histórico con la administración del recurso hídrico desde que se concibió la idea de construir un canal interoceánico, y es en el territorio de la Cuenca Hidrográfica del Canal donde se almacena el agua que permite el abastecimiento de agua para las ciudades más pobladas del país, para la operación del Canal de Panamá y para muchas otras actividades económicas. El agua de esta zona facilita el movimiento transoceánico de un 6 por ciento del comercio mundial.

La responsabilidad de la gestión de la Cuenca le fue asignada a la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) en 1997. De acuerdo con la Constitución Nacional y el artículo 6 de la Ley Orgánica de la ACP, somos responsables de la administración, mantenimiento, uso y conservación de los recursos hídricos en la Cuenca del Canal de Panamá, así como de la aprobación de estrategias, políticas, programas y proyectos que puedan afectar esta área, y de coordinar la conservación de sus recursos naturales. Para ello, desde el año 2000 la ACP preside la Comisión Interinstitucional para la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH), cuya misión es coordinar los esfuerzos y recursos para promover el desarrollo sostenible de la Cuenca, con la participación de los involucrados. Al nivel institucional, el Canal de Panamá cuenta con el departamento de Ambiente,

Agua y Energía, que opera y mantiene infraestructuras e instalaciones para el suministro de agua potable, energía eléctrica y agua fría para la climatización de instalaciones en la empresa. Además, es responsable por la gestión ambiental del Canal de Panamá en la Cuenca y en sus áreas de operación.

Estamos convencidos de que sólo a través de la continua búsqueda de conocimientos y la innovación podremos mantener y mejorar la gestión integrada del agua y del territorio de la Cuenca Hidrográfica del Canal. Por ello, con mucho agrado presento esta publicación sobre tendencias a largo plazo en el agua y bosques de la Cuenca, resultado de varios años de estudios, y del esfuerzo de dedicados profesionales canaleros, comprometidos con los objetivos del Canal y el desarrollo del país. Esperamos que esta publicación pueda ser una referencia importante para los esfuerzos de los múltiples actores con intereses y responsabilidades en la Cuenca Hidrográfica del Canal, y con ello, alcancemos nuestras metas comunes para el progreso.

Alberto Alemán Zubieta
Administrador



MENSAJE

del Vicepresidente Ejecutivo de
Ambiente, Agua y Energía

La Cuenca Hidrográfica del Canal es, sin lugar a dudas, el elemento hidrológico más importante de la República de Panamá. Los aportes hídricos del majestuoso río Chagres son utilizados en múltiples formas: para el consumo humano en las ciudades de Panamá, Colón y alrededores; para el funcionamiento del Canal y en la generación de energía hidroeléctrica. Si tomamos en cuenta que el Canal de Panamá es una vía interoceánica de relevancia internacional, diríamos entonces que la Cuenca del Canal es una de las más importantes del mundo entero.

En la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) se manejan los niveles de los lagos Gatún, Alhajuela y Miraflores; se operan y mantienen sistemas de pronósticos hidrometeorológicos y de producción y distribución de agua potable en Miraflores, Monte Esperanza y Mendoza; se ejecuta un programa continuo de mantenimiento de represas y vertederos de agua; se suministra agua fría para climatización a edificios e instituciones gubernamentales y se evalúan las necesidades de crecimiento y desarrollo de nuevos programas de agua y saneamiento en el Canal y su cuenca.

Palanqueros, microbiólogos y radiosondistas son sólo algunos ejemplos de oficios manuales y profesiones técnico-científicas dentro de la ACP que se dedican exclusivamente al manejo del agua del Canal.

Indígenas, darienitas, colonenses, santeños y panameños de todos los rincones del país se encargan eficientemente de manejar cerca de 10 billones de metros cúbicos anuales que precipitan en la región interoceánica respondiendo a los mandatos de la Constitución, la ley y los reglamentos que confieren a la Autoridad la responsabilidad por la administración, mantenimiento, uso y conservación de los recursos hídricos de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

La ACP cuenta con un sólido equipo de profesionales panameños especializados en esta temática, formados en universidades reconocidas por su exigencia académica a nivel internacional, con grados académicos de licenciatura, maestría y doctorado, cuya responsabilidad es garantizar la cantidad y calidad de agua necesaria para los diversos usos, incluyendo su manejo en periodos críticos de sequías e inundaciones. Los meteorólogos del Canal, por ejemplo, monitorean los conglomerados nubosos desde mucho tiempo antes de arribar al Istmo; los hidrólogos le dan seguimiento a la cantidad de agua que escurre por los ríos de la cuenca y que finalmente se almacena en los lagos del Canal; los químicos y biólogos analizan la calidad del agua; los ingenieros civiles, ambientales,

industriales, eléctricos y mecánicos diseñan, operan y mantienen los sistemas e infraestructura hidráulica; los operadores de las plantas potabilizadoras, de las esclusas del Canal, de las plantas de generación hidroeléctrica y de los sistemas centrales de agua fría, utilizan el valiosísimo recurso y lo convierten en beneficio directo e indirecto para todos los panameños.

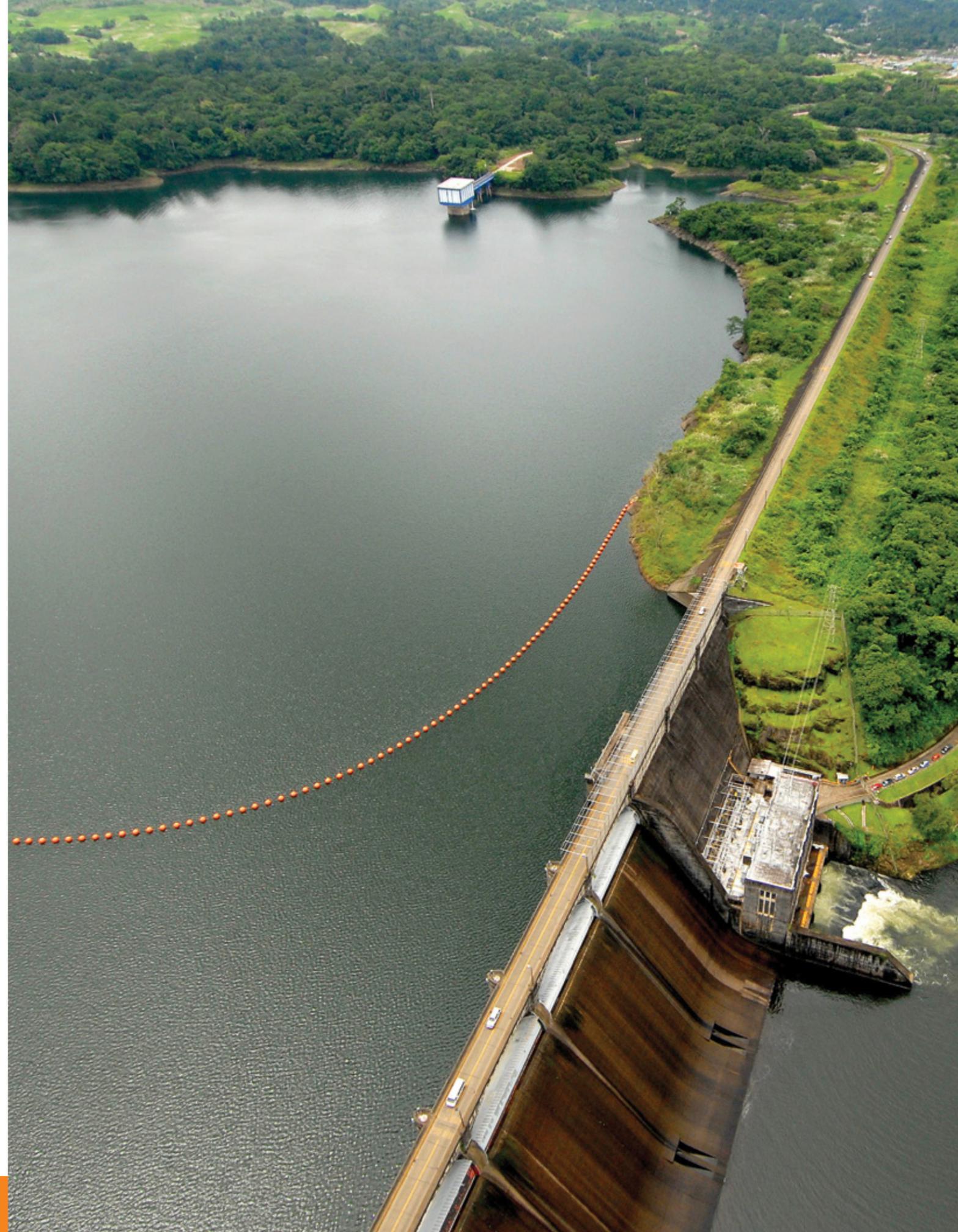
Técnicos, artesanos y trabajadores de alto calibre, incluyendo electrónicos, instaladores de tuberías de alta presión, mecánicos industriales y de instrumentos de precisión, y otros, trabajan conjuntamente con especialistas en informática, recursos humanos, negocios, presupuesto y administración en el cumplimiento de uno de los principales objetivos estratégicos de la ACP: administrar eficientemente, en cantidad y calidad, el recurso hídrico de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

Para cerrar el ciclo, la Junta Directiva de la Autoridad del Canal de Panamá ha aprobado recursos en el presupuesto de inversiones para el diseño y construcción de obras para el manejo y tratamiento de las aguas residuales en las instalaciones canaeras: un paso positivo en la conservación y en la responsabilidad ambiental de la Autoridad. En la ACP estamos muy conscientes de la importancia del agua, el petróleo panameño; por eso, seguimos muy de cerca lo que sucede en el ciclo hidrológico, utilizando conceptos de manejo integrado de los recursos hídricos, tecnología de vanguardia y personal altamente calificado.

Definitivamente que el buen diseño, el continuo mantenimiento y la operación científica de los elementos artificiales -- represas, vertederos, compuertas, reservorios, canales y potabilizadoras, generadoras, climatizadoras -- del complejo Sistema de Recursos Hidráulicos operados por la Autoridad del Canal de Panamá, ha jugado un papel preponderante en la exitosa operación de esta vía interoceánica.

Sólo una perfecta armonización con los elementos naturales de la Cuenca Hidrográfica -- quebradas, ríos, valles, bosques, naturaleza, flora, fauna -- garantizará un suministro ininterrumpido de agua, ¡recurso vital para la vida de los panameños! y el recurso natural más importante para el funcionamiento del Canal.

Esteban G. Sáenz
Vicepresidente Ejecutivo de
Ambiente, Agua y Energía



CAPÍTULO 1

COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN LA CUENCA DEL CANAL

Daly Espinosa
DIVISIÓN DE AGUA - SECCIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS

COMPORTAMIENTO DE LOS CAUDALES EN LA CUENCA DEL CANAL

Resumen

El objetivo principal de este estudio es conocer el comportamiento de los caudales con respecto al tiempo en los principales ríos que fluyen directamente a los lagos Gatún y Alhajuela, de la Cuenca Hidrográfica del Canal del Panamá (CHCP).

En el presente informe sobre las variaciones en los caudales promedios mensuales y anuales históricos registrados en las seis estaciones hidrométricas con más largo registro ubicadas en la CHCP, se realizó un análisis exploratorio que incluye análisis gráfico y cálculos de estadísticas básicas. Para el análisis gráfico de homogeneidad de las series, se utilizaron los gráficos de series de tiempo, de promedios móviles, curvas de duración, curvas de doble masa, desviaciones acumuladas (CUSUM), y diagrama de caja.

Las estaciones Chico, en el río Chagres, Candelaria, en el río Pequení, y Peluca, en el río Boquerón, cuentan con registros completos desde 1934 hasta el presente año. El periodo base para este estudio fue de 76 años (1934-2009). La estación Ciento, en el río Gatún, dispone de información de caudales desde 1943; el resto de las estaciones: El Chorro, en el río Trinidad, y Los Cañones, en el río Cirí Grande, desde 1947. En estas estaciones, los caudales promedios mensuales se extendieron y rellenaron mediante el método de correlación lineal hasta completar el periodo de estudio (1934-2009).

Las series de caudales promedios mensuales extendidas y calculadas fueron revisadas utilizando curvas de doble masa y gráficas de series de tiempo cronológico. Los datos extendidos y calculados fueron congruentes con los datos históricos. En el Anexo A, se presentan los datos registrados y estimados, y las gráficas.

Con relación a los caudales, no hay una tendencia generalizada al incremento o disminución de los mismos, pues los cambios que se presentan no van más allá de la variabilidad natural del clima. En cada una de las estaciones analizadas, se observan de tres a cuatro periodos de crecimiento, decrecimiento y, en los últimos veinte años, el caudal promedio oscila entre el valor normal o promedio de todo el registro. Sin embargo, vale la pena destacar que en la estación Chico, en el río Chagres, a partir del año 2004 hasta 2009, la tendencia se ha mantenido positiva con un 16% por arriba del valor normal.

1. Introducción

La Sección de Recursos Hídricos y la Unidad de Calidad de Agua de la División de Agua, además de tener la responsabilidad de vigilar y administrar la cantidad y calidad de las aguas, y proteger las estructuras hidráulicas del Canal de Panamá mediante el Control de Inundaciones, también es responsable del funcionamiento y modernización de la red hidrometeorológica dentro de la CHCP y áreas operativas.

Esta última responsabilidad conlleva el procesamiento, almacenamiento, análisis y difusión de la información hidrometeorológica. En tal sentido, se han realizado innumerables publicaciones relacionadas con acontecimientos extremos y de gran importancia para la administración de este recurso; por ejemplo: Analysis of Rainfall Data in the Panama Canal for the Presence of Trend, Michael Hart, mayo 1992; Magnitude and Frequency of Floods for Rivers in the Panama Canal Watershed, Carlos Vargas, junio 1993; La Administración de los Recursos Hídricos, Pieza Fundamental para el Funcionamiento del Canal, Carlos Vargas, mayo 1996; Veranillo de San Juan Within the Panama Canal Watershed, Jorge Espinosa, 1998; "Análisis de Intensidad, Duración y Frecuencia; Eventos Máximos de Lluvia Anual (1972-1999), Cuenca del Canal, Región Oriental", Maritza Chandeck, octubre 2001; Informe de Calidad de Agua, Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, Volumen I y II y 2007, Unidad de Calidad de Agua, septiembre del 2006 y agosto del 2008; Informe del Programa de Sedimentos Suspendedos, Periodo 1998-2007, Tomás García, junio de 2010, entre otros.

2. Información de caudal

En este estudio se utilizaron las series de caudales promedios mensuales y anuales registradas en las estaciones hidrométricas ubicadas en la (CHCP). La ubicación de las estaciones se muestra en la figura 1.

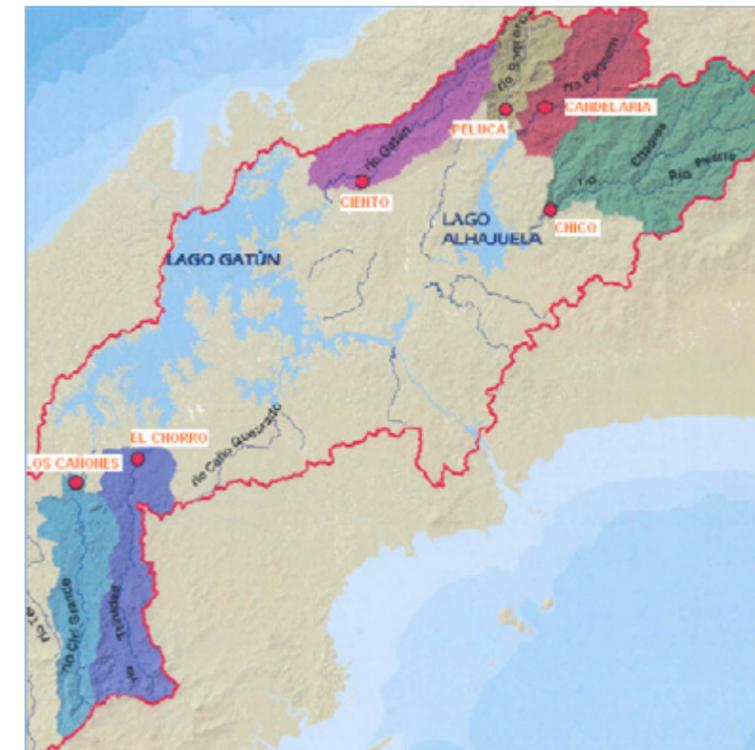


Figura 1. Estaciones hidrométricas en estudio ubicadas en la CHCP.

En el cuadro 1, se dan las características generales y disponibilidad de información de caudal en las estaciones hidrométricas en estudio.

Cuadro 1

Características generales y disponibilidad de datos en las estaciones hidrométricas

Estación	Elevación (m)	Coordenadas		Área (km ²)	Registro desde	Observación
		Latitud NL	atitud O			
Chico en el río Chagres	104	9° 15' 49"	79° 30' 35"	1407	Oct-32	
Candelaria en el río Pequení	97.5	9° 22' 58"	79° 30' 59"	145	Sep-33	
Peluca en el río Boquerón	107	9° 22' 48"	79° 33' 40"	90.6	Sep-33	
Ciento en el río Gatún	38.1	9° 17' 52"	79° 43' 41"	119	Abr-43	
El Chorro en el río Trinidad	42.7	8° 58' 32"	78° 59' 25"	171	Sep-47	
Los Cañones en el Río Ciri Grande	104	8° 56' 56"	80° 03' 45"	192	Sep-47	Suspendida en 1959 y reinstalada en 1978

Con el fin de disponer de datos de caudal comparables, fue adoptada como serie única aquella que corresponde al periodo 1934-2009. Para todas las estaciones en estudio, se efectuaron análisis críticos de los registros de caudales promedios mensuales y anuales, con el fin de obtener los caudales promedios multianuales correspondiente al periodo en estudio. Se revisaron, extendieron y rellenaron los datos mensuales faltantes. La consistencia de los datos se verificó mediante el método de dobles acumuladas. En el Anexo A se presentan los resúmenes de caudales mensuales de las seis estaciones y las curvas dobles acumuladas donde se muestra que la información es consistente a lo largo de todo el registro.

2.1 Caracterización de los caudales en las estaciones hidrométricas

A continuación se presenta un análisis estadístico básico de las series de caudales mensuales correspondientes al periodo de análisis (1934-2009), de las estaciones hidrométricas en estudio. Se realizaron los siguientes cálculos:

1. Caudales medios mensuales y anuales.
2. Coeficientes de variación y desviación estándar de las series mensuales y anuales
3. Caudal máximo absoluto de los promedios mensuales.
4. Caudal mínimo absoluto de los promedios mensuales.
5. Caudal igualado o superado el 5%, 10%, 20%, 80% y 95% del tiempo.

Para el punto 5, se utilizaron las curvas de duración de caudales mensuales, (ver figura 2), las cuales permiten observar la variabilidad de dichos caudales en el periodo analizado, y tener un mejor conocimiento en el manejo de la disponibilidad de agua. La curva es representativa del régimen de caudales medios de la corriente y, por lo tanto, puede utilizarse para pronosticar el comportamiento del régimen futuro de caudales. Tales curvas se utilizan, además, para calcular, en los sitios de posibles embalses, los caudales medios mensuales asegurados entre el 20% y 95% de frecuencia, y en los de desarrollo a filo de agua, entre 80% y 95%.

En otras palabras, la curva de duración de caudales (diarios o mensuales), es muy útil para determinar si una fuente es suficiente para suministrar la demanda o si hay necesidad de construir embalses de almacenamiento para suplir las deficiencias en el suministro normal de agua durante los periodos secos.

CURVA DE DURACION DE CAUDALES MENSUALES

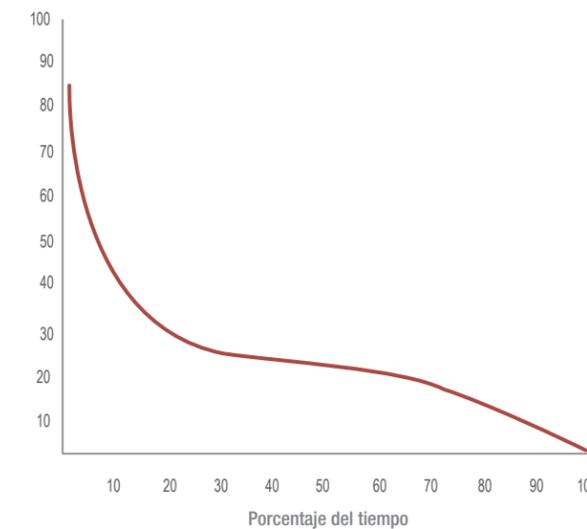


Figura 2. Curva de duración.

En la figura 3, se muestran las curvas de duración de los caudales medios mensuales de las estaciones hidrométricas correspondientes al periodo 1934-2009. En el cuadro 2, se presentan los caudales característicos de las seis estaciones en estudio correspondiente al periodo 1934-2009, los cuales fueron extraídos de las curva de duración de caudales promedios mensuales.

CURVA DE DURACION DE CAUDALES MENSUALES
CHCP (1934-2009)

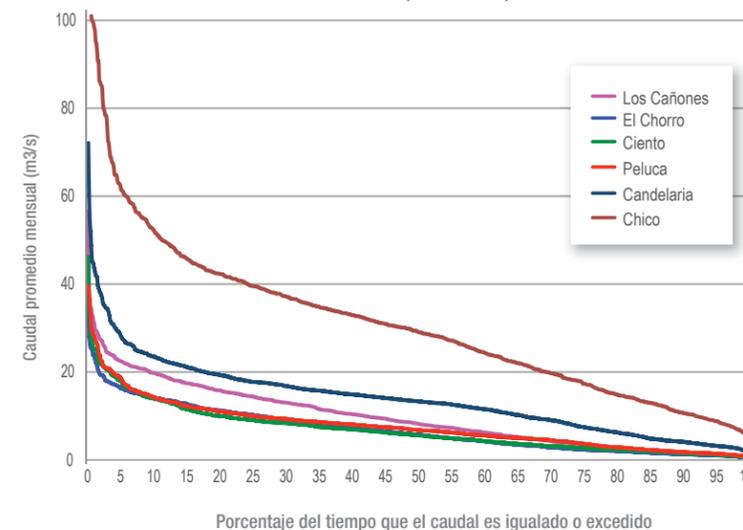


Figura 3. Curva de duración de los caudales promedios mensuales. 1934-2009.

Cuadro 2.
Características de los caudales promedios mensuales de las estaciones hidrométricas

CAUDALES MEDIOS MENSUALES ASEGURADOS EN m3/s							
Estación	Máximo absoluto	5% máximo característico	20%	50% Semipermanente	80%	95% mínimo característico	Mínimo absoluto
Chico	182	61.5	42.3	29.5	14.8	8.82	4.15
Candelaria	72.1	28.2	19.3	13.3	6.23	3.20	1.27
Peluca	39.6	18.6	11.0	6.77	2.86	1.39	0.535
Ciento	46.2	18.0	9.96	5.57	2.31	1.14	0.401
El Chorro	38.3	16.2	11.2	5.71	2.02	1.02	0.462
Los Cañones	56.6	22.5	15.8	8.18	2.72	1.26	0.428

2.2 Desviaciones Acumuladas (CUSUM)

Se empleó la técnica denominada Desviaciones Acumuladas (Cumulative Sum Chart o CUSUM), a fin de determinar a partir de qué año se podía identificar un cambio en la serie temporal de los caudales durante el periodo 1934-2009. Este es un método gráfico de control que permite presentar el grado de desviación respecto a la media de una serie; en consecuencia, permite detectar la tendencia que puede tener una serie de datos cronológicamente ordenados, observados a lo largo del tiempo. La tendencia positiva en un periodo indica que el caudal promedio se mantuvo por arriba del valor normal; lo contrario, por debajo. En el caso de mantenerse paralelo al eje horizontal, nos indica que el promedio en ese periodo estuvo muy cerca del valor normal. En el Anexo B se presentan las gráficas correspondientes a las seis estaciones hidrométricas.

En el cuadro 3, se muestra las tendencias identificadas en las estaciones hidrométricas a lo largo del periodo en estudio, con el apoyo de las gráficas de desviaciones acumuladas.

De los registros de las estaciones hidrométricas se pueden identificar tendencias positivas, negativas y periodos normales o estables. Todas las estaciones registran tendencia creciente desde 1934 hasta 1944 y 1956, de tal manera que cualquier correlación de la serie de caudales con respecto al tiempo en ese periodo dará una tendencia positiva. En los 76 años analizados se observan de tres a cuatro grupos de tendencias de los caudales en el siguiente orden: creciente-decreciente-creciente y finalmente normal o estable en los últimos 20 años.

En la estación Chico, a partir del año 2004 hasta 2009, la tendencia se ha mantenido positiva con un 16% por arriba del valor normal.

Cuadro 3.
Resumen de tendencias observadas y su correspondiente caudal promedio

Estación	Caudal promedio anual, m3/s (1934-2009)	Periodo	Caudal promedio anual, m3/s	Diferencia (%)	Tendencia
Los Cañones	9.64	1934-1956	10.6	+10.0	Creciente
		1957-1965	8.33	-13.6	Decreciente
		1966-1981	10.4	+7.9	Creciente
		1982-1997	8.32	-13.7	Decreciente
		1998-2009	9.48	-1.7	Estable
El Chorro	6.82	1934-1956	7.38	+8.2	Creciente
		1957-1965	5.64	-17.3	Decreciente
		1966-1981	7.35	+7.8	Creciente
		1982-1997	5.97	-12.5	Decreciente
		1998-2009	6.83	+0.1	Estable
Ciento	6.79	1934-1944	7.85	+15.6	Creciente
		1945-1961	6.27	-7.7	Decreciente
		1962-1975	7.15	+5.3	Creciente
		1976-1980	5.44	-19.9	Decreciente
		1981-2009	6.73	-0.9	Estable
Peluca	7.67	1934-1944	8.58	+11.9	Creciente
		1945-1961	7.63	-0.5	Estable
		1962-1975	7.13	-7.0	Decreciente
		1976-1980	8.25	+7.6	Creciente
		1981-2009	7.65	-0.3	Estable
Candelaria	13.9	1934-1972	14.4	+3.6	Creciente
		1973-1991	12.8	-7.9	Decreciente
		1992-2009	13.9	+0.0	Estable
Chico	30.9	1934-1956	32.6	+5.5	Creciente
		1957-1980	28.1	-9.1	Decreciente
		1981-2003	31	+0.3	Estable
		2004-2009	35.8	+15.9	Creciente

2.3 Variación de los caudales promedios anuales

Para facilitar la visualización de la variación de los caudales promedios anuales con el tiempo, en el Anexo B se presentan las gráficas de cada una de las estaciones hidrométricas.

En el cuadro 4, se presentan los años más secos y húmedos de todo el registro. Se observa que en los 76 años de registro, 1997 fue el año más seco en todas las estaciones, con desviaciones negativas con respecto a la media que varían entre 30% y 61%, registrándose los más críticos en las estaciones ubicadas en el lado Oeste de la Cuenca; le siguen los años 1957 y 1976, en las estaciones ubicadas en los ríos que fluyen al lago Alhajuella, y 1965, en las estaciones que fluyen directamente al lago Gatún.

En general, los años 1935 y 1970 son los más húmedos en las estaciones Chico y Candelaria; en el resto de las estaciones coinciden con el año 1981.

Cuadro 4
Resumen de años más secos y húmedos del registro Estaciones hidrométricas – 1934-2009

Estación	Promedio Anual (m ³ /s)	AÑOS MÁS SECOS DEL REGISTRO			AÑOS MÁS HÚMEDOS DEL REGISTRO		
		Años más secos	Caudal Anual (m ³ /s)	Desviación % con respecto a la medida	Años más húmedos	Caudal Anual (m ³ /s)	Desviación % con respecto a la medida
Chico	30.9	1997	18.9	-39%	1935	52.5	+70%
		1957	19.3	-38%	1970	48.0	+55%
		1976	21.2	-31%	1996	47.4	+53%
Candelaria	13.9	1997	8.54	-39%	1970	19.9	+43%
		1976	9.62	-31%	1935	19.7	+42%
		1974	9.85	-29%	1944	19.2	+38%
Peluca	7.67	1997	4.20	-45%	1944	13.1	+71%
		1957	5.08	-34%	1970	10.9	+42%
		1976	5.13	-33%	1981	10.8	+41%
Ciento	6.79	1997	3.43	-49%	1981	11.6	+71%
		1948	4.22	-38%	1935	11.6	+71%
		1977	4.25	-37%	1938	10.9	+61%
El Chorro	6.82	1997	2.63	-61%	1981	10.9	+60%
		1965	3.75	-45%	1935	10.7	+57%
		1983	4.06	-40%	1996	10.4	+52%
Los Cañones	9.64	1997	4.18	-57%	1981	16.5	+71%
		1965	5.79	-40%	1935	15.2	+58%
		1994	6.32	-34%	1938	14.4	+49%

2.4 Variabilidad de los caudales promedio anuales utilizando la desviación estándar, con el rango de variación, mínimo y máximo.

Para conocer las características de la serie de caudales promedio anuales de cada estación hidrométrica, se utilizaron diagramas de caja, los cuales son una presentación visual que permiten comparar el comportamiento entre los mismos, a través del componente del valor medio, como medida de la tendencia central, la variabilidad en torno a la media, medida por la desviación estándar. En una distribución normal, una desviación estándar corresponde al 68% de los valores registrados. Estas gráficas se presentan en el Anexo C y los resultados, en el cuadro 5.

Cuadro 5
Estadística Básica de los caudales promedio anuales (m³/s)

CUENCA	PERIODO	Q Promedio Anual m ³ /s	Desviación Estándar	Coefficiente de variación %	Q Anual Mínimo	Q Anual Máximo	Qmín/Qprom	Qmáx/Qprom
Río Chagres en Chico	1934-2009	30.9	7.11	23	18.9	52.5	0.61	1.70
Río Pequení en Candelaria	1934-2009	13.9	2.51	18	8.54	19.9	0.61	1.43
Río Boquerón en Peluca	1934-2009	7.67	1.61	21	4.20	13.1	0.55	1.71
Río Gatún en Ciento	1934-2009	6.79	1.54	23	3.46	11.6	0.51	1.71
Río Trinidad en El Chorro	1934-2009	6.82	1.86	27	2.63	10.9	0.39	1.60
Río Ciri Grande en Los Cañones	1934-2009	9.64	2.38	25	4.18	16.5	0.43	1.71

2.5 Variación de los caudales promedio mensuales

En el cuadro 6, se presentan la distribución de los caudales promedio mensuales multianuales a lo largo de un año en las seis estaciones hidrométricas.

Cuadro 6
Caudales promedio mensuales multianuales (m³/s) – Estaciones hidrométricas (1934-2009)

Estación	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Promedio Anual
Chico	26.3	15.6	11.7	16.2	28.2	29.5	32.5	36.2	33.6	39.3	52.9	49.2	30.9
Candelaria	10.5	5.83	4.35	7.45	14.6	15.2	17.1	17.5	14.9	15.4	21.8	21.9	13.9
Peluca	5.49	2.79	1.97	3.93	8.08	8.38	9.76	9.84	7.68	7.86	13.3	13.0	7.67
Ciento	4.77	2.49	1.58	2.12	4.23	5.62	6.63	7.80	7.68	11.2	15.4	12.0	6.79
El Chorro	4.27	2.25	1.38	1.47	4.18	6.33	6.44	8.32	10.2	13.5	14.0	9.58	6.82
Los Cañones	6.25	2.98	1.89	2.12	5.96	9.63	9.46	12.3	14.4	18.3	18.9	13.5	9.64

En la figura 4, se muestra la variación de los caudales promedio mensuales a lo largo de un año en cada uno de los sitios de las estaciones hidrométricas. Se observa que en los ríos que fluyen directamente al lago Alhajuela, se distinguen dos periodos donde hay una disminución de los caudales; el más seco con el periodo más largo es el de enero a abril y el otro, son septiembre y octubre. Además, los meses donde se registran los mayores caudales, son noviembre y diciembre. En cambio, en los ríos que fluyen directamente al lago Gatún, el segundo periodo seco es entre junio y julio, llamado Veranillo de San Juan, y los meses más húmedos son octubre y noviembre.

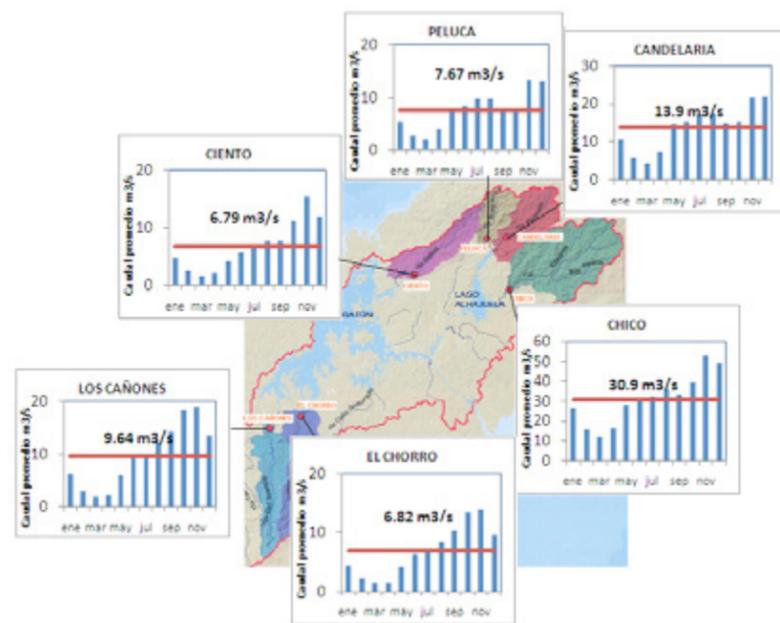


Figura 4. Variación mensual de los caudales en los sitios de las estaciones hidrométricas.

2.6 Curvas de variación estacional de caudales mensuales

Para la evaluación de la disponibilidad de agua superficial, es conveniente conocer su variación en función del tiempo y la probabilidad de ocurrencia de los eventos. Las curvas de variación estacional permiten obtener información general acerca del comportamiento estacional de los caudales de un río (periodo seco y húmedo). El conjunto de las curvas de variación determinan el régimen de distribución de caudales en el tiempo y en función de la probabilidad con que los eventos son igualados o excedidos.

Se determinaron las curvas de variación estacional de los caudales medios mensuales para cada una de las estaciones hidrométricas localizadas sobre los principales ríos que fluyen a los embalses Gatún y Alhajuella, en la Cuenca del Canal.

Las curvas de variación estacional se construyeron con base a las curvas de frecuencia para probabilidades de ocurrencia de 5%, 10%, 25%, 50%, 75%, 90% y 95%. En los cuadros 7 al 12, se presentan las probabilidades calculadas y, en las figuras 3 a 8, las curvas de variación estacional de caudales mensuales para cada una de las estaciones hidrométricas. Además, se incluye el periodo de enero a junio del 2010, como un ejemplo del uso de la información histórica presentada en este estudio. Similarmente, el usuario puede completar el resto del año a medida que se publica la información o realizar análisis similares en años siguientes.

Se observa que en las estaciones ubicadas en los ríos que fluyen al lago Alhajuella, los meses de enero, febrero y mayo, estuvieron por debajo del promedio (50%) con una probabilidad de ser igualado o excedido en un 75%. Marzo fue relativamente húmedo con la probabilidad de ser superado en un 25%. Abril y junio se mantuvieron en el promedio.

En las estaciones El Chorro y Los Cañones, el comportamiento de enero hasta mayo del 2010 es diferente; desde enero hasta marzo, los caudales se mantuvieron por debajo del promedio y, abril y mayo, por arriba. Finalmente, junio se mantuvo muy cerca del valor normal o promedio. Sin embargo, en la estación Ciento, en los seis primeros meses del año 2010, los caudales están por debajo del valor promedio (probabilidad 50%).

Cuadro 7 Estación Chico - Caudal mensual en m³/s igualado o excedido el % del tiempo

% de Tiempo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	67.2	31.4	24.4	33.8	52.5	44.7	60.1	67.0	46.7	58.1	101	99.6
10	45.4	22.7	19.7	29.7	46.1	42.5	46.9	51.2	41.6	56.1	84.6	90.8
25	30.2	18.6	14.0	20.7	36.8	35.9	39.3	43.0	38.7	44.7	59.8	63.2
50	22.2	14.2	10.2	12.3	25.6	29.2	31.9	34.5	33.4	36.6	46.5	41.3
75	15.8	11.1	8.25	8.82	18.9	22.4	24.1	27.7	29.3	32.5	39.1	29.9
90	13.7	9.12	6.64	6.82	14.5	17.7	17.2	21.4	23.8	27.8	33.1	21.6
95	12.2	8.46	5.62	5.88	12.8	15.4	15.0	14.4	20.4	24.9	30.4	18.7
2010	13.7	10.6	15.6	13.8	19.3	30.5						

Curvas de probabilidad de caudales mensuales de ser igualados o excedidos Estación Chico en el río Chagres Periodo 1934 - 2009 y año 2010

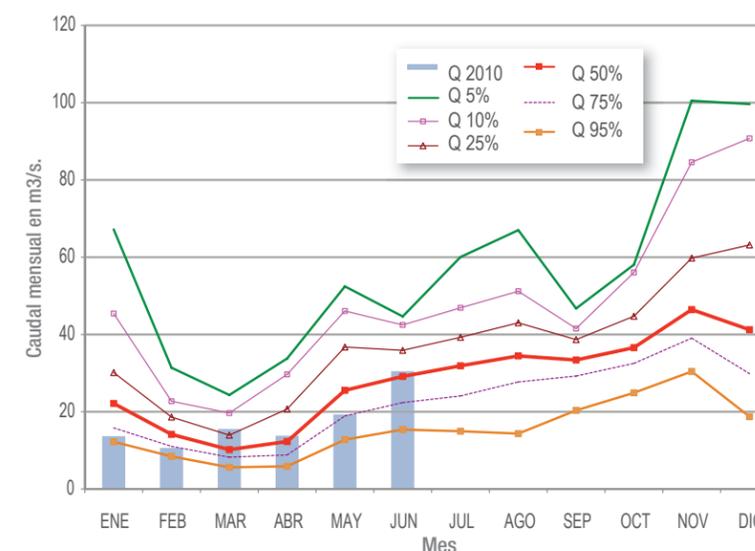


Figura 5. Curva de variación estacional – Estación Chico en el río Chagres, (1934-2009).

Cuadro 8
Estación Candelaria - Caudal mensual en m³/s igualdo o excedido el % del tiempo

% de Tiempo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	29.9	10.3	9.23	18.7	24.7	22.6	27.5	26.6	22.7	24.7	44.5	45.1
10	19.3	9.34	7.60	15.7	23.8	22.1	24.9	24.6	19.1	22.5	34.6	41.1
25	12.5	7.09	4.79	8.91	18.0	18.3	20.4	21.0	17.1	16.9	24.6	29.8
50	8.26	4.98	4.04	5.25	14.0	15.1	16.0	16.6	14.7	14.5	19.3	18.3
75	6.20	4.07	2.99	3.48	10.2	11.6	13.5	14.1	12.3	12.7	15.1	12.5
90	4.91	3.41	2.47	2.64	7.38	9.04	10.6	11.4	10.3	10.8	13.6	9.04
95	4.20	3.23	2.04	1.94	5.63	7.92	8.10	9.75	9.32	9.26	11.9	7.79
2010	4.28	3.70	6.31	6.68	12.1	16.1						

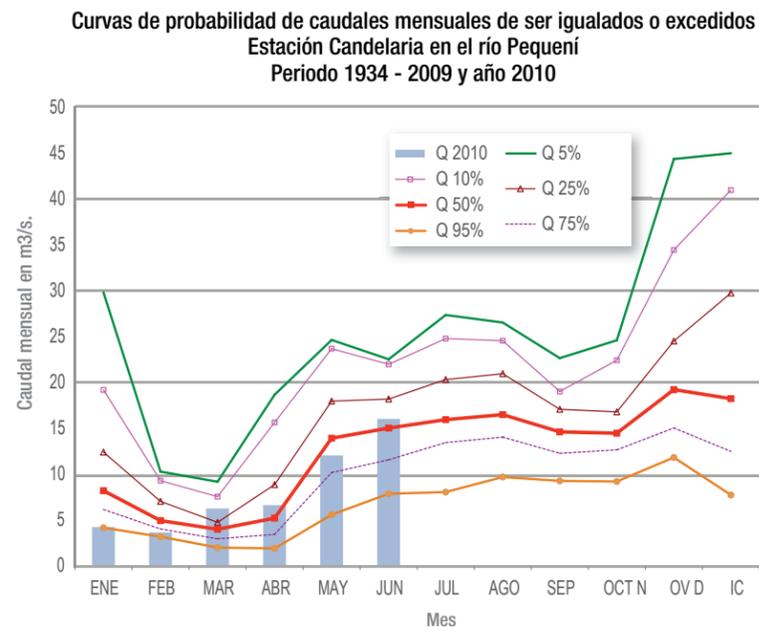


Figura 6. Curva de variación estacional – Estación Candelaria en el río Pequeñí, (1934-2009).

Cuadro 9
Estación Peluca - Caudal mensual en m³/s igualdo o excedido el % del tiempo

% de Tiempo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	15.4	6.52	4.87	10.8	16.9	15.9	18.2	17.1	12.1	14.4	28.3	32.6
10	11.5	4.66	3.51	8.45	14.6	12.9	15.0	15.2	11.1	11.8	23.4	24.3
25	5.86	3.26	2.30	5.30	9.60	10.2	11.8	11.8	8.85	9.21	16.0	18.0
50	3.99	2.36	1.72	2.36	7.44	7.72	9.12	9.57	7.25	7.04	11.8	10.6
75	2.91	1.75	1.24	1.59	4.81	6.29	7.59	7.41	5.81	5.82	8.98	6.85
90	2.16	1.45	0.876	1.27	3.71	4.52	5.04	5.59	4.75	4.91	7.38	4.29
95	1.62	1.18	0.698	1.02	2.63	3.39	4.20	4.26	4.28	4.08	5.17	3.47
2010	2.40	2.00	3.13	3.33	6.60	8.92						

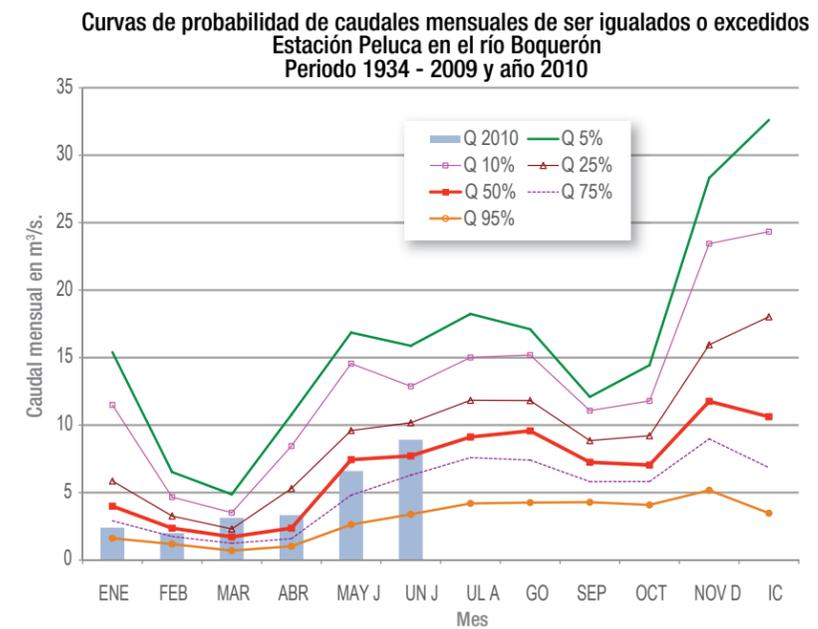


Figura 7. Curva de variación estacional – Estación Peluca en el río Boquerón, (1934-2009).

Cuadro 10
Estación Ciento - Caudal mensual en m3/s igualdo o excedido el % del tiempo

% de Tiempo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	10.4	4.64	3.19	6.05	12.0	14.1	15.0	14.2	13.7	20.5	33.7	28.3
10	8.06	3.67	2.59	3.62	7.49	10.6	10.8	11.4	10.6	18.3	25.2	25.1
25	5.51	2.88	1.84	2.36	5.65	6.90	8.47	9.22	8.83	13.8	19.4	16.4
50	4.11	2.33	1.41	1.60	3.73	5.48	6.39	7.95	7.41	10.6	14.1	9.32
75	3.13	1.97	1.19	1.10	2.56	3.83	4.84	5.63	6.42	8.26	11.0	6.95
90	2.32	1.28	0.975	0.857	1.76	2.66	3.03	4.32	5.19	5.88	8.80	4.31
95	2.07	0.950	0.772	0.683	1.24	1.99	2.72	3.64	4.47	4.73	8.08	3.78
2010	2.64	1.63	1.49	1.18	3.38	5.41						

Cuadro 11
Estación El Chorro - Caudal mensual en m3/s igualdo o excedido el % del tiempo

% de Tiempo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	9.99	3.79	2.27	3.56	9.90	13.1	12.9	14.3	15.8	20.2	25.5	23.0
10	6.51	3.30	2.02	2.43	7.30	10.3	10.6	13.2	14.8	18.0	21.8	17.2
25	4.80	2.65	1.64	1.65	5.66	7.94	7.50	10.7	12.8	15.6	16.6	11.5
50	3.61	2.15	1.32	1.16	3.61	5.88	6.31	8.26	10.4	13.5	12.9	7.99
75	2.99	1.75	1.02	0.937	2.35	4.33	4.71	5.80	7.66	10.7	10.2	5.83
90	2.35	1.38	0.816	0.603	1.46	2.79	2.47	3.67	6.04	8.73	8.44	4.48
95	2.05	1.11	0.598	0.511	1.12	2.18	1.83	2.82	4.41	7.05	8.04	3.65
2010	2.14	1.37	1.03	2.52	4.24	4.85						

Curvas de probabilidad de caudales mensuales de ser igualados o excedidos Estación Ciento en el río Gatún Periodo 1934 - 2009 y año 2010

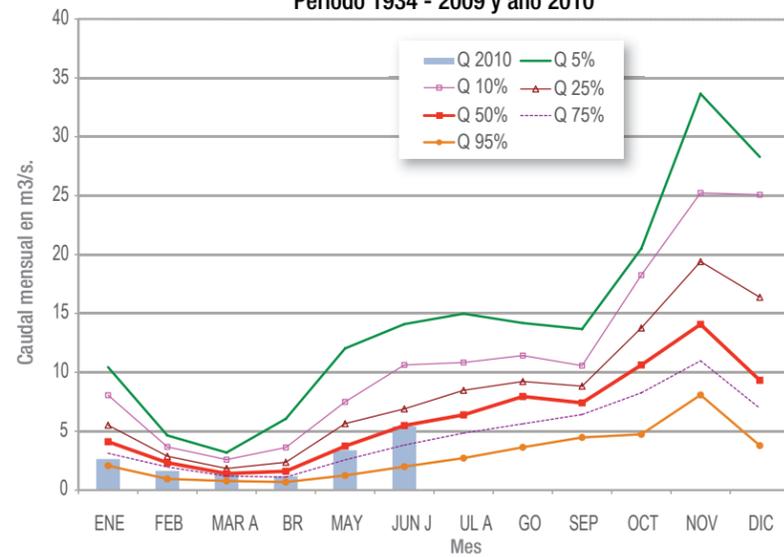


Figura 8. Curva de variación estacional – Estación Ciento en el río Gatún, (1934-2009).

Curvas de probabilidad de caudales mensuales de ser igualados o excedidos Estación El Chorro en el río Trinidad Periodo 1934 - 2009 y año 2010

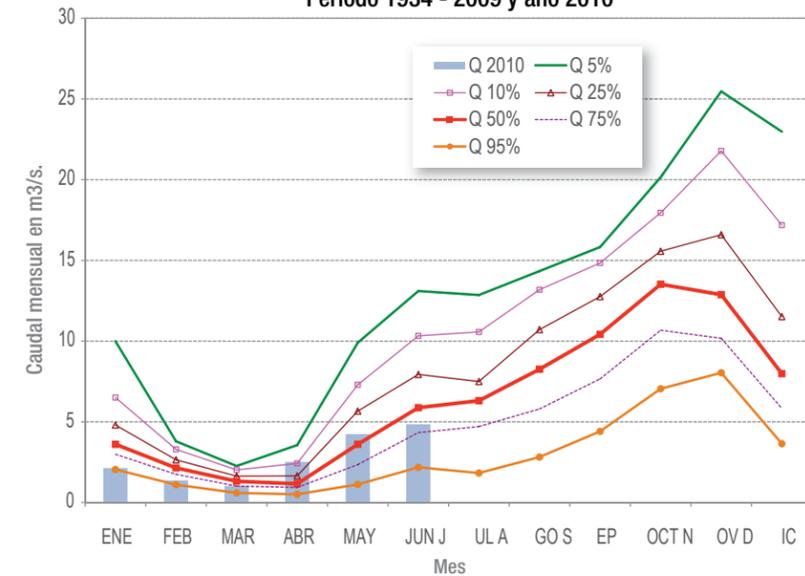


Figura 9. Curva de variación estacional – Estación El Chorro en el río Trinidad, (1934-2009).

Cuadro 12

Estación Los Cañones- Caudal mensual en m3/s igualdo o excedido el % del tiempo

% de Tiempo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
5	16.9	5.26	3.46	6.50	12.4	19.1	20.0	21.2	21.1	28.2	34.0	32.3
10	11.2	4.99	2.78	4.00	9.41	15.3	14.6	19.6	19.4	24.7	29.5	24.3
25	6.88	3.55	2.29	2.33	7.53	12.1	10.7	15.8	17.3	21.5	21.8	16.4
50	5.18	2.76	1.69	1.45	5.28	8.77	8.96	12.3	13.9	18.2	17.3	11.3
75	3.98	2.10	1.31	1.15	3.99	7.04	7.34	8.59	11.4	14.7	13.8	8.01
90	2.89	1.65	0.996	0.847	2.55	4.88	4.35	5.84	8.99	12.3	11.6	5.92
95	2.41	1.41	0.865	0.691	1.87	3.79	3.89	4.50	7.52	9.17	9.51	5.03
2010	2.66	1.56	1.34	2.36	5.53	9.16						

2.7 Mapa de caudales específicos

Se define como caudal específico, el escurrimiento por unidad de área de la Cuenca o subcuenca hasta el sitio de interés. El trazado del mapa de caudales específicos consiste en calcular el caudal específico q , en $l/s/km^2$ de cada subcuenca en que pueda dividirse la Cuenca, según las estaciones hidrométricas existentes o puntos de control determinados. En el cuadro 13, se presentan los caudales medios multianuales estimados para el periodo 1934 – 2009, en cada uno de los sitios de las estaciones hidrométricas estudiadas, así como el escurrimiento medio multianual, en milímetros, de las Cuencas correspondientes. Se observa que el rendimiento promedio en las subcuencas con estaciones hidrométricas dentro de la CHCP, varía entre $50.2 l/s/km^2$ hasta $95.9 l/s/km^2$. La subcuenca del mayor rendimiento es la del río Pequení; le sigue la de los ríos Boquerón y Chagres. La cuenca del río Trinidad es la de menor rendimiento, con $39.9 l/s/km^2$.

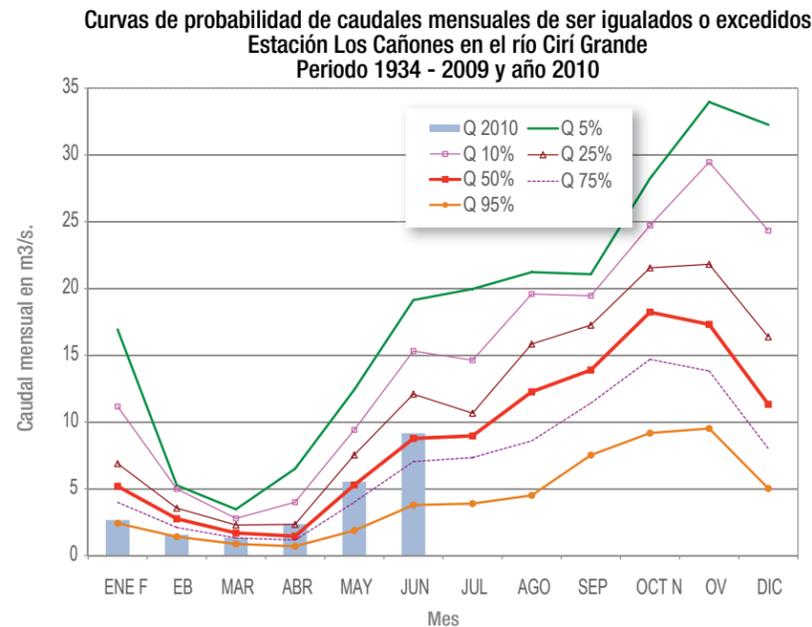


Figura 10. Curva de variación estacional – Estación Los Cañones en el río Ciri Grande, (1934-2009).

Cuadro 13

Caudales específicos – Subcuencas de las estaciones hidrométricas 1934-2009

Estación	Área (km ²)	Caudal Promedio Anual (m ³ /s)	Rendimiento (l/s/km ²)	Escorrentía (mm)
		1934-2009	1934-2009	1934-2009
Chico en río Chagres	407	30.9	75.9	2394
Candelaria en el río Pequení	145	13.9	95.9	3023
Peluca en el río Boquerón	90.6	7.67	84.7	2670
Ciento en el río Gatún	119	6.79	57.1	1799
El Chorro en el río Trinidad	171	6.82	39.9	1258
Los Cañones en el río Ciri Grande	192	9.64	50.2	1583

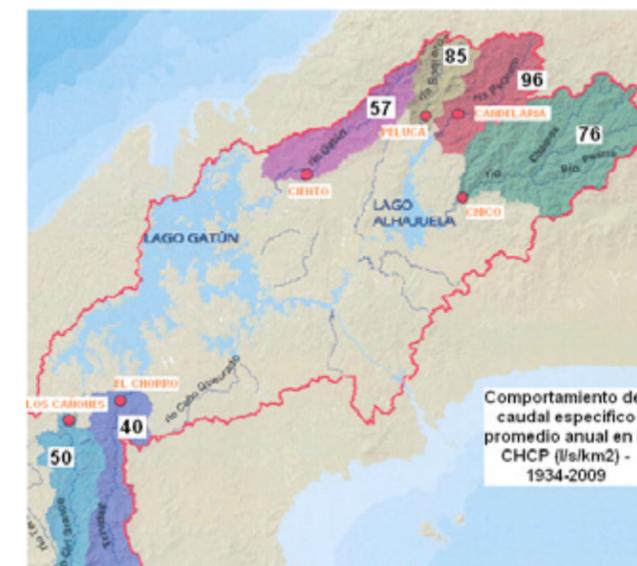


Figura 11. Comportamiento del caudal específico anual en la CHCP (l/s/km²) - 1934-2009

3. Conclusiones y recomendaciones

1. No se observa una tendencia generalizada al incremento o disminución de los caudales en las seis estaciones hidrométricas analizadas.
2. En la subcuenca del río Chagres, hasta la estación Chico, se observa que el caudal promedio anual en los últimos cinco años se ha mantenido 19% por arriba del valor normal.
3. Ampliar el estudio utilizando información climática y los aportes a los embalses.

ANEXO A

Caudales Promedios Mensuales y Curvas Dobles Acumuladas

ESTACIONES HIDROMÉTRICAS DE LA (CHCP) 1934-2009

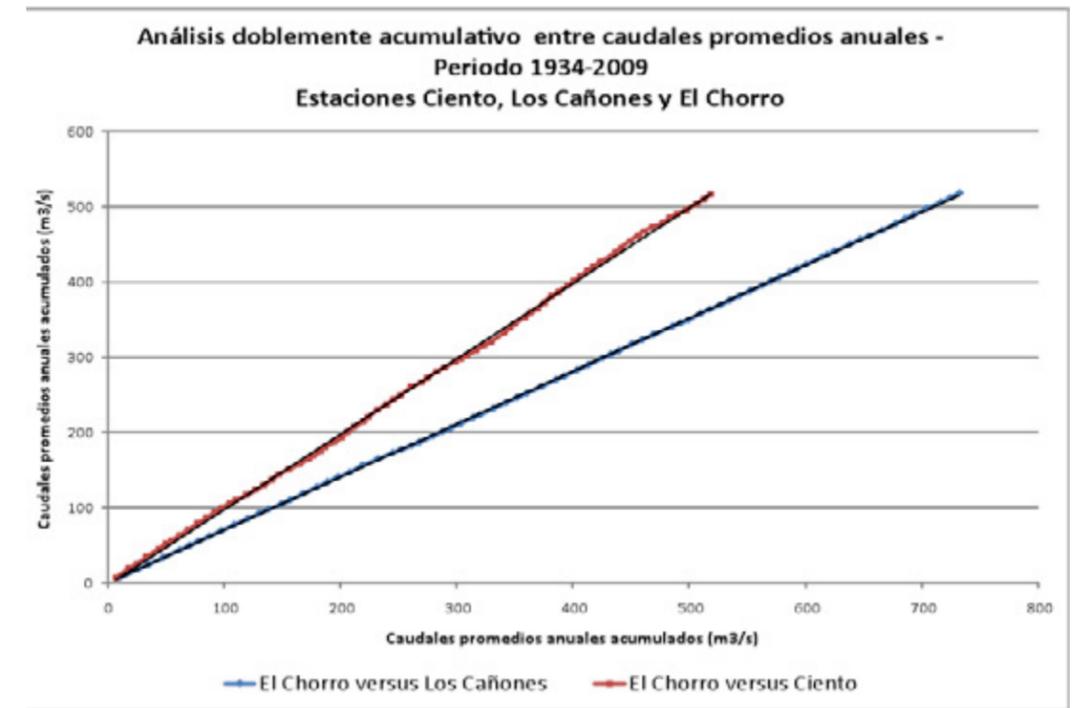
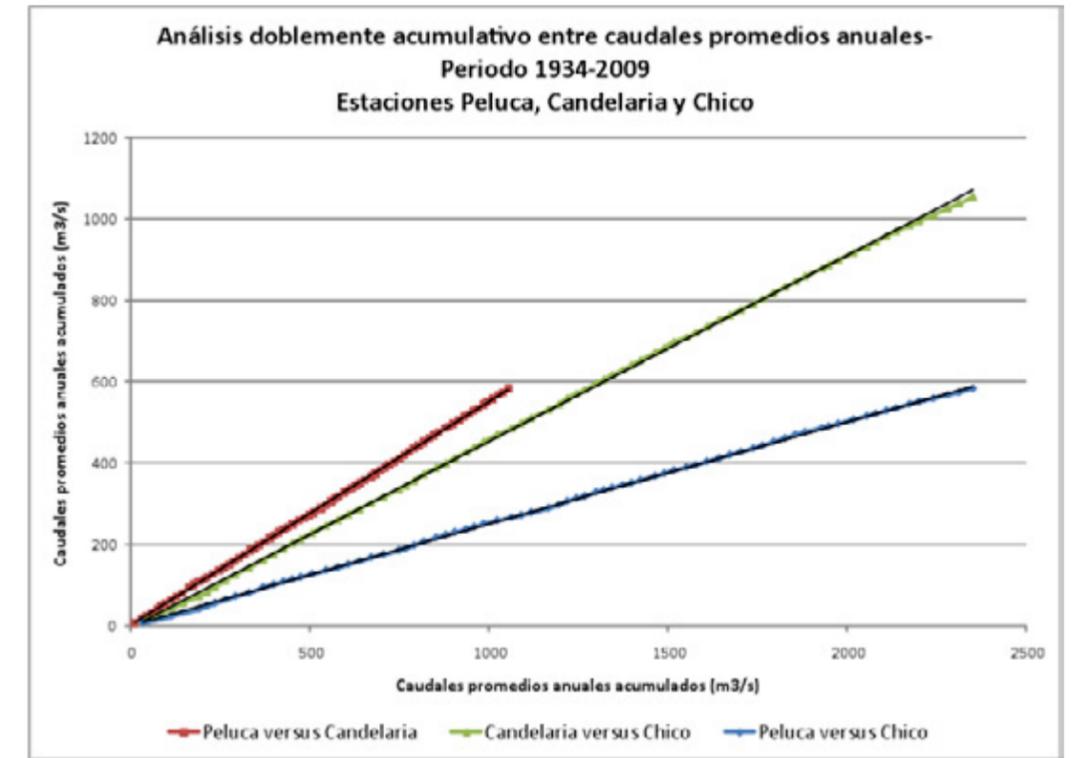
ESTACIÓN CHICO EN EL RÍO CHAGRES													
Caudales Promedios Mensuales en m3/s													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1934	28.7	12.1	8.46	10.9	33.0	34.2	38.1	40.8	42.2	54.9	67.4	47.2	34.8
1935	44.0	20.2	12.9	8.82	27.2	27.2	66.6	47.0	39.6	33.7	182.0	121.0	52.5
1936	21.8	12.0	8.75	10.7	36.6	24.8	30.2	33.7	40.4	39.5	44.1	21.9	27.0
1937	35.4	17.9	10.6	9.75	19.1	24.4	24.2	28.4	33.9	44.7	58.9	90.7	33.2
1938	26.3	20.6	15.4	30.1	52.6	42.7	37.8	69.1	41.7	40.8	55.5	98.4	44.3
1939	27.3	13.4	10.5	10.3	10.8	19.5	15.9	22.0	29.4	24.8	48.1	40.8	22.7
1940	23.8	17.0	13.9	11.1	14.6	18.3	14.8	26.8	23.5	36.6	34.0	20.6	21.3
1941	14.2	20.5	16.2	11.0	18.4	32.0	23.8	31.5	35.7	68.1	55.2	35.6	30.2
1942	19.4	15.2	14.9	23.0	16.3	25.7	30.0	28.7	36.7	51.0	39.2	31.3	27.6
1943	27.9	20.6	16.0	17.3	30.2	35.9	25.6	85.5	30.2	44.6	40.8	78.4	37.8
1944	26.0	19.2	10.3	17.9	38.0	29.8	41.4	43.2	37.5	58.6	58.3	95.3	39.6
1945	22.5	14.9	10.6	10.8	23.3	27.9	29.4	41.2	36.3	34.0	30.6	68.9	29.2
1946	18.1	13.4	9.78	12.2	22.6	25.3	37.8	39.4	32.7	29.4	23.5	63.0	27.3
1947	20.7	14.3	9.11	9.84	14.4	22.4	33.8	34.3	28.8	32.3	36.2	38.4	24.5
1948	16.0	9.15	6.93	6.17	13.3	21.2	37.8	29.0	24.6	37.8	44.4	28.1	22.9
1949	15.5	9.88	7.17	6.92	22.5	36.7	51.6	46.3	37.0	44.2	61.2	49.7	32.4
1950	19.8	16.4	10.8	18.4	41.6	41.8	61.0	55.0	39.0	31.7	60.4	72.6	39.0
1951	24.6	52.1	29.0	24.6	31.1	35.1	38.9	31.9	34.2	30.1	31.4	30.6	32.8
1952	17.7	11.2	7.54	8.88	22.8	24.9	32.7	44.1	35.7	53.5	34.1	56.4	29.1
1953	45.0	29.2	14.8	12.8	38.0	29.8	33.9	33.3	30.1	36.0	41.6	34.6	31.6
1954	19.9	14.6	12.4	12.6	21.5	35.2	37.0	40.7	39.5	26.3	64.9	63.7	32.4
1955	67.6	20.0	13.0	10.3	15.4	17.4	31.8	48.6	32.6	29.4	79.9	46.0	34.3
1956	64.8	23.6	19.7	20.6	43.1	38.1	62.9	34.9	38.1	44.3	86.0	43.0	43.3
1957	19.1	12.2	7.63	5.83	11.4	12.5	11.4	13.7	20.0	32.6	49.9	34.9	19.3
1958	34.6	16.0	10.8	6.41	17.0	22.3	22.4	26.3	27.7	28.9	35.0	28.6	23.0
1959	13.7	8.22	5.59	8.24	18.1	18.3	17.3	19.7	32.5	34.5	56.1	90.8	26.9
1960	54.8	13.2	9.44	21.0	27.3	30.4	29.0	30.1	31.2	34.9	36.7	99.3	34.8
1961	20.0	10.4	7.62	11.3	18.3	40.9	28.2	34.6	32.8	39.1	47.1	33.4	27.0
1962	17.2	10.6	8.28	8.82	26.5	19.7	32.0	41.3	34.3	33.4	38.3	27.9	24.9
1963	35.0	15.3	9.09	24.0	35.4	38.2	43.8	43.8	47.1	34.5	40.7	21.7	32.4
1964	11.6	8.44	6.35	12.9	23.1	42.7	24.3	21.9	28.0	23.9	36.7	18.5	21.5
1965	14.3	10.2	8.15	6.95	19.6	28.2	19.4	26.9	37.8	49.9	49.5	50.5	26.8
1966	22.5	12.9	8.82	30.6	37.7	29.5	30.5	26.9	35.6	40.1	94.8	78.5	37.4
1967	41.2	20.7	12.0	33.8	51.6	61.5	54.7	41.9	40.6	36.6	43.8	45.4	40.3
1968	15.9	12.8	13.3	15.5	27.9	30.2	25.1	28.0	33.4	41.7	48.6	30.2	26.9
1969	15.6	10.7	7.87	10.3	25.1	17.4	18.0	24.1	23.8	48.1	60.3	75.6	28.1
1970	79.5	33.4	29.9	49.8	61.3	31.4	32.7	43.0	40.4	43.7	45.8	85.2	48.0
1971	31.0	17.1	21.6	12.4	31.2	31.8	46.4	38.7	33.2	31.1	39.3	21.6	29.6
1972	52.8	16.7	11.1	24.6	18.3	22.7	16.3	13.1	15.2	29.6	33.6	20.2	22.9
1973	12.2	8.55	6.11	5.58	16.3	28.3	28.3	32.2	28.1	35.8	60.1	45.1	25.6
1974	27.2	13.5	10.1	7.90	13.3	17.1	21.9	31.1	31.3	42.5	39.5	27.1	23.5
1975	12.4	7.89	5.59	4.15	32.2	28.6	44.1	51.5	34.6	46.3	57.4	58.1	31.9
1976	25.8	14.3	11.6	13.0	20.0	18.7	13.2	15.2	22.4	39.5	42.2	18.1	21.2
1977	15.2	8.98	6.59	6.63	12.7	14.6	22.0	28.7	26.7	55.7	44.8	32.9	23.0
1978	14.1	12.0	8.83	26.3	28.2	39.4	46.2	48.4	32.4	34.5	42.3	23.6	29.7
1979	12.4	9.30	7.29	18.0	17.3	23.7	27.2	36.5	31.7	28.5	42.5	40.7	24.6
1980	30.9	18.7	10.4	11.0	22.3	29.2	18.1	21.3	23.6	30.6	43.0	39.4	24.9
1981	23.3	17.9	14.6	100.0	49.2	38.4	41.2	40.1	28.2	33.9	42.3	64.9	41.2
1982	33.1	14.3	9.60	12.7	22.2	19.2	33.2	31.5	30.0	47.6	32.9	20.1	25.5
1983	15.0	9.10	7.03	6.78	37.2	22.0	19.5	21.5	28.1	34.9	41.5	78.1	26.7
1984	25.7	15.1	9.44	7.42	19.2	30.7	40.4	70.7	51.1	58.2	60.0	35.9	35.3
1985	18.4	12.4	13.0	9.85	19.4	34.5	26.2	21.1	39.1	31.1	30.4	52.5	25.7
1986	16.9	11.1	11.7	21.6	48.6	30.5	25.6	22.6	36.6	56.3	60.0	28.6	30.8
1987	14.7	14.0	10.0	28.7	52.9	35.3	35.8	43.1	49.3	39.7	59.7	29.9	34.4
1988	13.8	14.7	9.68	7.76	24.5	22.1	43.0	55.2	39.9	49.1	43.3	32.1	29.6
1989	21.3	20.7	13.2	10.4	18.2	31.7	34.1	37.1	32.0	56.5	64.7	35.6	31.3
1990	29.6	18.6	15.1	14.5	38.9	19.9	17.1	33.4	44.7	57.3	58.6	62.5	34.2
1991	18.6	11.4	14.1	10.5	30.4	21.0	22.0	22.2	32.4	33.1	56.1	33.5	25.4
1992	15.2	9.49	7.33	13.4	45.8	44.7	34.6	49.4	41.2	32.9	48.4	30.9	31.1
1993	25.3	13.7	18.2	27.2	35.8	46.4	35.5	26.1	37.0	56.2	39.9	26.7	32.3
1994	14.3	10.4	9.13	8.31	25.8	36.6	38.9	32.7	33.9	36.4	62.7	29.8	28.2
1995	16.5	9.66	6.77	7.95	20.2	35.9	42.9	41.1	28.3	30.6	38.0	49.0	27.2
1996	72.2	30.3	21.5	18.0	46.2	42.4	45.4	49.7	33.4	41.6	81.3	86.4	47.4
1997	23.6	17.0	9.90	8.17	30.9	26.3	16.6	14.2	18.6	24.2	21.3	15.9	18.9
1998	10.5	9.09	5.23	14.1	38.8	23.5	30.1	33.0	33.2	32.6	37.4	53.2	26.7
1999	29.9	23.9	15.7	31.1	25.3	39.6	42.7	50.5	42.2	37.8	50.3	120.0	42.4
2000	45.6	20.1	16.1	13.0	35.1	44.5	27.1	37.3	39.6	51.0	31.7	84.6	37.1
2001	41.2	13.6	9.07	9.23	14.2	15.9	22.4	24.9	28.3	26.5	38.6	54.0	24.8
2002	26.0	14.6	19.6	33.7	29.4	24.0	33.7	30.9	23.9	32.8	52.9	36.2	29.8
2003	14.6	9.41	5.82	7.59	17.1	25.3	20.2	35.1	35.2	42.4	52.2	58.4	26.9
2004	20.8	11.3	9.70	14.2	45.5	27.7	27.6	30.4	38.6	50.1	123.0	55.0	37.8
2005	37.3	20.1	12.2	19.4	20.5	15.3	25.4	42.3	40.2	27.5	38.3	22.7	26.8
2006	12.6	13.1	23.5	27.0	43.1	42.5	47.1	54.6	32.4	42.4	97.7	41.7	39.8
2007	18.2	10.9	8.02	27.5	28.9	29.1	53.8	42.4	30.6	34.2	101.0	99.7	40.4
2008	38.0	19.7	9.54	8.07	22.9	34.7	41.5	47.6	24.7	25.5	59.5	46.4	31.5
2009	28.5	31.6	24.5	22.9	39.7	37.2	37.2	37.3	38.9	44.8	93.0	28.7	38.7
Prom.	26.3	15.6	11.7	16.2	28.2	29.5	32.5	36.2	33.6	39.3	52.9	49.2	30.9
max	79.5	52.1	29.9	100.0	61.3	61.5	66.6	85.5	51.1	68.1	182.0	121.0	182.0
min	10.5	7.89	5.23	4.15	10.8	12.5	11.4	13.1	15.2	23.9	21.3	15.9	4.15
STDES	14.6	6.96	5.20	13.0	11.7	9.20	11.9	13.0	6.82	9.87	23.9	25.7	7.11
CV	0.555	0.446	0.443	0.805	0.415	0.312	0.365	0.359	0.203	0.251	0.452	0.523	0.230

ESTACIÓN PELUCA EN EL RÍO BOQUERÓN													
Caudales Promedios Mensuales en m3/s													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1934	4.93	1.67	0.906	1.39	10.0	7.73	7.08	7.36	8.58	8.55	15.9	9.46	
1935	7.50	3.26	2.29	2.18	9.49	5.61	15.0	9.60	5.75	5.61	39.6	20.8	
1936	3.06	1.30	0.736	1.81	8.78	4.93	11.0	8.69	9.91	7.90	12.6	4.87	
1937	9.49	3.48	1.53	1.59	7.25	6.77	9.23	10.5	7.19	9.60	12.2	20.8	
1938	4.08	2.66	1.30	5.30	15.5	18.3	6.91	12.1	6.71	5.24	10.7	24.0	
1939	4.87	1.76	2.01	2.32	2.32	7.36	7.99	15.2	8.52	6.57	19.6	14.1	
1940	6.60	3.79	2.41	1.73	4.64	7.25	7.50	15.7	8.35	6.63	9.32	4.93	
1941	2.95	4.64	2.83	1.87	7.65	11.2	10.7	12.0	6.94	19.3	15.8	8.18	
1942	3.00	2.55	3.03	5.95	5.38	13.7	10.2	11.4	10.9	12.2	8.35	9.77	
1943	4.98	3.68	2.63	2.92	8.92	11.1	8.38	12.4	11.2	8.75	9.20	21.2	
1944	3.88	4.59	2.04	4.42	16.0	8.81	11.3						

ESTACIÓN CIENTO EN EL RÍO GATÚN													
Caudales Promedios Mensuales en m3/s													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1934	5.15	2.23	1.19	1.67	4.99	4.72	4.65	5.64	10.3	15.0	21.5	14.0	7.59
1935	5.66	3.11	1.53	1.41	4.75	6.07	15.9	11.5	8.65	9.26	46.2	24.7	11.6
1936	3.58	1.97	1.12	1.10	5.49	4.04	7.18	8.00	9.69	15.5	13.1	4.29	6.25
1937	6.28	2.44	1.27	1.14	3.73	5.62	7.01	7.93	8.68	14.5	18.0	35.5	9.34
1938	4.88	2.61	1.30	2.74	9.46	15.3	8.99	14.1	9.60	16.5	16.4	28.4	10.9
1939	4.90	2.14	1.18	1.07	0.735	3.56	2.87	4.92	6.04	9.96	25.3	10.4	6.08
1940	5.26	2.84	1.66	0.894	1.84	3.04	2.90	7.61	6.01	12.8	10.1	3.16	4.85
1941	2.91	3.20	1.68	1.23	3.04	5.90	7.14	7.53	7.39	16.9	13.0	7.95	6.49
1942	3.42	2.14	1.71	2.99	3.97	5.89	5.31	6.81	10.1	20.5	10.2	14.6	7.30
1943	5.09	2.77	1.48	2.36	6.83	9.64	5.70	7.27	8.46	13.2	14.2	21.1	8.17
1944	4.74	2.73	1.14	2.51	6.05	6.03	7.43	13.2	7.15	20.0	13.5	20.4	8.74
1945	4.42	2.24	1.16	1.35	3.49	4.07	6.39	9.27	7.37	9.16	13.8	21.5	7.02
1946	3.34	1.99	1.25	1.08	2.82	3.05	7.37	5.04	7.36	8.39	9.60	16.4	5.64
1947	3.50	2.33	1.21	1.32	1.70	5.30	6.88	8.20	8.31	14.1	11.0	9.95	6.16
1948	4.17	2.44	1.50	0.850	2.66	3.20	6.57	4.93	4.76	5.78	9.95	3.85	4.22
1949	1.96	1.28	0.964	0.907	2.58	6.29	6.80	7.00	7.14	9.92	21.1	9.81	6.31
1950	3.00	2.27	1.70	1.81	3.74	5.92	8.56	7.23	6.18	6.18	20.2	21.8	7.39
1951	3.60	4.70	2.41	2.07	4.17	3.97	5.50	8.73	7.42	9.98	11.2	7.00	5.89
1952	3.06	2.32	1.87	1.50	2.47	5.10	8.05	7.40	7.31	18.9	8.27	16.4	6.89
1953	6.94	4.73	2.64	2.38	4.93	3.91	8.76	7.96	9.27	14.4	14.5	9.04	7.46
1954	3.91	2.83	1.45	1.56	5.98	5.87	12.5	9.49	9.13	8.81	18.0	10.1	7.47
1955	8.42	2.81	1.62	1.11	1.73	3.94	4.85	9.21	5.55	8.22	20.8	8.10	6.36
1956	6.49	2.44	1.76	1.96	6.60	6.38	9.13	5.55	6.57	17.0	16.4	5.30	7.13
1957	3.26	2.03	1.04	0.401	1.99	1.98	3.03	5.27	5.42	13.6	13.2	7.03	4.86
1958	4.11	3.06	2.44	1.50	3.20	4.48	4.82	3.68	6.52	6.12	6.83	5.87	4.39
1959	2.64	1.62	1.13	1.02	1.90	3.46	3.32	4.14	7.99	9.86	16.8	26.0	6.66
1960	4.70	0.935	0.907	3.49	6.06	5.70	4.59	5.87	3.94	8.27	11.4	22.2	6.51
1961	2.78	1.56	1.13	1.11	2.47	8.90	7.14	6.80	8.22	12.7	15.7	8.05	6.38
1962	3.43	2.00	1.36	1.27	4.44	4.14	7.37	8.66	8.06	10.4	11.5	10.0	6.06
1963	8.37	3.05	1.32	3.16	5.13	6.47	8.50	11.9	8.48	11.4	16.0	4.73	7.38
1964	2.56	1.74	0.927	2.15	4.67	10.4	11.7	8.74	8.81	12.5	14.0	3.64	6.81
1965	3.90	1.99	0.979	0.728	2.91	3.83	3.04	4.76	7.02	12.3	19.2	11.8	6.05
1966	4.60	2.15	1.26	3.76	6.43	7.48	7.57	9.10	8.88	11.1	27.5	20.6	9.20
1967	5.27	2.58	1.28	3.67	4.46	11.6	10.4	8.52	9.57	13.3	15.0	9.19	7.90
1968	3.07	2.78	1.83	1.70	4.26	7.24	5.54	8.65	8.08	15.9	12.9	5.94	6.49
1969	3.41	2.21	1.29	2.03	4.29	2.82	5.33	7.07	9.10	10.7	10.6	15.2	6.17
1970	14.2	3.57	2.19	6.11	8.42	5.43	8.64	10.7	8.97	13.8	17.9	27.5	10.6
1971	7.08	3.20	2.75	2.01	2.52	3.80	8.44	9.30	6.40	10.1	12.9	4.28	6.06
1972	10.6	3.03	1.79	3.20	4.11	7.20	4.99	3.63	7.17	9.52	8.78	10.5	6.21
1973	5.41	4.05	1.21	0.941	4.48	9.47	10.1	11.1	12.2	5.72	21.0	9.35	7.92
1974	4.99	2.78	1.94	1.23	1.76	3.57	4.31	5.27	6.03	12.6	19.0	9.18	6.06
1975	2.37	1.97	1.19	0.669	3.39	4.08	9.44	10.4	2.66	13.4	18.2	16.1	6.99
1976	4.45	2.20	1.42	1.56	2.09	3.17	0.612	2.09	6.80	9.83	13.4	5.13	4.40
1977	2.26	1.13	0.612	0.510	0.901	1.67	2.72	8.10	7.37	8.84	9.41	7.48	4.25
1978	3.03	2.49	1.65	4.68	5.21	6.55	9.49	11.3	8.44	7.37	15.9	8.13	7.02
1979	3.77	1.28	1.33	2.11	3.66	5.87	4.99	8.05	6.46	13.7	15.0	6.63	6.07
1980	7.06	3.71	2.15	1.61	4.73	7.65	3.66	5.13	4.59	7.88	9.38	8.59	5.51
1981	4.82	3.06	2.18	14.7	16.4	14.2	11.8	8.81	6.32	10.1	22.2	25.2	11.6
1982	9.01	5.67	3.26	2.58	2.31	5.55	6.23	4.00	5.33	11.5	8.73	3.88	5.67
1983	2.30	1.48	1.00	1.28	2.70	3.51	3.57	6.66	8.25	11.0	10.8	18.6	5.93
1984	7.23	2.28	1.05	0.762	1.45	4.65	7.88	18.3	13.9	13.5	19.3	9.30	8.31
1985	4.11	3.12	2.66	2.63	3.68	6.57	5.36	5.89	8.47	8.56	10.5	18.2	6.64
1986	3.74	2.39	1.55	2.60	3.03	4.87	4.39	3.74	6.74	14.3	8.84	3.77	5.00
1987	2.06	1.77	1.07	8.42	10.3	7.82	8.36	8.59	8.50	19.0	22.0	9.30	8.94
1988	3.15	1.89	0.964	0.839	2.77	2.59	10.5	14.2	11.7	20.5	11.3	9.30	7.48
1989	2.79	3.32	2.46	2.42	3.43	3.40	7.37	8.27	5.58	8.39	19.6	13.6	6.72
1990	7.08	3.57	3.37	2.56	4.93	2.40	4.11	8.78	14.3	16.5	13.3	8.64	7.47
1991	3.37	2.95	2.79	3.20	6.43	4.08	4.85	4.76	7.79	7.25	13.5	6.09	5.59
1992	7.17	2.44	1.21	1.71	12.3	8.30	6.29	10.8	10.7	6.86	8.33	8.36	7.04
1993	5.47	4.28	4.56	5.75	4.00	6.69	9.95	5.61	9.92	12.9	14.0	7.25	7.53
1994	3.54	1.96	1.47	1.35	3.06	6.86	4.79	5.58	5.13	7.88	13.9	5.30	5.06
1995	3.63	1.92	1.33	1.38	3.20	7.00	9.32	9.58	7.79	6.60	15.3	11.0	6.51
1996	16.5	3.74	2.48	1.81	6.83	8.56	8.10	8.33	6.40	6.91	22.0	13.7	8.78
1997	3.74	2.37	1.24	0.873	3.57	4.45	2.39	1.94	4.45	4.68	8.05	3.43	3.43
1998	1.31	0.765	0.521	1.76	3.94	4.84	5.81	9.69	10.1	11.6	7.99	16.2	6.21
1999	4.67	2.31	2.05	2.34	5.92	10.8	11.0	11.2	7.73	12.7	19.2	31.4	10.1
2000	9.09	2.50	1.73	1.05	2.42	10.3	5.01	7.56	7.48	13.5	9.52	15.8	7.15
2001	7.08	2.16	1.33	0.816	1.21	1.70	4.81	5.04	7.42	5.07	10.1	12.2	4.91
2002	5.89	2.13	1.39	2.20	1.78	2.46	4.90	6.00	7.00	8.58	12.7	5.75	5.07
2003	2.27	1.28	0.749	0.918	2.44	3.36	6.58	6.64	7.19	9.93	14.4	18.0	6.15
2004	3.18	1.61	1.09	1.23	6.94	6.86	5.56	8.55	8.33	11.8	22.2	6.26	6.97
2005	3.50	2.00	1.23	2.13	1.99	2.09	2.72	6.34	6.76	5.24	13.8	4.35	4.35
2006	2.14	1.47	1.31	1.64	4.06	4.29	6.39	9.07	7.10	7.67	24.0	7.14	6.35
2007	3.00	1.61	0.953	2.07	7.49	5.54	7.88	6.76	5.78	7.03	25.2	18.8	7.67
2008	5.64	2.41	1.27	1.00	2.74	4.17	5.77	10.9	5.12	4.09	16.0	8.32	5.62
2009	2.90	2.91	1.93	1.69	2.91	5.64	6.05	8.41	6.42	10.6	25.4	6.81	6.81
Prom.	4.77	2.49	1.58	2.12	4.23	5.62	6.63	7.80	7.68	11.2	15.4	12.0	6.79
max	16.5	5.67	4.56	14.7	16.4	15.3	15.9	18.3	14.3	20.5	46.2	35.5	46.2
min	1.31	0.765	0.521	0.401	0.735	1.67	0.612	1.94	2.66	4.09	6.83	3.16	0.401
STDES	2.58	0.877	0.679	1.96	2.58	2.69	2.69	2.83	2.04	3.91	6.10	7.39	1.54
CV	0.542	0.352	0.430	0.924	0.609	0.479	0.406	0.363	0.266	0.350	0.396	0.615	0.226

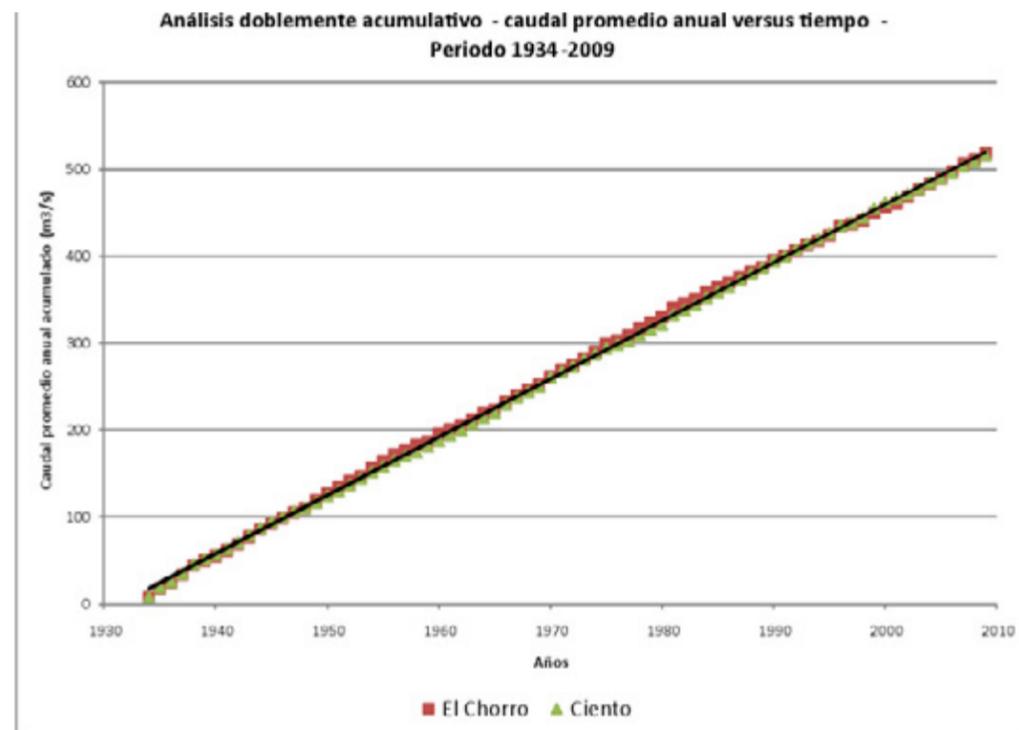
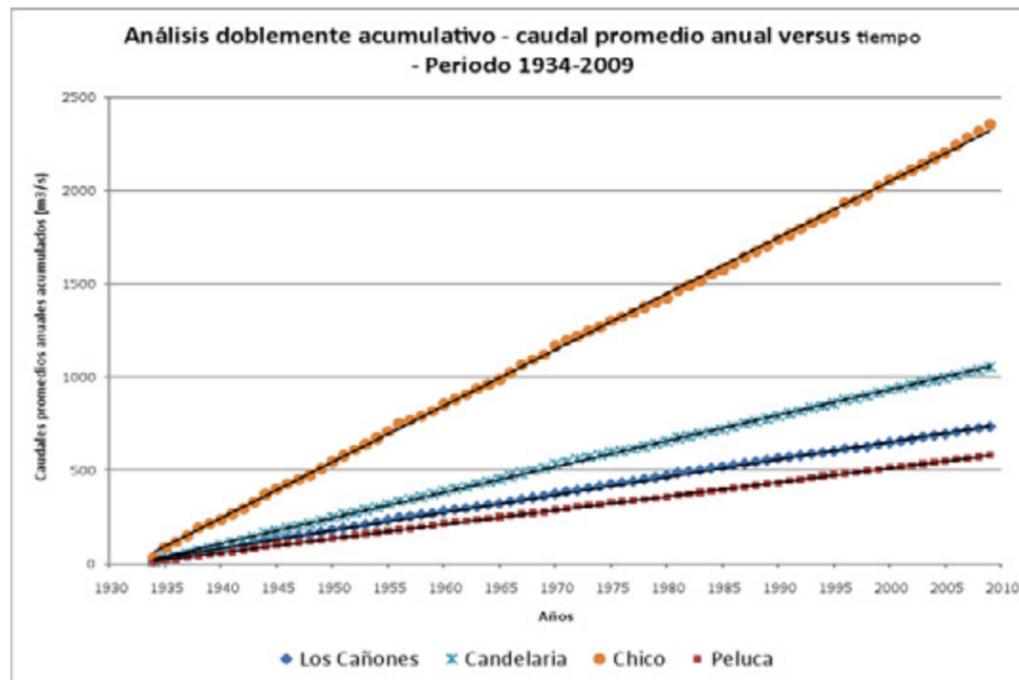
ESTACIÓN EL CHORRO EN EL RÍO TRINIDAD													
Caudales Promedios Mensuales en m3/s													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1934	4.80	2.21	1.27	1.50	5.63	5.55	4.12	5.73	13.3	15.9	19.4	10.9	7.52
1935	5.21	3.17	1.56	1.34	5.39	6.72	15.3	12.1	11.1	11.4	38.3	17.3	10.7
1936	3.54	1.94	1.21	1.17	6.16	4.95	6.62	8.30	12.5	16.2	12.9	5.17	6.73
1937	5.70	2.45	1.33	1.19	4.33	6.33	6.46	8.22	11.1	15.5	16.7	23.6	8.57
1938	4.58	2.63	1.36	2.11	10.3	14.7	8.43	14.9	12.4	17.1	15.5	19.4	10.3
1939	4.60	2.12	1.25	1.15	1.24	4.54	2.35	4.95	7.45	11.9	22.2	8.75	6.05
1940	4.88	2.88	1.67	1.05	2.38	4.08	2.38	7.87	7.41	14.2	10.6	4.50	5.33
1941	3.00	3.26	1.69	1.24	3.62	6.57	6.59	7.79	9.32	17.3	12.8	7.33	6.72
1942	3.41	2.11	1.72	2.26	4.59	6.57	4.77	7.00	13.0	20.2	10.7	11.3	7.30
1943	4.75	2.80	1.52	1.89	7.54	9.82	5.16	7.51	10.8	14.5	13.7	15.1	7.92</

ESTACIÓN LOS CAÑONES EN EL RÍO CIRÍ GRANDE													
Caudales Promedios Mensuales en m3/s													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1934	7.14	2.91	1.70	1.69	7.06	8.31	6.52	8.44	18.7	21.9	27.2	15.4	10.6
1935	7.85	4.39	2.11	1.45	6.76	10.0	20.3	18.1	15.8	15.1	56.6	24.3	15.2
1936	4.94	2.49	1.61	1.17	7.70	7.43	9.62	12.4	17.6	22.4	17.2	7.38	9.33
1937	8.73	3.27	1.79	1.20	5.45	9.45	9.41	12.2	15.9	21.3	23.0	33.1	12.1
1938	6.76	3.55	1.83	2.66	12.8	21.7	11.8	22.5	17.5	23.6	21.2	27.3	14.4
1939	6.79	2.77	1.68	1.14	1.65	6.82	4.34	7.26	11.4	15.9	31.7	12.4	8.65
1940	7.29	3.94	2.28	0.98	3.05	6.16	4.38	11.7	11.3	19.3	13.7	6.45	7.54
1941	3.99	4.52	2.30	1.28	4.58	9.80	9.58	11.6	13.7	24.0	17.1	10.4	9.40
1942	4.71	2.76	2.35	2.90	5.77	9.80	7.32	10.4	18.3	28.3	13.7	15.9	10.2
1943	7.06	3.81	2.05	2.32	9.41	14.6	7.81	11.1	15.5	19.7	18.5	21.2	11.1
1944	6.56	3.76	1.63	2.46	8.41	9.98	9.92	20.9	13.3	27.7	17.7	20.7	11.9
1945	6.11	2.94	1.66	1.39	5.15	7.47	8.65	14.4	13.6	14.9	18.0	21.6	9.67
1946	4.59	2.51	1.77	1.15	4.30	6.18	9.85	7.45	13.6	14.0	13.0	17.4	7.99
1947	4.81	3.08	1.72	0.428	2.88	9.04	25.6	21.1	15.3	20.8	19.8	9.20	11.2
1948	4.30	1.64	1.16	0.850	1.87	2.69	10.5	12.3	11.7	10.8	22.1	5.89	7.15
1949	2.38	1.42	0.91	0.82	2.58	15.0	10.4	13.1	18.7	17.6	31.2	24.5	11.6
1950	4.02	2.21	1.30	0.93	7.00	13.2	13.7	20.2	13.3	18.3	23.9	24.0	11.8
1951	7.34	3.96	2.21	1.44	7.19	8.86	8.21	8.95	15.5	13.1	19.9	11.3	9.00
1952	4.81	2.24	1.16	1.02	4.02	10.6	8.13	8.64	14.8	21.4	13.3	19.0	9.09
1953	14.0	5.27	2.75	1.93	8.55	7.65	7.42	6.12	7.62	22.5	22.5	12.1	9.88
1954	5.98	2.75	1.70	1.36	6.77	7.17	17.5	13.1	18.0	15.2	29.3	15.2	11.2
1955	16.3	4.93	2.38	1.87	3.82	15.3	10.8	18.0	22.2	19.1	29.5	16.8	13.4
1956	17.0	5.07	2.89	2.66	10.5	15.4	14.4	10.7	17.4	26.4	18.5	10.5	12.6
1957	4.05	2.04	1.303	0.935	4.16	4.19	4.13	8.30	9.09	21.4	13.8	11.1	7.04
1958	6.83	5.21	2.72	1.93	6.23	7.50	10.5	14.2	13.8	18.2	14.6	7.59	9.11
1959	3.09	1.98	1.39	1.22	1.87	4.74	5.14	5.83	7.50	18.7	13.3	16.2	6.75
1960	8.15	2.79	3.02	4.71	9.68	11.2	10.2	11.1	10.1	15.1	19.9	34.5	11.7
1961	5.83	2.59	1.47	1.67	3.46	8.46	7.34	8.08	12.4	18.8	16.3	13.3	8.31
1962	4.71	2.17	1.32	1.25	2.62	4.04	5.43	11.5	10.3	13.0	13.7	10.2	6.69
1963	3.78	2.29	1.28	3.32	6.71	8.73	9.64	12.9	12.8	18.1	19.3	6.91	8.82
1964	2.95	1.33	0.97	1.15	5.12	16.8	14.7	16.5	18.4	20.8	22.9	7.70	10.8
1965	5.78	2.42	1.40	0.69	2.08	3.80	4.03	6.63	6.45	10.2	12.9	13.1	5.79
1966	4.43	1.83	1.32	1.51	9.32	13.8	10.3	14.2	16.2	19.8	24.5	20.0	11.4
1967	6.62	2.75	1.43	2.75	7.87	19.5	13.3	15.8	19.5	23.8	15.7	7.62	11.4
1968	3.13	2.08	1.40	1.31	4.29	12.0	8.68	12.3	12.7	21.1	19.5	9.90	9.03
1969	3.92	2.00	1.05	1.87	4.22	8.73	7.35	10.8	16.6	16.5	17.4	10.9	8.44
1970	9.45	3.55	3.02	3.94	10.3	7.83	8.26	17.6	14.5	21.9	16.9	35.5	12.7
1971	17.4	5.18	2.79	2.39	9.10	14.5	11.3	17.5	18.0	20.9	23.1	7.36	12.5
1972	4.71	2.80	1.73	6.26	4.80	9.00	4.81	5.86	12.4	12.4	11.2	5.53	6.79
1973	2.55	1.40	0.72	0.72	3.91	15.3	14.1	12.5	20.2	23.9	26.1	13.8	11.3
1974	6.34	3.44	2.50	1.57	3.62	7.75	8.74	10.3	12.0	32.7	18.1	9.90	9.75
1975	4.11	2.11	1.49	0.85	3.31	6.50	8.68	16.6	21.1	24.9	34.4	20.0	12.0
1976	8.24	3.80	2.21	2.20	5.30	5.48	3.86	3.71	9.71	20.8	14.5	5.98	7.15
1977	3.10	1.73	1.15	0.84	3.38	5.21	5.27	9.98	11.4	20.5	15.2	8.52	7.19
1978	3.83	2.25	1.55	12.36	8.60	13.0	11.4	15.9	16.7	19.2	16.3	9.35	10.9
1979	5.10	3.91	3.54	4.02	6.54	10.7	10.6	15.9	19.4	18.9	6.3	5.49	9.21
1980	10.71	3.68	2.01	1.45	5.38	10.9	7.99	19.2	8.95	15.4	15.5	12.6	9.48
1981	11.36	9.20	7.39	13.1	21.2	22.8	20.7	14.8	14.6	21.9	21.0	19.8	16.5
1982	7.93	3.46	2.30	2.65	4.59	7.53	6.29	4.67	8.69	17.1	12.6	3.79	6.80
1983	2.39	1.48	0.86	0.54	4.42	5.66	4.13	5.27	17.2	12.7	12.4	15.7	6.89
1984	5.27	3.58	2.29	1.444	6.43	12.2	10.9	17.1	16.7	17.4	20.6	11.4	10.4
1985	5.04	2.63	1.31	0.89	2.53	7.11	3.06	12.5	20.8	14.9	12.5	10.5	7.82
1986	3.96	2.11	1.37	4.11	5.86	12.7	8.35	6.74	9.77	25.7	19.2	7.92	8.98
1987	2.78	1.89	1.10	1.69	5.27	5.41	7.67	12.8	14.0	24.2	10.1	8.04	7.92
1988	2.76	1.67	0.937	0.932	4.08	8.01	8.6	15.1	17.0	21.3	16.5	9.46	8.86
1989	6.68	3.46	2.29	1.25	4.79	5.52	10.1	14.7	13.7	16.0	16.2	10.5	8.77
1990	5.81	2.97	2.21	1.26	5.18	7.65	10.1	10.5	19.4	29.1	18.8	16.2	10.8
1991	3.79	1.89	2.35	1.16	4.59	6.12	4.67	5.55	11.0	18.0	14.2	11.3	7.04
1992	3.34	1.73	1.16	1.57	6.54	11.6	8.33	13.2	15.1	12.3	11.3	7.28	7.79
1993	4.45	2.86	2.07	2.05	4.90	10.3	7.53	6.26	13.8	14.6	22.0	12.5	8.61
1994	4.59	2.20	1.59	1.36	4.98	7.96	5.83	4.47	9.71	13.9	14.3	4.96	6.32
1995	2.86	1.62	0.97	1.26	7.79	12.8	10.3	11.2	11.6	13.0	12.6	8.64	7.88
1996	22.6	6.88	5.07	2.67	7.93	12.0	18.0	22.3	17.5	23.0	15.5	14.7	14.0
1997	5.61	3.31	1.66	1.198	2.02	3.57	2.92	2.38	5.98	7.82	9.57	4.08	4.18
1998	2.12	1.01	0.612	0.980	2.80	5.30	9.54	7.62	8.0	15.3	8.58	13.4	6.27
1999	6.12	2.82	2.54	2.97	9.09	13.4	8.7	21.2	27.4	13.1	20.6	27.1	12.9
2000	12.6	5.01	2.57	2.11	8.04	16.9	9.57	9.49	12.1	8.89	12.2	9.7	9.09
2001	6.54	2.60	1.74	1.16	2.75	8.81	6.06	6.54	10.6	14.7	17.1	13.8	7.71
2002	10.1	3.06	1.78	6.54	5.07	7.14	12.9	17.0	17.2	14.3	29.9	8.58	11.1
2003	3.25	1.83	1.09	1.23	7.48	9.62	11.4	14.4	13.4	23.6	28.6	24.4	11.7
2004	5.50	2.60	1.66	1.83	9.41	7.42	6.95	10.8	10.5	15.2	16.8	6.93	7.96
2005	5.85	2.35	2.02	2.21	5.86	8.64	7.44	11.3	13.7	14.4	9.50	5.42	7.39
2006	3.46	2.43	1.55	2.07	5.44	6.21	12.6	19.7	20.7	8.99	36.9	15.3	11.3
2007	4.42	2.04	1.16	2.40	17.1	14.4	15.5	15.8	16.1	17.7	19.6	18.0	12.0
2008	6.48	3.13	1.56	1.00	1.15	3.78	9.39	15.8	15.1	10.7	21.8	12.8	8.55
2009	4.61	3.03	2.67	1.67	6.56	8.87	9.17	10.5	9.71	14.0	15.4	6.43	7.72
Prom.	6.25	2.98	1.89	2.12	5.96	9.63	9.46	12.3	14.4	18.3	18.9	13.5	9.64
max	22.6	9.20	7.39	13.1	21.2	22.8	25.6	22.5	27.4	32.7	56.6	35.5	56.6
min	2.12	1.01	0.612	0.428	1.15	2.69	2.92	2.38	5.98	7.82	6.32	3.79	0.428
STDES	3.75	1.33	0.963	2.09	3.28	4.17	4.13	4.81	4.08	5.07	7.57	7.16	2.38
CV	0.601	0.445	0.510	0.987	0.550	0.433	0.437	0.391	0.284	0.277	0.401	0.531	0.247

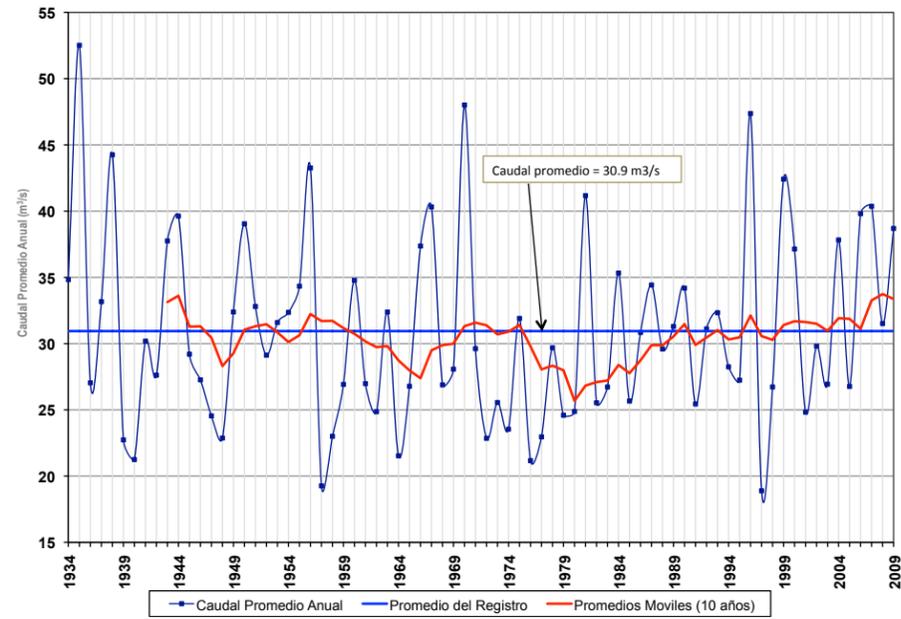


ANEXO B

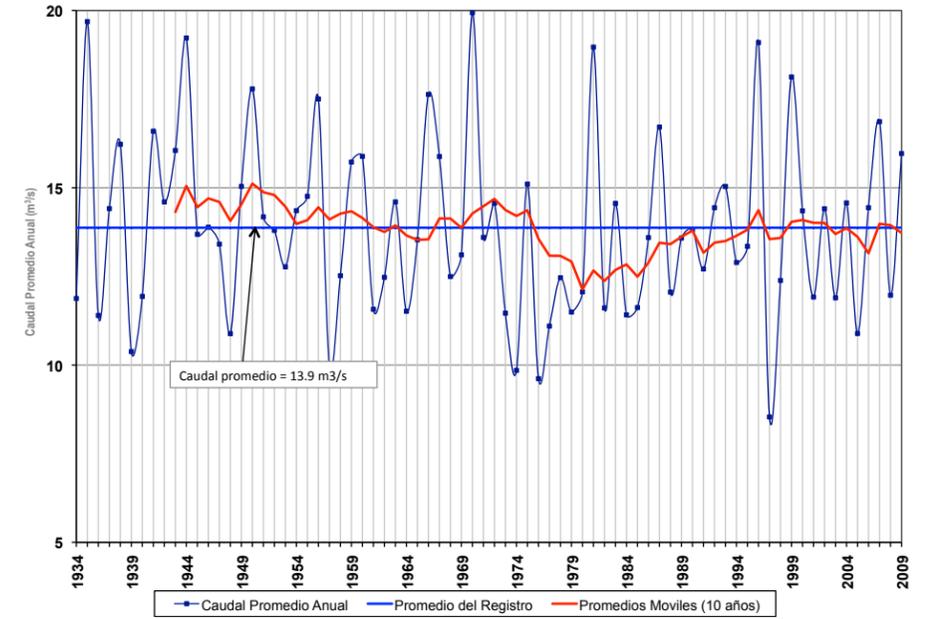
Variación de los Caudales Promedios Anuales con el Tiempo y Desviaciones Acumuladas



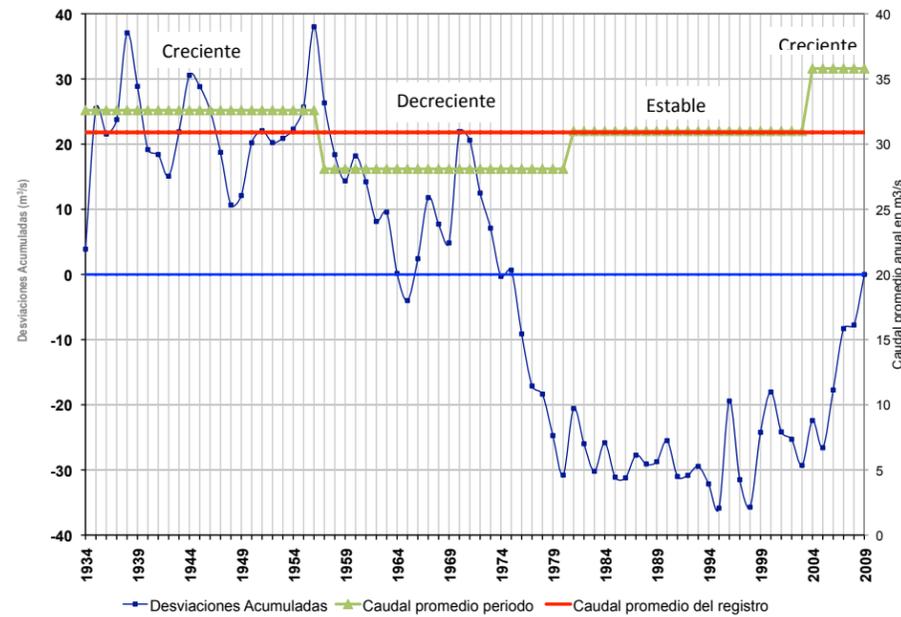
Caudal Promedio Anual
Río Chagres en Chico Periodo 1934-2009.



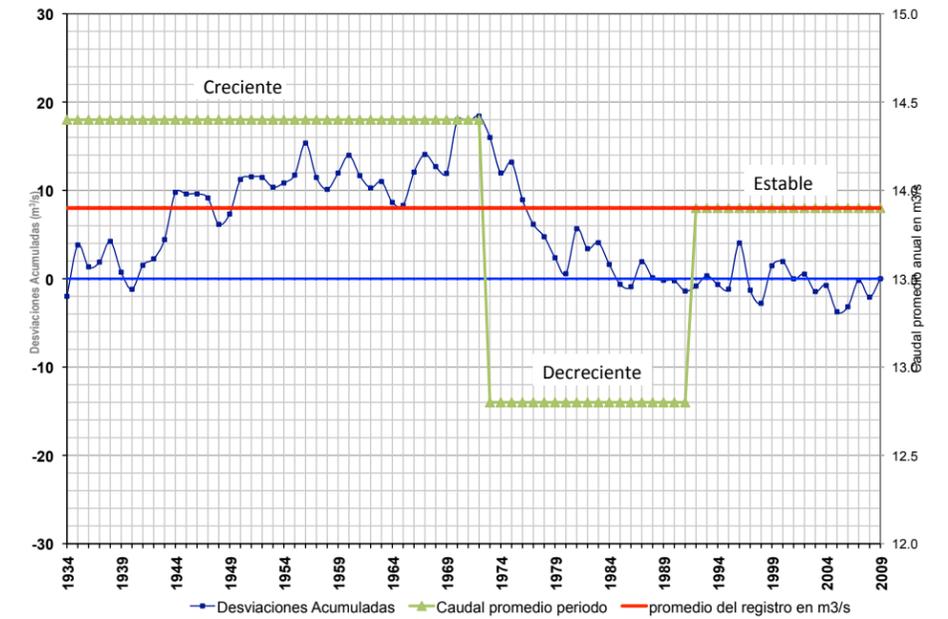
Caudal Promedio Anual
Río Pequeni en Candelaria Periodo 1934-2009.



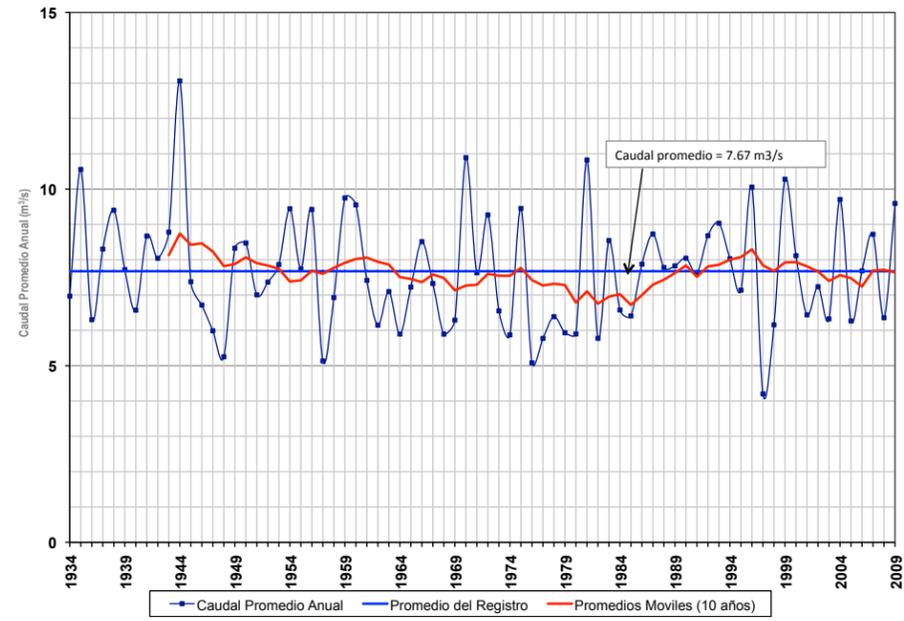
Desviaciones Acumuladas del Caudal Promedio Anual
Río Chagres en Chico Periodo 1934-2009.



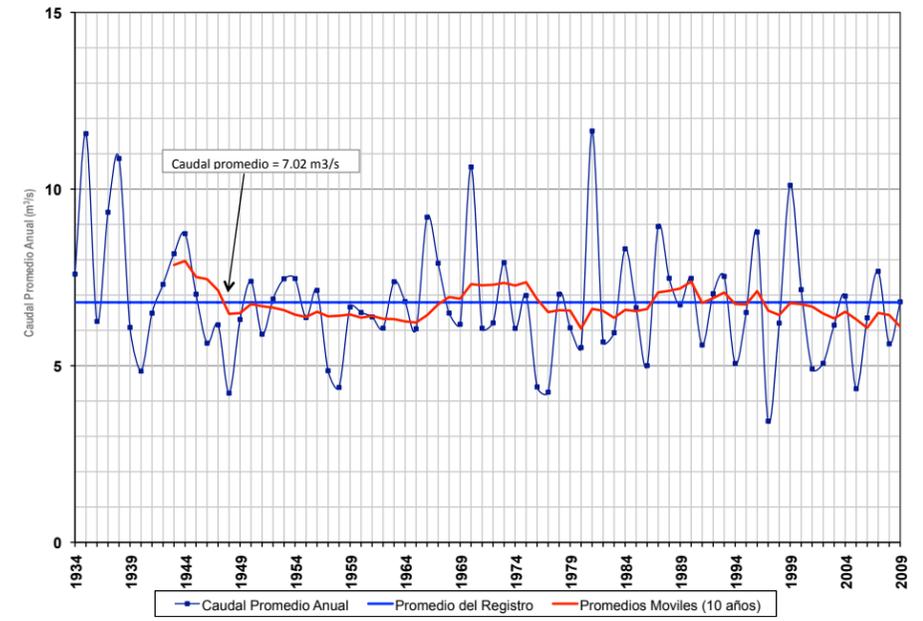
Desviaciones Acumuladas del Caudal Promedio Anual
Río Pequeni en Candelaria Periodo 1934-2009.



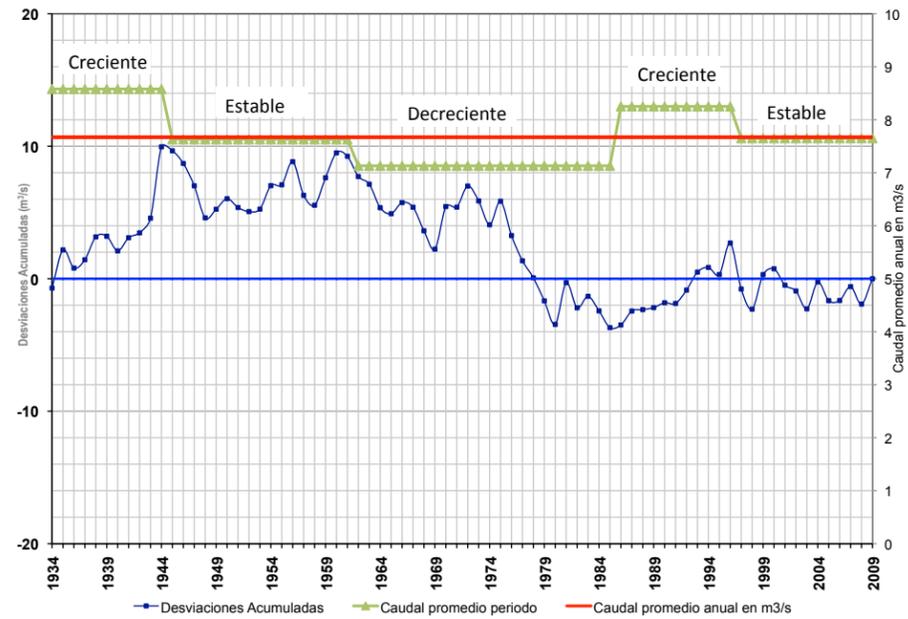
Caudal Promedio Anual
Río Boquerón en Peluca Periodo 1934-2009.



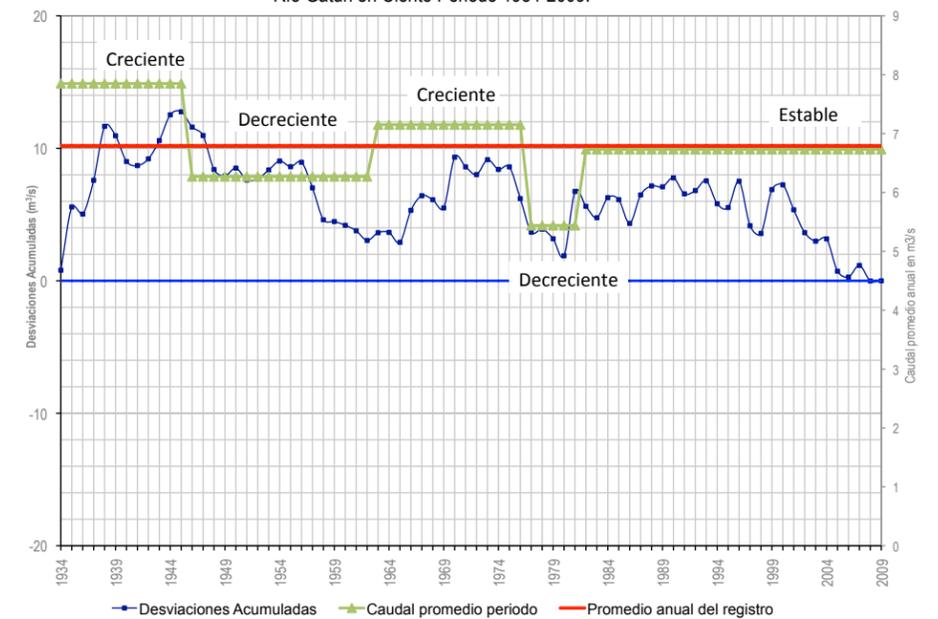
Caudal Promedio Anual
Río Gatún en Ciento Periodo 1934-2009.

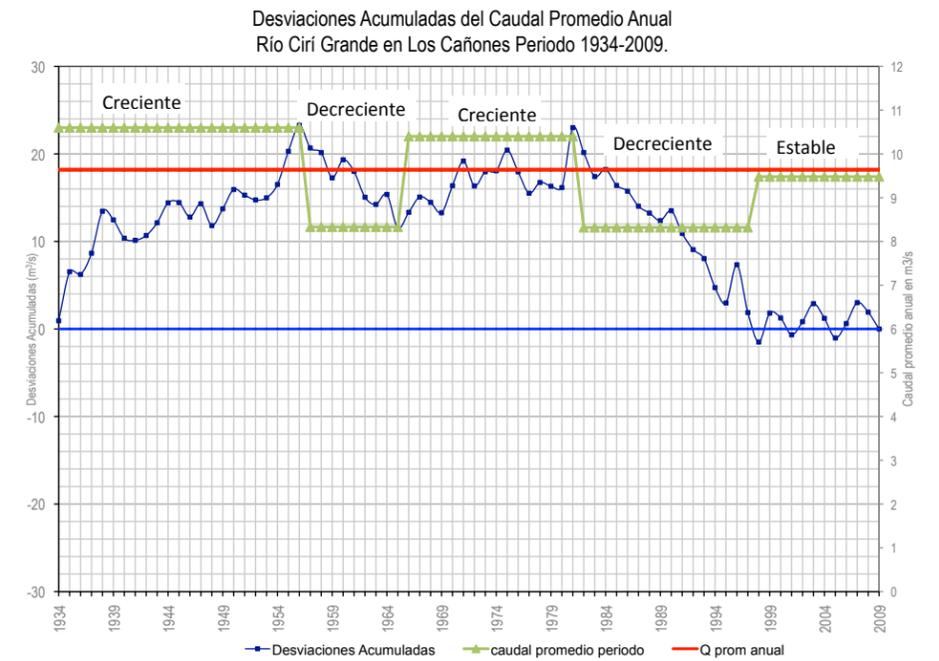
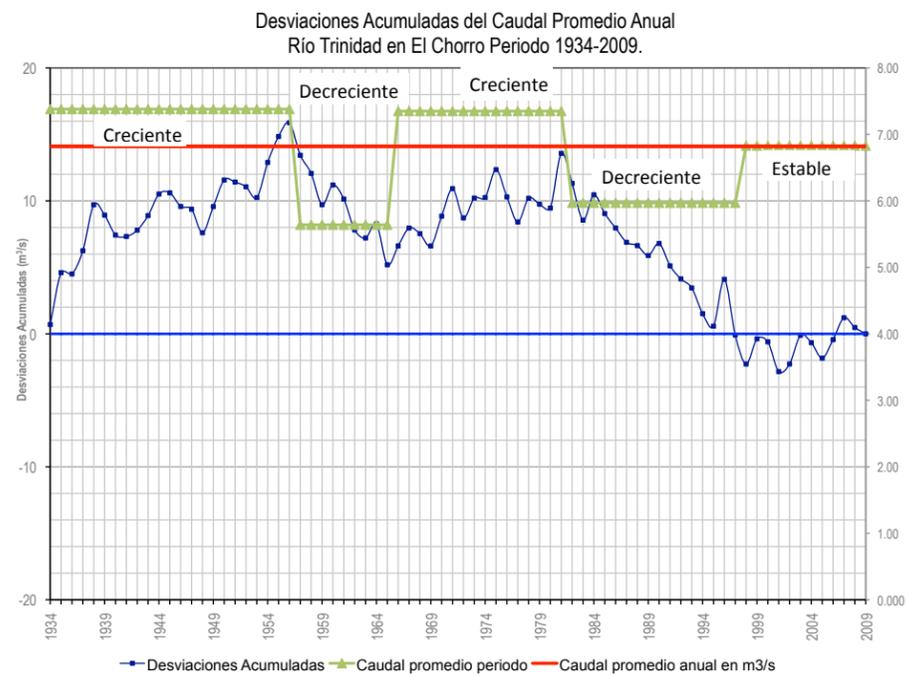
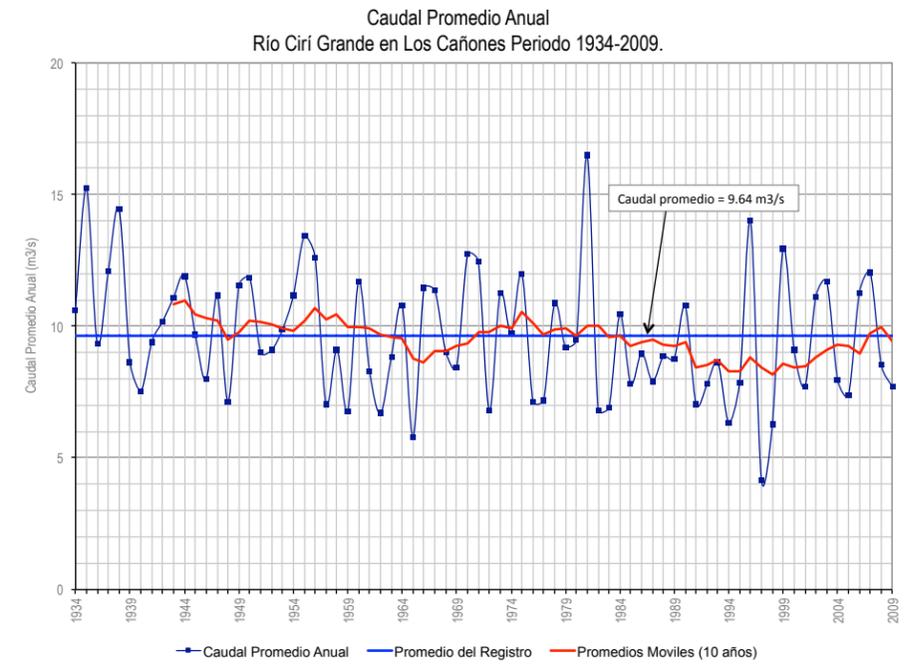
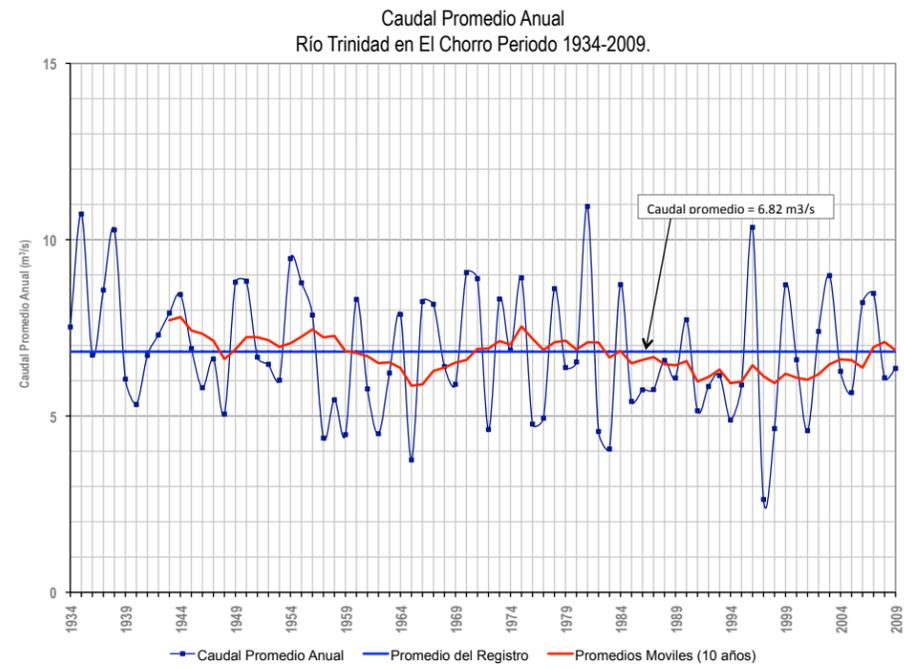


Desviaciones Acumuladas del Caudal Promedio Anual
Río Boquerón en Peluca Periodo 1934-2009.



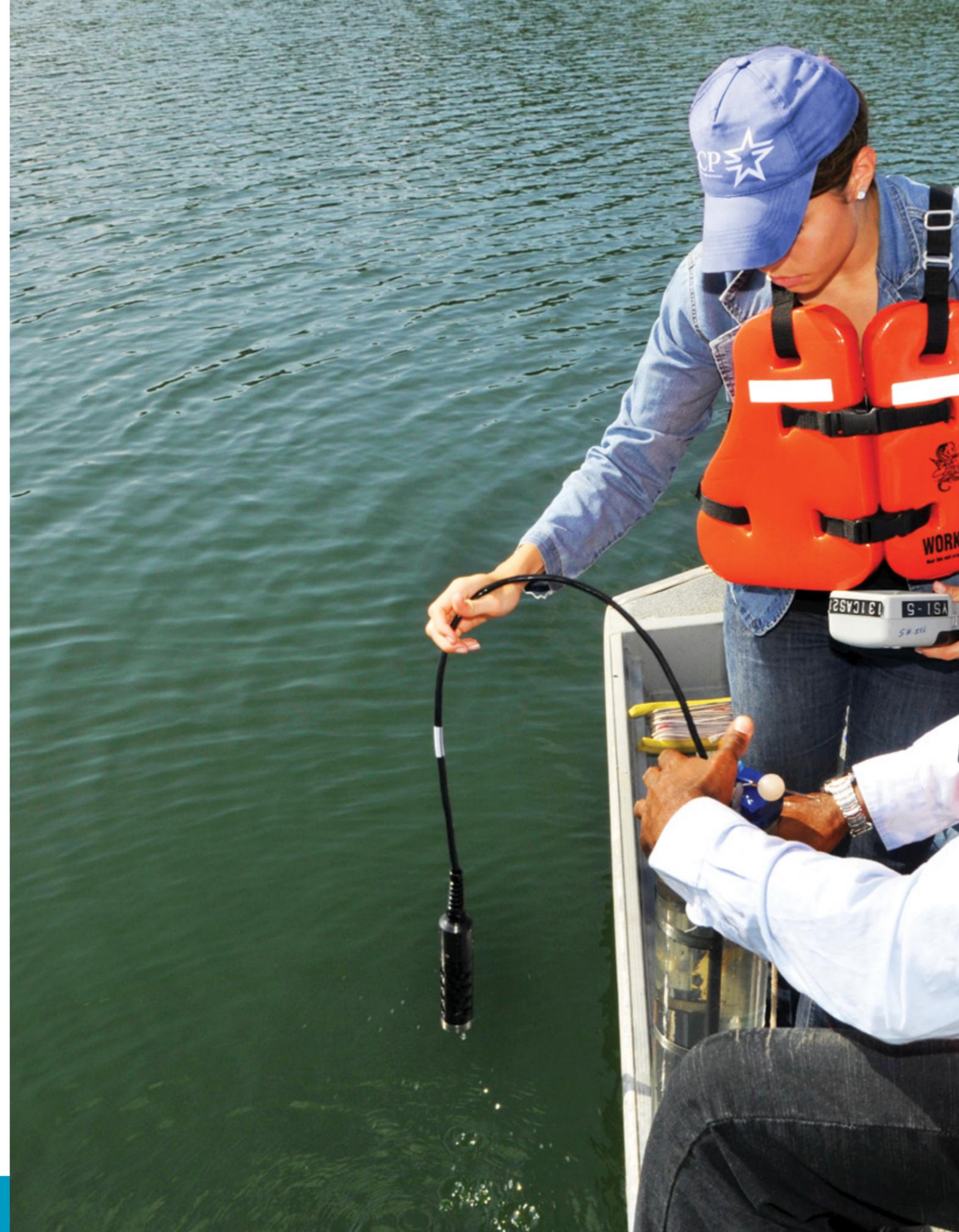
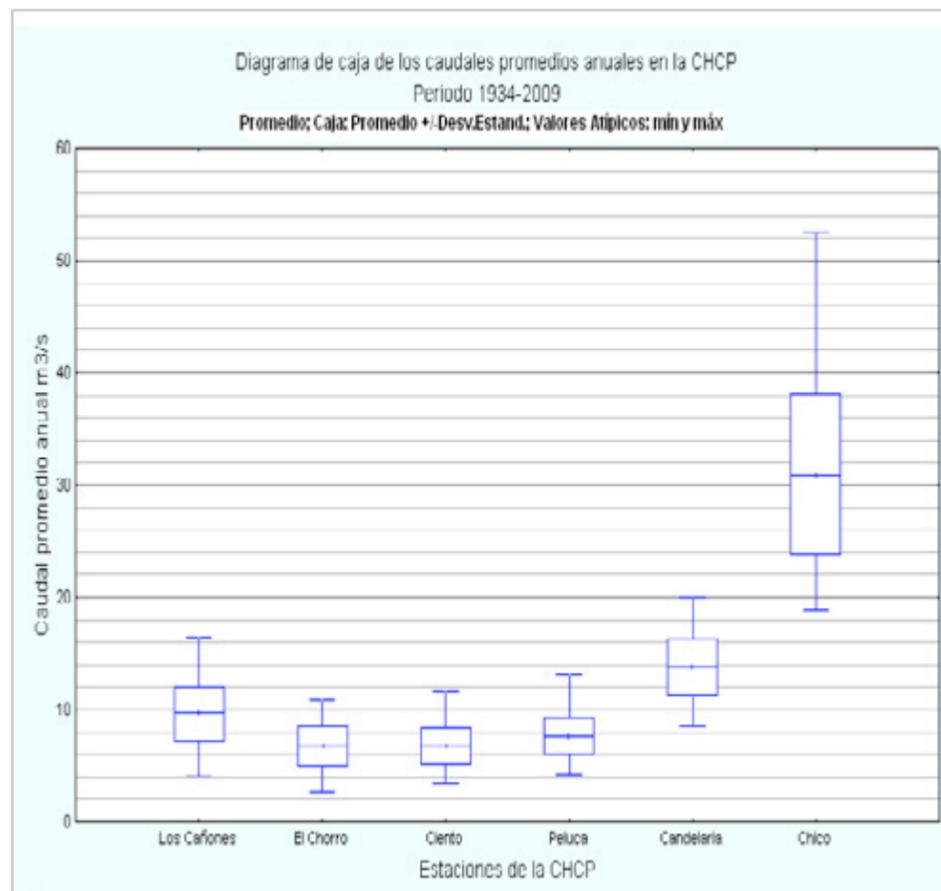
Desviaciones Acumuladas del Caudal Promedio Anual
Río Gatún en Ciento Periodo 1934-2009.





ANEXO C

Diagramas de Caja



CAPÍTULO 2

CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ (CHCP)

Marilyn Diéguez
DIVISIÓN DE AGUA - UNIDAD DE CALIDAD DE AGUA

ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ (CHCP)

El Programa de Vigilancia y Seguimiento de la Calidad de Agua de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (PVSCA), de la ACP, comprende mediciones y colecta de muestras para análisis de unas 25 características de calidad de agua en más de 40 estaciones de muestreo (año 2010) en los embalses y ríos principales de la cuenca. Desde el 2003, la Unidad de Calidad de Agua de la ACP colecta muestras en cada sitio seleccionado, y analiza características físicas, químicas y microbiológicas, para verificar la condición del agua. Dicho programa, con una frecuencia mensual, ha generado una línea base que permite observar cambios en la calidad del agua, y verificar la efectividad de las acciones de conservación y mitigación encaminadas a proteger el recurso hídrico.

Las características analizadas incluyen indicadores claves de calidad de agua como la concentración de oxígeno disuelto, necesario para el sostenimiento de la vida acuática; la demanda bioquímica de oxígeno, como indicador de contaminación orgánica; y la presencia de bacterias coliformes y *E. coli*, indicativas de contaminación fecal. Además de estas características, se analizan otros parámetros importantes como pH, turbiedad, temperatura, sólidos suspendidos y totales, nutrientes, cationes mayoritarios, aniones mayoritarios, clorofila a, conductividad, alcalinidad y dureza. Durante los ocho años de ejecución del PVSCA, se han generado miles de datos sobre estos indicadores.

Para poder evaluar la calidad de agua de un cuerpo hídrico, se usan herramientas que permiten agrupar distintos parámetros, y dar una calificación general descriptiva. Una de ellas es el índice de calidad de agua (ICA), que reúne nueve parámetros para clasificar la calidad de agua en una escala de 0 a 100 como excelente (91-100), buena (71-90), media (51-70), mala (26-50) y muy mala (0-25).

De 2003 a 2009, exceptuando el 2006, se calcularon los valores promedio, mínimos y máximos del ICA global de la CHCP, para todos los sitios de muestreo incluidos en el PVSCA (tabla 1). El promedio del ICA global de la CHCP se ha mantenido en el rango de buena calidad, con un valor promedio de 86 (figuras 1 y 2). En la figura 1, se puede observar que no hay tendencia aparente, sino una estabilización, a pesar de las presiones antrópicas en la Cuenca. Esta estabilidad del ICA sugiere que las actividades de conservación y mitigación han podido tener un impacto positivo.

Tabla 1. Promedio, mínimo y máximo del ICA de la CHCP para el período 2003-2009

Año	2003	2004	2005	2006*	2007	2008	2009	2003-2009
Max	94	93	96	-	94	94	94	94
Min	61	58	67	-	63	57	61	61
Promedio	85	86	88	-	85	86	85	86

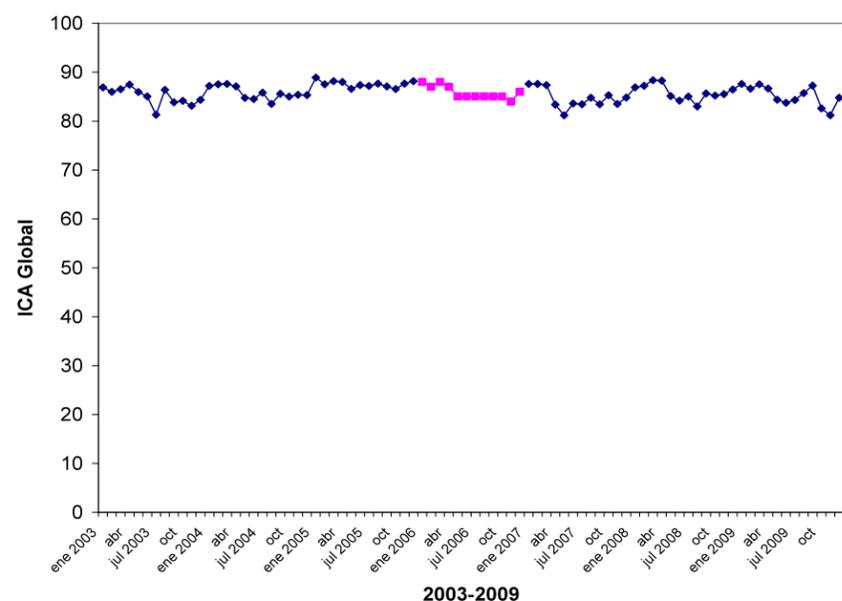


Figura 1. Índice de Calidad de Agua de la CHCP de 2003 a 2009 (2006, corresponde a datos estimados con el promedio histórico global de cada mes).

En la figura 2, se observa que no hay diferencia significativa entre un año y otro. El trabajo de la ACP, y de otras organizaciones, ha logrado mantener la calidad del agua, pese al crecimiento demográfico y económico de los últimos años. Sin embargo, la calidad del agua no es uniforme en todos los sitios monitoreados en la CHCP.

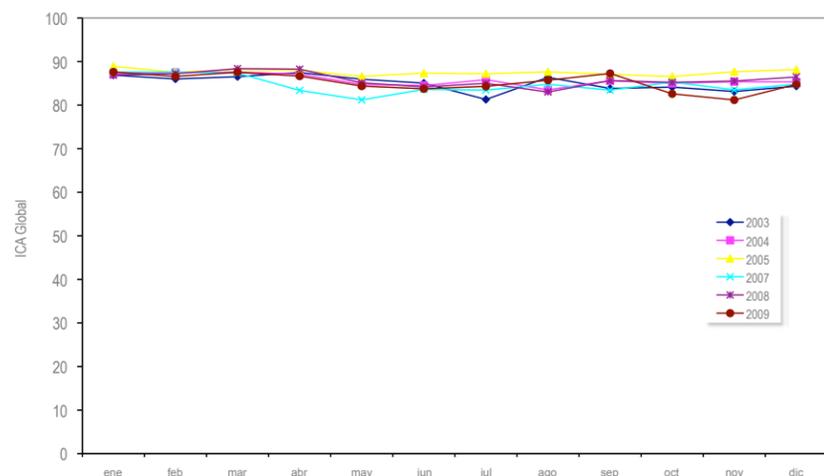
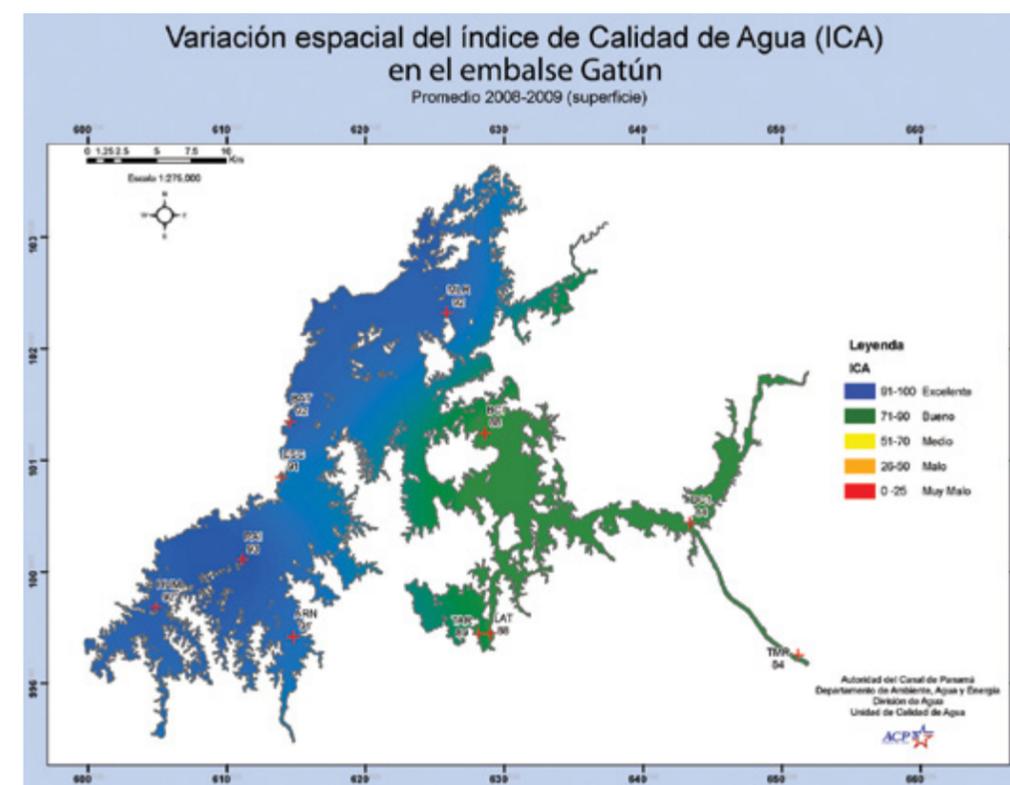


Figura 2. Variación del ICA global de 2003 a 2009.

En el embalse Gatún, la mejor calidad de agua se presenta en Raíces, Batería 35, Humedad, Arenosa, Monte Lirio y Escobal, con valores del ICA en el rango de calidad de agua excelente (figura 3). Le siguen Escobal, Barro Colorado, Laguna Alta y La Represa.

Los sitios con los valores de ICA más bajos, están en las subcuencas de los ríos Tinajones, Chilibre, Gatuncillo y Los Hules. En estos sitios, el índice se encuentra en la categoría de buena calidad, pero en el límite inferior del rango (<80).

Figura 3. Variación espacial del ICA en el embalse Gatún (2008 a 2009).



Del total de los valores del ICA calculados durante este período, el 14,3 por ciento se encuentra en la categoría de calidad de agua excelente, y el 77,9 por ciento en la categoría de calidad de agua buena (figura 4); sólo un 7,8 por ciento ha correspondido en la categoría de calidad de agua media. El porcentaje de registros del ICA en la categoría de agua de mala calidad es de 0,02 por ciento. Estos valores incluyen los valores del ICA calculados en la superficie y fondo de los embalses de la cuenca.

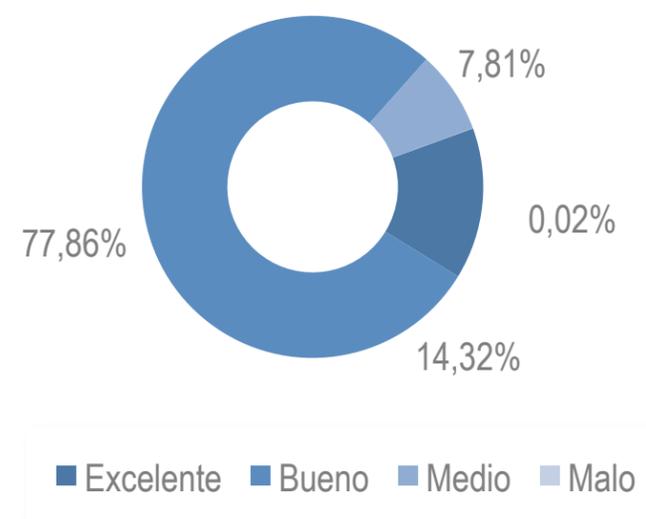


Figura 4. Distribución del ICA en CHCP de 2003 a 2009.

Embalses de la CHCP

Los embalses de la CHCP permiten la operación del Canal de Panamá durante todo el año. En ellos se almacena el agua necesaria para el tránsito de los buques, y para abastecer a la población. La calidad de sus aguas, por lo tanto, es de suma importancia para satisfacer una de las necesidades básicas de la población: agua potable para consumo humano.

Embalse Gatún

El embalse Gatún es la principal reserva de agua para la operación del Canal. Se le considera la “caja fuerte” de la ACP, porque en él se almacena el agua necesaria para la operación del Canal, y una parte importante para el consumo de la población.

El PVSCA, en el embalse Gatún, comprende 12 sitios de muestreo que incluyen las tomas de agua de las potabilizadoras de la ACP, y otras tomas de agua de sistemas convencionales y rurales que abastecen a la población de la ciudad de Panamá y parte del área oeste. Los sitios son:

- Toma de agua de Paraíso (potabilizadora de Miraflores)
- Toma de agua de Gamboa (potabilizadora de Miraflores)
- Toma de agua de Mendoza (potabilizadora de Mendoza, a partir de 2009)
- Toma de agua de Laguna Alta (potabilizadora de Laguna Alta)
- Toma de agua de La Represa (acueducto rural)
- Toma de agua de Escobal (acueducto rural)
- Humedad
- Raíces
- Batería 35
- Monte Lirio
- Barro Colorado
- La Arenosa

El ICA se calculó mensualmente del 2003 al 2009 para 11 de los sitios de muestreo en el embalse Gatún, con mediciones realizadas en la superficie y fondo del embalse. El 49,9 por ciento de los registros del ICA en la superficie del embalse Gatún se encuentra en la categoría de calidad de agua excelente, y el 49,5 por ciento se encuentra en la categoría de calidad de agua buena (figuras 3 y 5).

Durante el período, un 0,6 por ciento ha presentado valores de calidad de agua media, y no se han registrado valores para el índice con calidad de agua mala o muy mala.

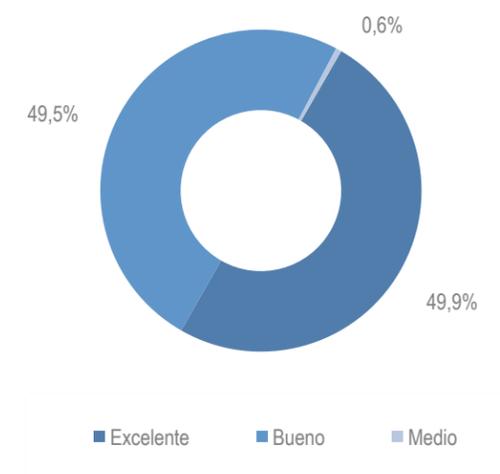


Figura 5. Distribución del ICA en la superficie del embalse Gatún de 2003 a 2009.

Los resultados indican que el ICA varía con respecto a la profundidad del embalse. El 19,8 por ciento de los registros para el fondo del embalse Gatún se encuentra en la categoría de calidad de agua excelente, y el 72,3 por ciento se encuentra en la categoría de calidad de agua buena (figura 6). Se observa que hay un mayor porcentaje de registros para el ICA en la categoría de excelente (49,9%) calidad en la superficie, comparado con el calculado para el fondo.

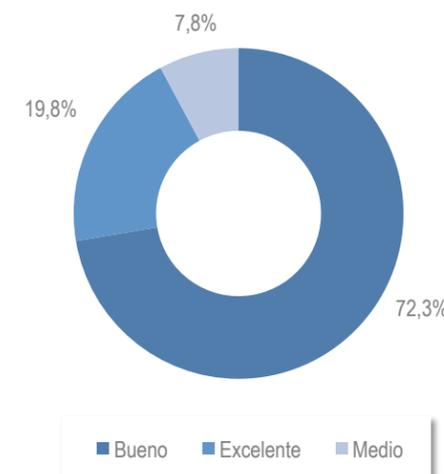


Figura 6. Distribución del ICA en el fondo del embalse Gatún de 2003 a 2009

En los sitios de mayor profundidad, es de esperar que el agua en la superficie sea diferente a la del fondo, debido a que en ésta hay una mayor mezcla, y la luz del sol penetra mejor, permitiendo la fotosíntesis. Esta variación por profundidad, se puede observar mejor en los gráficos de dispersión de Paraíso y Humedad (figuras 7 y 8).

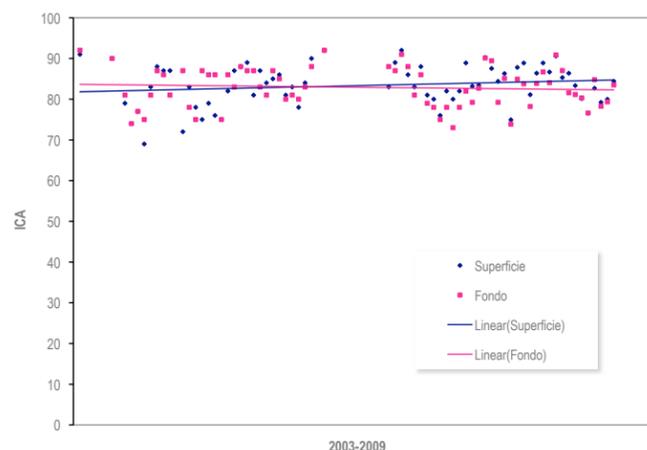


Figura 7. Dispersión del ICA en la toma de agua de Paraíso

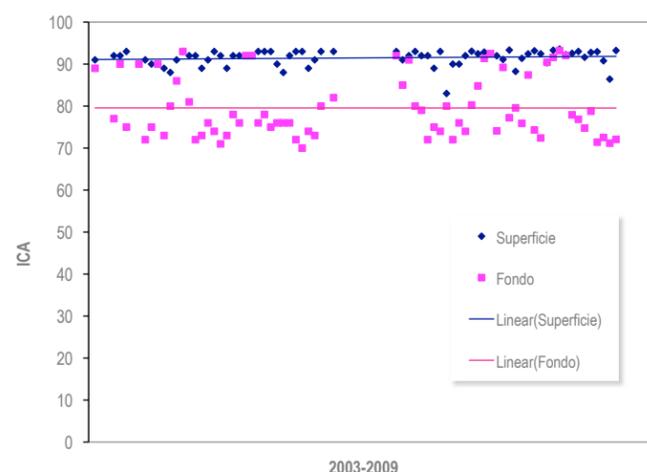


Figura 8. Dispersión del ICA en Humedad

El ICA presenta variaciones en superficie y fondo, en los sitios en Laguna Alta, La Represa, Arenosa, Humedad y Raíces, donde los valores del índice son más bajos en el fondo (véase figura 8). En Paraíso y Gamboa, se da una mayor mezcla de las aguas, debido al paso de los buques en el área, por lo que los resultados para el ICA no muestran variación con respecto a la profundidad (véase figura 7).

A través de los años, los resultados del ICA indican que la calidad de agua se mantiene relativamente estable en los distintos sitios monitoreados (categorías de buena o excelente). Aunque hay un crecimiento de actividades potencialmente contaminantes, los resultados globales del ICA sugieren que los ríos que desembocan en el embalse aún tienen capacidad de asimilación y/o dilución de la carga contaminante. Sin embargo, se observa que existen sitios que requieren mayor atención, donde los valores más bajos en el ICA sugieren que el impacto por las actividades antropogénicas es una amenaza real y creciente.

Embalse Alhajuela

Al embalse Alhajuela se le atribuye un sistema hidrográfico compuesto por los ríos Boquerón, Pequení, Chagres y otros ríos menores. El embalse Alhajuela actúa como un embalse secundario para regular el nivel del embalse Gatún y controlar las crecidas del río Chagres. Al mismo tiempo, sirve como fuente de suministro de agua para la ciudad de Panamá, a través de la planta potabilizadora de Chilibre, bajo responsabilidad del IDAAN. El PVSCA contempla el seguimiento de la calidad de agua en 5 sitios en el embalse Alhajuela.

Estos sitios son:

- Boquerón Pequení
- Estrecho Reporte
- Punta del Ñopo
- Chagres-Alhajuela
- Toma de agua de la Potabilizadora de Chilibre.

Al igual que en el embalse Gatún, el índice de calidad de agua se calculó mensualmente de 2003 a 2009 para los 5 sitios de muestreo en el embalse Alhajuela, con mediciones realizadas en la superficie y fondo del embalse.

En la superficie del embalse Alhajuela, el 33,3 por ciento de los registros se encuentra en la categoría de calidad de agua excelente, y el 66,7 por ciento se encuentra en la categoría de calidad de agua buena (figura 9). Durante el período no se han registrado valores del ICA con calidad de agua media, mala o muy mala.

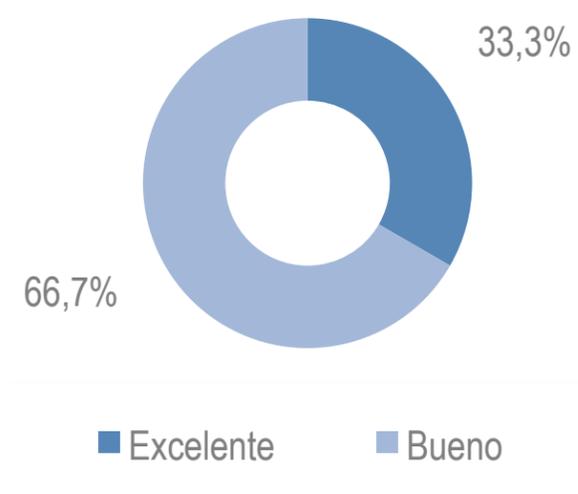


Figura 9. Distribución del ICA en la superficie del embalse Alhajuela de 2003 a 2009.

En el fondo del embalse Alhajuela, el 6,6 por ciento de los registros del ICA se encuentra en la categoría de calidad de agua excelente, y el 89,8 por ciento, en la categoría de calidad de agua buena (figura 10). Durante los 7 años de seguimiento, sólo se ha observado un 3,3 por ciento de registros del ICA con calidad de agua media, y 0,3 por ciento con calidad de agua mala.

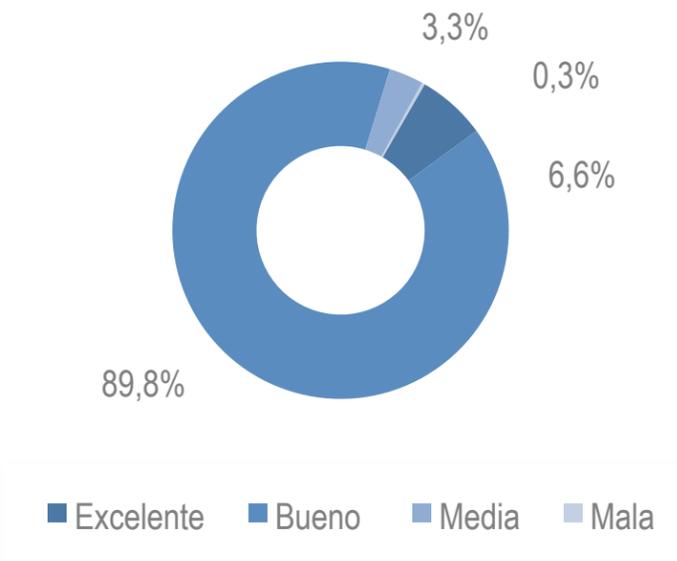


Figura 10. Distribución del ICA en el fondo del embalse Alhajuela de 2003 a 2 2009.

Similar al embalse Gatún, en el Alhajuela se observa que hay un mayor porcentaje de registros del ICA en la categoría de excelente calidad en la superficie, comparado con los resultados para el fondo (figura 11). En los cinco sitios de muestreo, la calidad de agua varía más en el estrato profundo del embalse con respecto a la superficie. En Estrecho Reporte y Punta del Ñopo, existe mayor dispersión en los valores del fondo comparado con los otros tres sitios de muestreo. En estos puntos es donde se encuentran los valores del ICA en la categoría media.

En el sitio Chagres-Alhajuela y la toma de agua del IDAAN, a pesar que en el fondo los valores del ICA son más bajos, la calidad de agua se ha mantenido a través de los años en las categorías de buena y excelente. Las subcuencas de los tributarios de los ríos de la cuenca del río Chagres, que desembocan en el embalse Alhajuela, están protegidas por el Parque Nacional Chagres, que se extiende por 129.600 hectáreas, entre las provincias de Panamá y Colón.

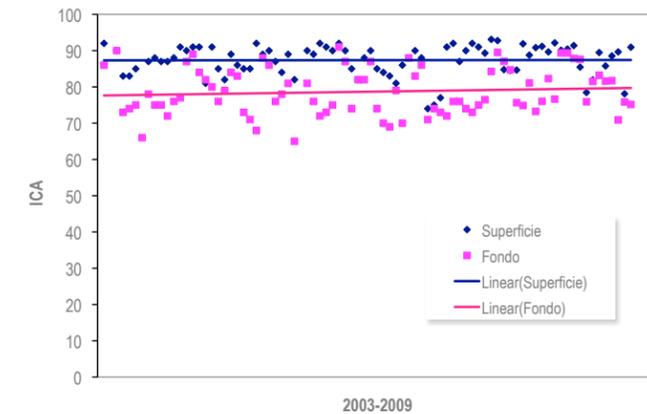


Figura 11. Dispersión de los resultados del ICA en Estrecho Reporte

A través de los años, se observa que la calidad de agua en el embalse Alhajuela se mantiene relativamente estable en los cinco sitios de muestreo, dentro de la categoría de buena.

Subcuenca del río Tinajones

La subcuenca del río Tinajones, con una superficie de 37,8 km² (3.781 hectáreas), está ubicada en una zona rural que ha experimentado un crecimiento poblacional y desarrollo agroindustrial importante en los últimos años donde se destacan la cría y ceba de ganado porcino; cría, sacrificio y comercialización de aves, cría de ganado lechero, actividades agroforestales y cultivos industriales de piña. Debido a que el río Tinajones es utilizado por la población para consumo humano, actividades recreativas de contacto directo y regadíos, el seguimiento a la calidad de sus aguas es muy importante. El agua cruda para el acueducto rural que abastece a Cerro Cama se obtiene de este río.

En la subcuenca del río Tinajones se inició el monitoreo mensual, en 6 sitios, a partir del 2004. Desde el 2007 se incluyó un séptimo punto dentro del programa (Tinajones 1). Los sitios o estaciones de muestreo se ubicaron considerando las fuentes potenciales de contaminación. Estos son:

- Quebrada El Amargo
- Caño Quebrado A
- Caño Quebrado D
- Puente de Cerro Cama
- Toma de agua
- Cuarentena
- Tinajones 1

El índice de calidad de agua se calculó mensualmente de 2004 a 2009 para 6 sitios de muestreo, y de 2007 a 2009 para Tinajones 1. El 90,8 por ciento del total de los resultados del ICA se encuentra en la categoría de bueno, y el 9,2 por ciento se encuentra en la categoría de calidad media (figura 12).

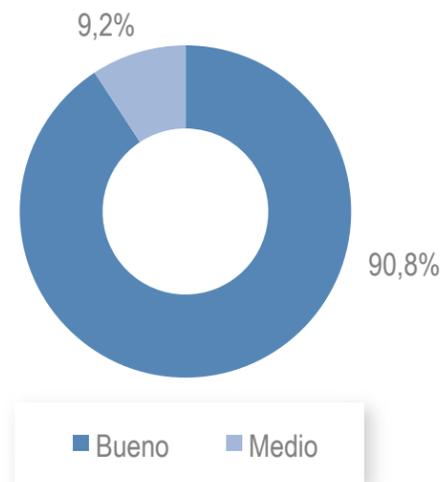


Figura 12. Distribución del ICA en la subcuenca del río Tinajones de 2004 a 2009.

Aunque no se han registrado valores para el ICA en la categoría de mala calidad, es necesario identificar las áreas que requieren mayor atención; en la quebrada El Amargo se observa un desmejoramiento de la calidad del agua aunque el promedio del ICA le ubica en la categoría de buena calidad.

En la estación del puente Cerro Cama, los valores del ICA son más bajos que en la toma de agua del acueducto (figura 13), donde la mayoría de los resultados está por encima de 80. En ambos sitios, la calidad del agua se mantiene en la categoría de buena. En los puntos Caño Quebrado A y Caño Quebrado D (figura 14), ubicados aguas arriba y aguas abajo de una finca porcina (de sus tinas de oxidación), se observa que los resultados del ICA son más bajos, en el extremo inferior del rango de buena calidad, especialmente en el punto Caño Quebrado D.

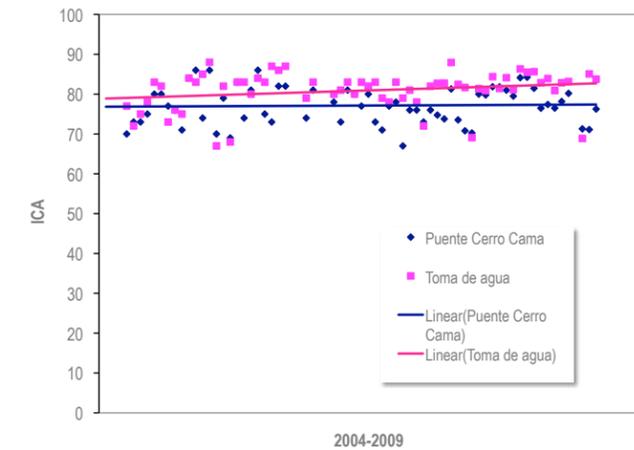


Figura 13. Dispersión del ICA en el puente Cerro Cama y en la toma de agua.

Los valores del ICA en el sitio de muestreo identificado como Cuarentena, están dispersos en el rango de calidad buena con algunos valores en el rango de calidad media. Tinajones 1, es un punto localizado aguas abajo del río ubicado a una distancia mayor de las posibles fuentes de contaminación, antes de desembocar en el embalse Gatún. En este sitio se mantiene la categoría de calidad de agua buena.

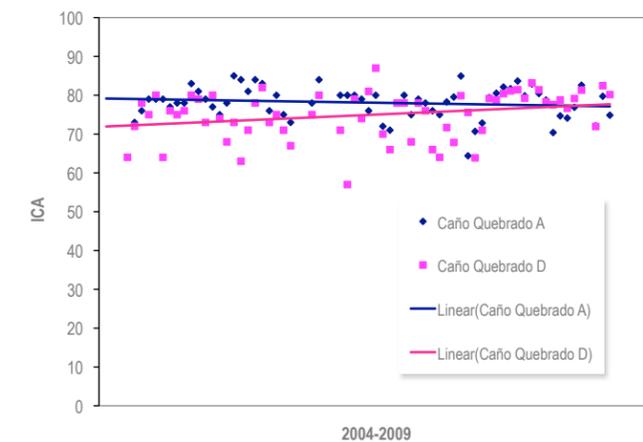


Figura 14. Dispersión de los valores del ICA en Caño Quebrado A y Caño Quebrado D.

El río Tinajones presenta una calidad de agua en la categoría de buena con valores del ICA en el extremo inferior de esta categoría. Esto se debe, principalmente, al efecto que tiene la contaminación microbiológica en el cálculo del índice, ya que las bacterias fecales son uno de los principales indicadores para el cálculo del ICA. Estos valores del ICA sugieren que el río, con un caudal promedio de 2,00 m³/s, ha podido asimilar las descargas que recibe; no

obstante, su calidad se ubica en el límite inferior del rango de buena calidad, por lo que es necesario prestar atención especial a los controles ambientales y actividades de mitigación de las fuentes de contaminación puntuales y difusas. Se debe procurar que éste pueda ser utilizado para consumo humano y actividades recreativas de contacto directo, entre otras.

Subcuenca del río Gatuncillo

La subcuenca del río Gatuncillo, con un área de drenaje de 89,0 km², se encuentra ubicada en una zona semiurbana que experimenta un crecimiento poblacional y desarrollo agropecuario importante. Dentro de su territorio se realizan actividades productivas como la ganadería, agricultura, reforestación, minería, comercio e industria. Los principales afluentes son las quebradas Sardinilla, Ancha, Azote Caballo y Blanca.

Las aguas del río Gatuncillo vierten en el tramo medio del río Chagres, aguas arriba de la toma de agua de Gamboa, una de las dos que suplen de agua cruda a la potabilizadora de Miraflores para el suministro de agua potable.

A partir de enero de 2003, dentro del PVSCA se inició el seguimiento a esta subcuenca con una frecuencia mensual. Desde entonces y hasta finales del 2006, se contaba con 15 sitios de muestreo a lo largo del río; hasta el 2009, el PVSCA incluía 8 sitios; en la actualidad, sólo queda uno. Para la selección de los sitios se consideró la descarga de los afluentes principales de las microcuencas como descargas puntuales al cauce principal, y sus posibles fuentes de contaminación dentro de la subcuenca. Estos sitios son:

- Estación G2, situada en la parte alta de la Cuenca, tramo alto del río.
- Estación G4, ubicada en la quebrada Sardinilla, próxima a su descarga al cauce principal.
- Estación G6, situada en la quebrada Ancha, próximo a su descarga en el río Gatuncillo, tramo medio-bajo de la subcuenca del río Gatuncillo.
- Estación G6A, ubicada en la parte media de la subcuenca, aguas arriba de la quebrada Ancha, tramo medio-bajo del río.
- Estación G7, ubicada en la quebrada Azote Caballo, en un punto cercano a su descarga el río Gatuncillo, tramo bajo de la subcuenca.
- Estación G7A, localizada en la parte baja de la subcuenca, aguas arriba de la descarga de la quebrada Azote Caballo, tramo bajo del río Gatuncillo.
- Estación G8, situada en la quebrada Blanca, cercano a su descarga en el río Gatuncillo, tramo bajo de la subcuenca del río.
- Estación G8B, ubicada en la parte baja de la subcuenca, aguas abajo de la quebrada Blanca. Se localiza a unos 2,4 km aguas arriba de la desembocadura del río Gatuncillo al curso medio del río Chagres.

El índice de calidad de agua se calculó del 2003 al 2009 para los 8 sitios de muestreo del programa de vigilancia actual en la subcuenca, y del 2003 al 2006 para el resto de los sitios. El 89,9 por ciento de los resultados se encuentra en la categoría de buena, y el 10,0 por ciento, en la categoría de calidad media, mientras que el 0,1 por ciento, en la de calidad excelente (figura 15). Durante el total del período de seguimiento no se han registrado valores del índice con calidad de agua mala o muy mala.

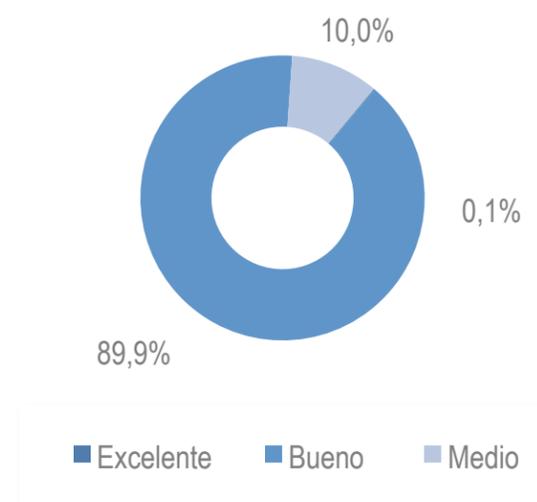


Figura 15. Distribución del ICA en la subcuenca del río Gatuncillo de 2003 a 2009

En términos generales, el ICA promedio en la subcuenca del río Gatuncillo fue de 78, con una calificación de calidad de agua buena. El sitio G2, en la parte alta de la Cuenca, presentó la mejor calidad de agua; le siguen los sitios G6 y G6A, en la parte media, mientras que los puntos del tramo bajo G7A, G8, G8A y G8B presentan los valores de ICA más bajos, manteniéndose en un valor de 75 (figura 16).

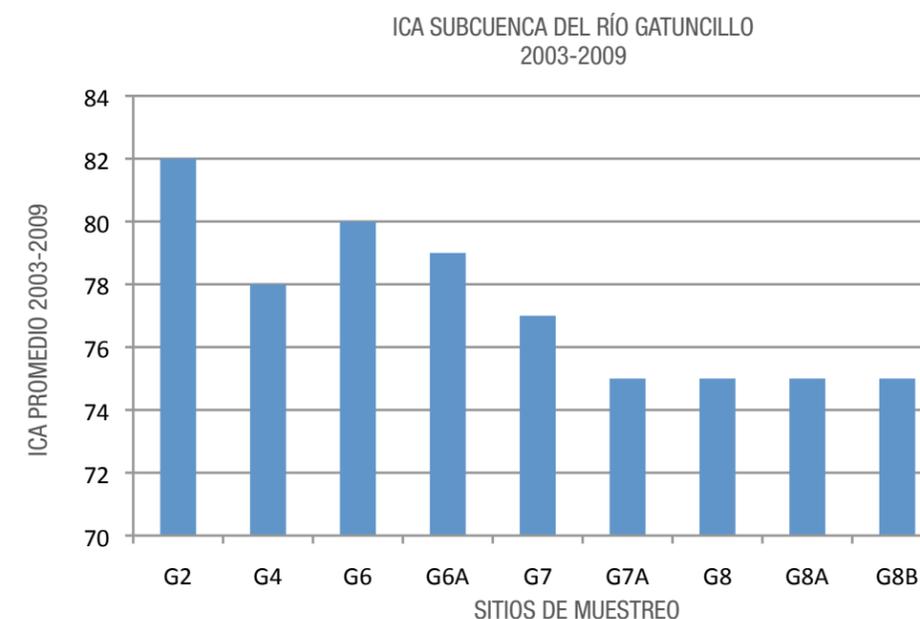


Figura 16. ICA promedio por estación en la subcuenca del río Gatuncillo de 2003 a 2009

A partir de los resultados del ICA, se calcularon los promedios de los valores del ICA, y se elaboró una serie de tiempo por estación. De éstas, se presentan los resultados para tres estaciones ubicadas en la parte alta, media y baja de la subcuenca del río Gatuncillo, respectivamente. En la estación G2, ubicada en la parte alta de la subcuenca, todos los valores del ICA de 2003 a 2009 se encuentran dentro de la calificación de bueno, teniendo un promedio total y global de 82. Sin embargo, se encontró una ligera disminución del ICA durante los meses de noviembre y diciembre durante este período.

En la estación G6A, ubicada en la parte media de la subcuenca, el ICA promedio fue de 80, ubicándolo en la categoría de buena calidad. En este sitio, los valores del ICA se mantienen, excepto en el año 2003, que presentó una disminución en octubre, y en el 2005, otra disminución en junio.

En la estación G8B, en la parte baja de la subcuenca, el ICA promedio fue 75. En este sitio se observó un comportamiento estacional a través de los meses, durante el período 2003 a 2009. En términos generales, el ICA se ha mantenido en la categoría de calidad de agua buena; sin embargo, los valores se encuentran en el límite inferior, es decir, con los valores más bajos dentro de esta categoría.

El sitio G8B es uno de los que requiere mayor vigilancia, debido a que se ubica en el tramo bajo del río, y recoge todas las aguas provenientes de afluentes y quebradas. Aunque parte del territorio de la subcuenca del río Gatuncillo se encuentra en el Parque Nacional Chagres, existe una fuerte presión antrópica, tanto a lo interno de la subcuenca, como desde el exterior de la misma, al estar localizada sobre el corredor transistmico.

La subcuenca del río Gatuncillo está sujeta a los impactos causados por la expansión de las zonas urbanas, y la agroindustria. Sin embargo, los resultados del ICA durante el período de seguimiento, presentan valores relativamente constantes, lo que podría sugerir que las actividades de manejo integrado que se realizan en el área podrían estar equilibrando los efectos negativos sobre la calidad del agua.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA EN LOS EMBALSES GATÚN, ALHAJUELA Y MIRAFLORES

Indicadores de contaminación fecal en aguas superficiales

La vigilancia microbiológica de un cuerpo de agua consiste en medir la concentración de microorganismos. Este informe se enfoca en el grupo de bacterias conocidas como coliformes, cuya presencia es utilizada como indicadora de contaminación microbiológica del agua y alimentos. Las bacterias coliformes, que se encuentran normalmente en el intestino de seres humanos y animales de sangre caliente, son excretadas en gran número en las heces. En aguas contaminadas, los coliformes se encuentran en densidades proporcionales al grado de contaminación fecal; estas bacterias se encuentran asociadas a microorganismos patógenos capaces de causar enfermedades; por tanto, su ausencia en el agua es un indicativo de que la misma es bacteriológicamente segura para el consumo humano (Maier, Pepper y Gerba, 2000).

La contaminación del agua, causada por las descargas de desagües domésticos no tratados, ocurre de manera permanente o como eventos puntuales. Dentro del grupo de bacterias coliformes se encuentra la *Escherichia coli* (*E. coli*), que entra al agua procedente de aguas residuales y suelos naturales que han sufrido contaminación fecal reciente, ya sea de seres humanos, de operaciones agrícolas o de animales silvestres. El uso de microorganismos indicadores de la calidad del agua revela, a través de su presencia, contaminación, y si ésta es reciente o no; hasta ahora, se acepta que la *E. coli* constituye una evidencia definitiva de contaminación fecal. Las concentraciones de los coliformes en general, y de la bacteria *E. coli* en particular, ha sido tomado en cuenta, con otros parámetros, para el cálculo del índice de la calidad de agua (ICA), y la concentración de estas bacterias presentes en las aguas naturales es empleada en algunos países para determinar su aceptabilidad para distintas actividades acuáticas.

La calidad microbiológica del agua se evaluó en los embalses Gatún, Alhajueta y Miraflores durante el período 2003-2009, mediante la determinación de microorganismos indicadores de contaminación fecal (*Escherichia coli*), y los coliformes totales.

Análisis descriptivo del promedio mensual de *E. coli* (período 2003-2009)

El comportamiento del promedio mensual de *E. coli* durante el período evaluado, refleja un ligero incremento en las concentraciones de *E. coli* en los tres embalses, a partir del mes de abril (transición entre la estación seca y lluviosa); sin embargo, las concentraciones de *E. coli* en los embalses Gatún y Alhajueta durante los primeros meses (enero-abril) parecen similares, si se comparan con el embalse Miraflores, donde se presenta una ligera diferencia (figura 17); pero, sus concentraciones sólo varían en un orden de magnitud entre los tres embalses y en las estaciones seca y lluviosa. En este caso, se acepta que las precipitaciones

ejercen influencia en la densidad de estos microorganismos en las aguas, ya que causan un aumento en el volumen de agua en los embalses e incrementan la escorrentía, provocando un lavado de superficies expuestas con el acarreo y aumento en la densidad de bacterias en las aguas.

El valor máximo de *E. coli* encontrado en el embalse Gatún, durante el período 2003-2009, fue 21.890 NMP/100 ml (2009); en Alhajuela, 29.093 NMP/100 ml (2004), y en Miraflores (2006-2009), 5.935 NMP/100 ml. El embalse que ha presentado la mayor concentración de *E. coli* durante el período analizado ha sido el embalse Alhajuela (tabla 2).

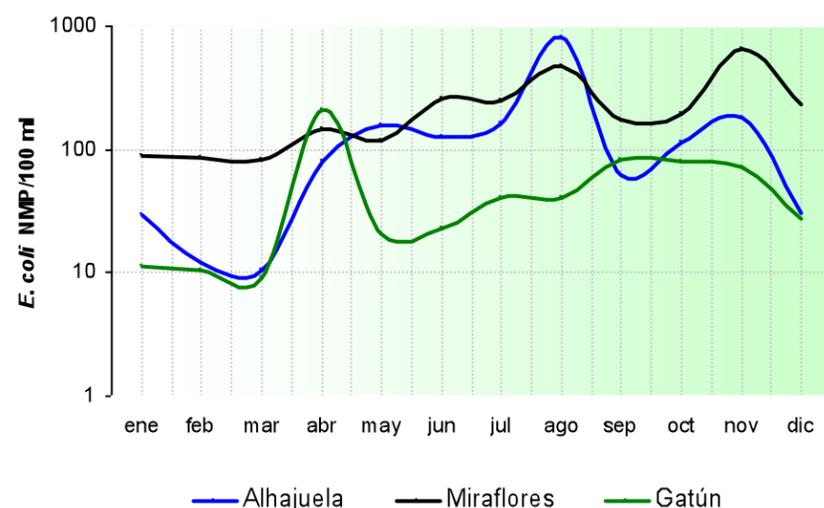


Figura 17. Promedio mensual de *E. coli* en los embalses Gatún, Alhajuela y Miraflores, durante el período 2003-2009.

El embalse Miraflores presenta la menor carga de *E. coli* de entre los tres embalses, sin embargo, exhibe una turbiedad constante durante todo el año (con valores aproximados entre 5-160 NTU), que suele ser asociada con la presencia de microorganismos.

Tabla 2. Valores máximos y mínimos de *E. coli* encontrados en los embalses de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (2003-2009)

Años	Embalses					
	Gatún		Alhajuela		Miraflores	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
2003	836	3	6.661	5	s/d	s/d
2004	1.014	5	29.093	5	s/d	s/d
2005	683	5	857	5	s/d	s/d
2006	21	5	2.247	71	1.067	10
2007	888	5	1.670	5	507	20
2008	1.989	5	788	10	5.935	10
2009	21.890	10	670	10	1.178	10

Concentración de *E. coli* con respecto a valores guías recomendados para calidad microbiológica de aguas superficiales (2003-2009)

Los resultados de *E. coli* han sido comparados con los valores guía de la Agencia de los Estados Unidos para la Protección Ambiental (USEPA, 1986; tabla 3), y los valores establecidos en el anteproyecto por el cual se dictan las normas de calidad ambiental para aguas naturales de la República de Panamá el cual plantea una clasificación de los cuerpos de agua sobre la base de los usos preponderantes que se realicen en el correspondiente cuerpo de agua. En ambos casos la comparación se ha realizado con el valor de referencia para coliformes fecales, reconociendo que *E. coli* es una parte importante de este grupo.

De acuerdo a la clasificación de los cuerpos de agua sobre la base de los usos preponderantes, los embalses Gatún y Alhajuela se encuentran en la clase 1 C y el embalse Miraflores en la clase 3 M. La tabla de estándares de control para la clase 1 C y 3 M, del anteproyecto de norma establece un valor para coliformes fecales de:

- < 250 UFC/100 ml para la clase 1 C, y
- < 2000 UFC/100 ml para la clase 3 M

Los valores guías establecidos por USEPA para coliformes fecales se presentan en la tabla 3. En esta tabla se hace referencia a los coliformes fecales, no así a *E. coli* que estaría presente en una concentración menor a la de los coliformes fecales. Por esta razón, evaluar los embalses aplicando el mismo valor guía que se usa para los coliformes fecales, con los datos de *E. coli* presenta limitaciones (*E. coli* es un componente de los coliformes fecales, no su totalidad).

Tabla 3. Valores guías para calidad de aguas superficiales

Parámetro	Valor guía	Definición
Coliformes fecales	200 NMP/100ml	Los valores no deben exceder los 200 NMP/100ml para uso recreacional de contacto directo. Basado en no menos de 5 muestras en un mes.
	1.000 NMP/100ml	Los valores no deben exceder 1000 NMP/100ml para uso recreacional de contacto secundario. Basado en no menos de 5 muestras en un mes.
	2.000 NMP/100ml	La media aritmética mensual no debe exceder los 2.000 NMP/100ml para uso de abastecimiento de agua para beber.

Fuente: United States Environmental Protection Agency (EPA), 1986. Quality Criteria for Water 1986. Office of Water Regulation and Standards, Washington DC 20460. 477 pp.

En la actualidad, sobre la base de varios estudios, la EPA ha tomado la decisión de modificar el significado de la presencia y concentración de *E. coli* y los coliformes fecales, tanto para las aguas naturales (Ref. United States Environmental Protection Agency. Recreational Water Quality Criteria. Update to 1986 Criteria. www.epa.gov/waterscience/criteria/recreation/update.html) como el agua potable (Ref. United States Environmental Protection Agency, Office of Water 4305T, Fact Sheet - Water Quality Standards Regulatory Changes. EPA-823-F-10002, July 2010. www.epa.gov/waterscience/standards/rules/wqs/wqsfactsheet.pdf). Estos cambios serán formalizados en la revisión del 2012.

En el caso de las aguas recreacionales, *E. coli* reemplazará a los coliformes fecales para el cálculo de la calidad del agua. Una vez oficializada, esta revisión de la norma permitirá hacer una caracterización retrospectiva de los embalses de Gatún, Alhajuela y Miraflores, según los datos sobre las concentraciones de la *E. coli*. De momento, en todos aquellos sitios en donde *E. coli* sea mayor de 200 NMP/100 ml, es de esperar que la totalidad de coliformes fecales supere aún más dicho valor guía. Por ahora, se comparan los tres embalses en términos de sus concentraciones de *E. coli*, y los valores guías dados para coliformes fecales, reconociendo la limitación existente.

Para evaluar y comparar los registros de las concentraciones de *E. coli* con los valores guías establecidos en el anteproyecto de normas de la República de Panamá y los criterios de la EPA, se calculó un promedio global de las concentraciones de *E. coli* en cada embalse. Este promedio global representa la concentración total de *E. coli* de todas las estaciones del PVSCA en cada embalse por año, incluyendo los valores de superficie y fondo, que puede estar influenciado por valores extremos (tabla 4).

Tabla 4. Promedio global de *E. coli* encontrados en los embalses Gatún Alhajuela y Miraflores, 2003-2009

Años	Promedio global <i>E. coli</i> (s y f)		
	Gatún	Alhajuela	Miraflores
2003	43	168	* s/d
2004	34	327	* s/d
2005	28	58	* s/d
2006	**6	141	323
2007	51	135	169
2008	42	66	340
2009	25	68	143

El anteproyecto de norma de la República de Panamá, plantea que para cuerpos de agua en la clase 1 C (Gatún y Alhajuela), las concentraciones de coliformes fecales deben ser inferiores a 250 UFC/100 ml. Al evaluar los promedios globales por año en cada embalse, los embalses Gatún y Alhajuela se encuentran por debajo del valor establecido como referencia. En términos microbiológicos, ambos embalses se encuentran en buen estado, excepto Alhajuela 2004, cuyo promedio global, sobrepasa el valor de referencia. Los promedios globales de *E. coli* para el embalse Miraflores en el período 2006-2009, se encuentran muy por debajo del valor de referencia (< 2000 UFC/100 ml coliformes fecales), para cuerpos de agua en la clase 3 M.

El promedio global de *E. coli* para los embalses Gatún y Alhajuela, cumplen con los valores guías para aguas superficiales de la USEPA, en las tres categorías planteadas (véase tabla 3). No obstante, en el 2004, el embalse Alhajuela, con un promedio global en la concentración de *E. coli* de 327 NMP/100 ml, sobrepasó el valor de referencia para los coliformes fecales (200 NMP/100 ml), para uso recreativo de contacto directo.

El embalse Miraflores no es utilizado como fuente de agua para potabilización, tampoco es de uso recreativo, más bien es parte integral del sistema operativo del Canal de Panamá, por tanto, no es comparable con los valores guías de referencia de la EPA utilizados en el presente informe. Sin embargo, el criterio de uso recreativo de contacto directo e indirecto, durante los años analizados (2006-2009), indican que el promedio global en la concentración de *E. coli* se encuentra por debajo del valor de referencia utilizado.

Variación espacial en la concentración de bacterias coliformes totales y *E. coli* en los embalses Gatún, Alhajuela y Miraflores, durante el período 2008-2009

Los resultados obtenidos para el período 2008-2009, muestran que la mayor concentración de *E. coli* en la superficie del embalse Gatún, se encuentra en los sitios DC1, TMR y ESC, mientras que en el fondo, las mayores concentraciones se presentan en DC1, TMR, LAT, TAR y ESC (figura 18). Estas concentraciones se encuentran en un rango que varía entre 5 a 148 NMP/100 ml. Las concentraciones de *E. coli* de la superficie son más bajas que en el fondo, con valores entre 5 a 78 NMP/100 ml.

Al comparar los resultados del período 2008-2009 con los obtenidos durante el período 2003-2005 (Informe de Calidad de Agua en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, 2003-2005 Volumen II), *E. coli* estaba presente en DC1 y TMR en concentraciones más altas que las observadas en los demás sitios. Sin embargo, ese rango comprendía valores entre 5 a 136 NMP/100 ml. Esto muestra que las concentraciones de *E. coli* se han mantenido constante a través de los años analizados.

Las mayores concentraciones de coliformes totales en la superficie del embalse Gatún para el período 2008-2009 se encuentran en DC1, TMR, LAT, TAR y ESC, lo cual coincide con las concentraciones de *E. coli* en las mismas estaciones, excepto en TAR Y LAT.

Por otra parte, las concentraciones más altas de *E. coli* en el embalse Alhajuela se encuentran en las estaciones BOP y ERP. Este patrón es similar en la superficie como en el fondo de este embalse. Las concentraciones se encuentran en un rango que varía entre 14 a 249 NMP/100 ml. Sin embargo, se destaca que hacia el fondo las concentraciones de *E. coli* son más altas si se comparan con las de superficie. Hacia las estaciones BOP y ERP, el embalse tiene una morfología angosta que va ampliándose hacia el resto de las estaciones: PNP, DCH y TAG. Una razón por la cual las concentraciones de *E. coli* y coliformes totales son bajas en estas últimas estaciones, podría atribuirse al efecto de dilución, por presentar un mayor volumen de agua.

Las mayores concentraciones de coliformes totales, tanto en superficie como en el fondo, se encuentran en las estaciones BOP y ERP; este patrón coincide con las concentraciones de *E. coli* en las mismas estaciones (figura 19). Las mismas varían en un rango que va desde 1.017 a 19.278 NMP/100 ml en la superficie como en el fondo, con mayores concentraciones en el fondo. Hacia los sitios de muestreo BOP y ERP, se encuentran las desembocaduras de los ríos Boquerón y Pequení, que aportan concentraciones de *E. coli* y coliformes totales de 157 y 12.410 NMP/100 ml (río Boquerón), y de 131 y 10.760 NMP/100 ml (río Pequení), respectivamente (medianas 2003-2008).

Figura 18. Variación espacial en la concentración de coliformes totales y *E. coli* en el embalse Gatún

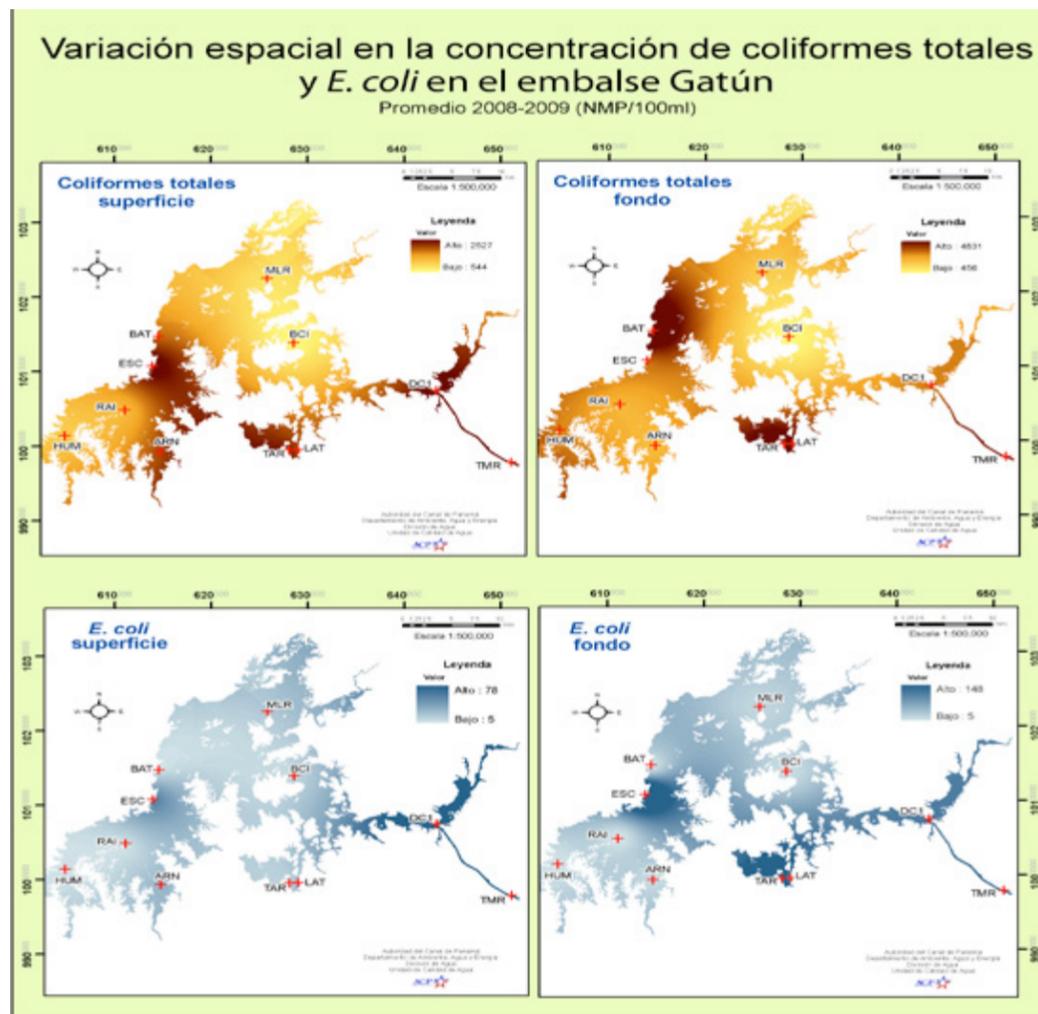
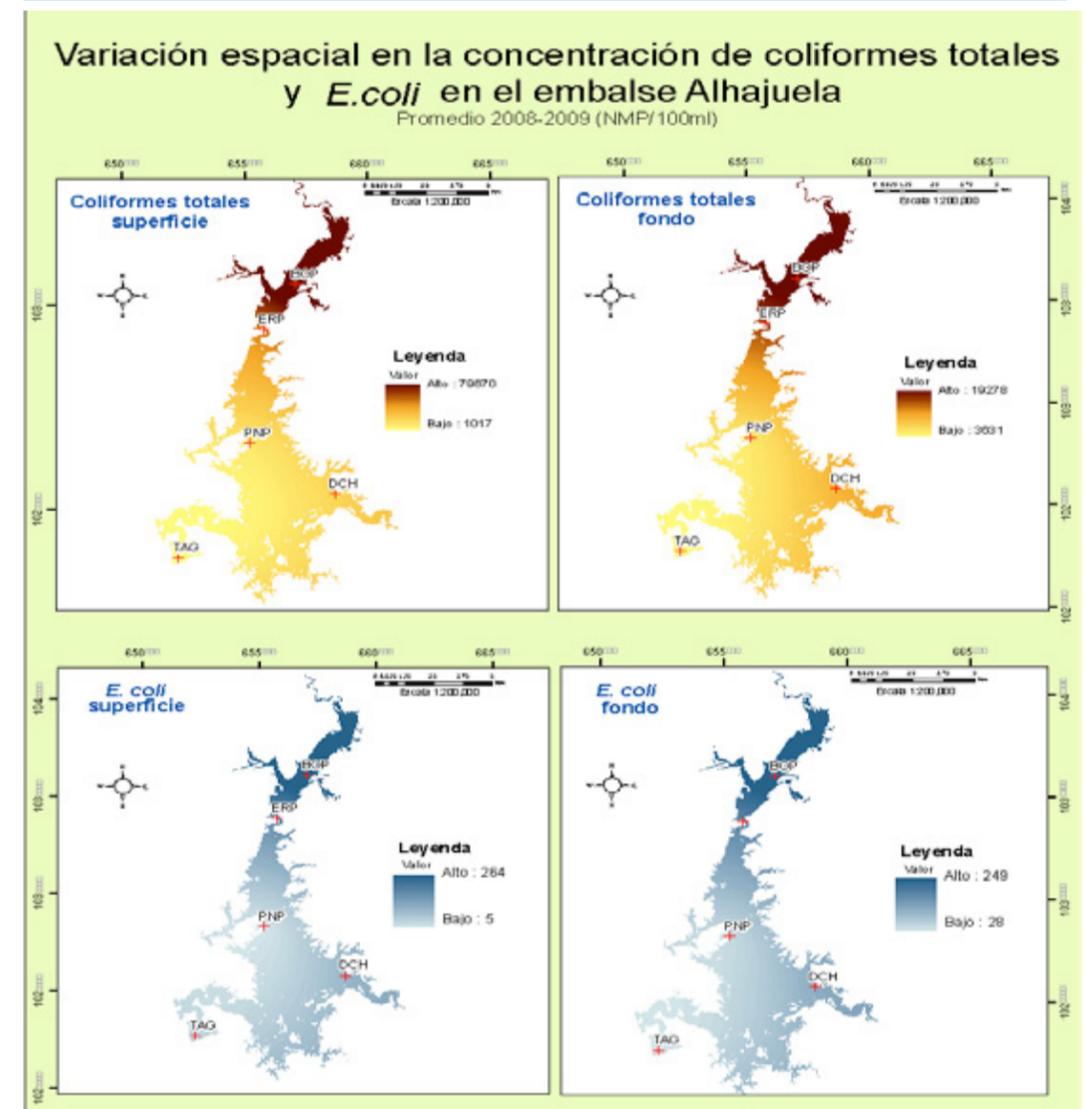


Figura 19. Variación espacial en la concentración de coliformes totales y *E. coli* en el embalse Alhajuela.



En términos generales, en el embalse Miraflores las condiciones en cuanto a las características fisicoquímicas del agua son diferentes para los coliformes totales y *E. coli* si se compara con los embalses Gatún y Alhajuela. En este embalse coinciden altas concentraciones de sólidos totales disueltos, salinidad y valores de conductividad que lo ubican en una categoría salobre. En este embalse las concentraciones de *E. coli* varían en un rango que va de 177 a 365 NMP/100 ml considerando la superficie y el fondo.

En el fondo del embalse, *E. coli* mantiene una distribución uniforme en todas las estaciones. Mientras, en la superficie es notorio que las concentraciones mayores (208 NMP/100 ml), se encuentran en las estaciones Boya M12 (figura 20). Hacia esta boya existe mayor actividad antropogénica, y también se encuentra la desembocadura de la quebrada Pedro Miguel.

En la superficie y el fondo, los coliformes totales varían en un rango de 4583 a 9008 NMP/100 ml. Sin embargo, hacia la superficie las estaciones con mayores concentraciones de coliformes totales son: RCO y la Boya M2. Actualmente, en áreas próximas a estas estaciones, se realizan actividades de excavación como parte del proyecto de Ampliación del Canal. Los coliformes en el fondo se encuentran más concentrados hacia la boya RAP, próxima al muelle de los remolcadores, en Miraflores.

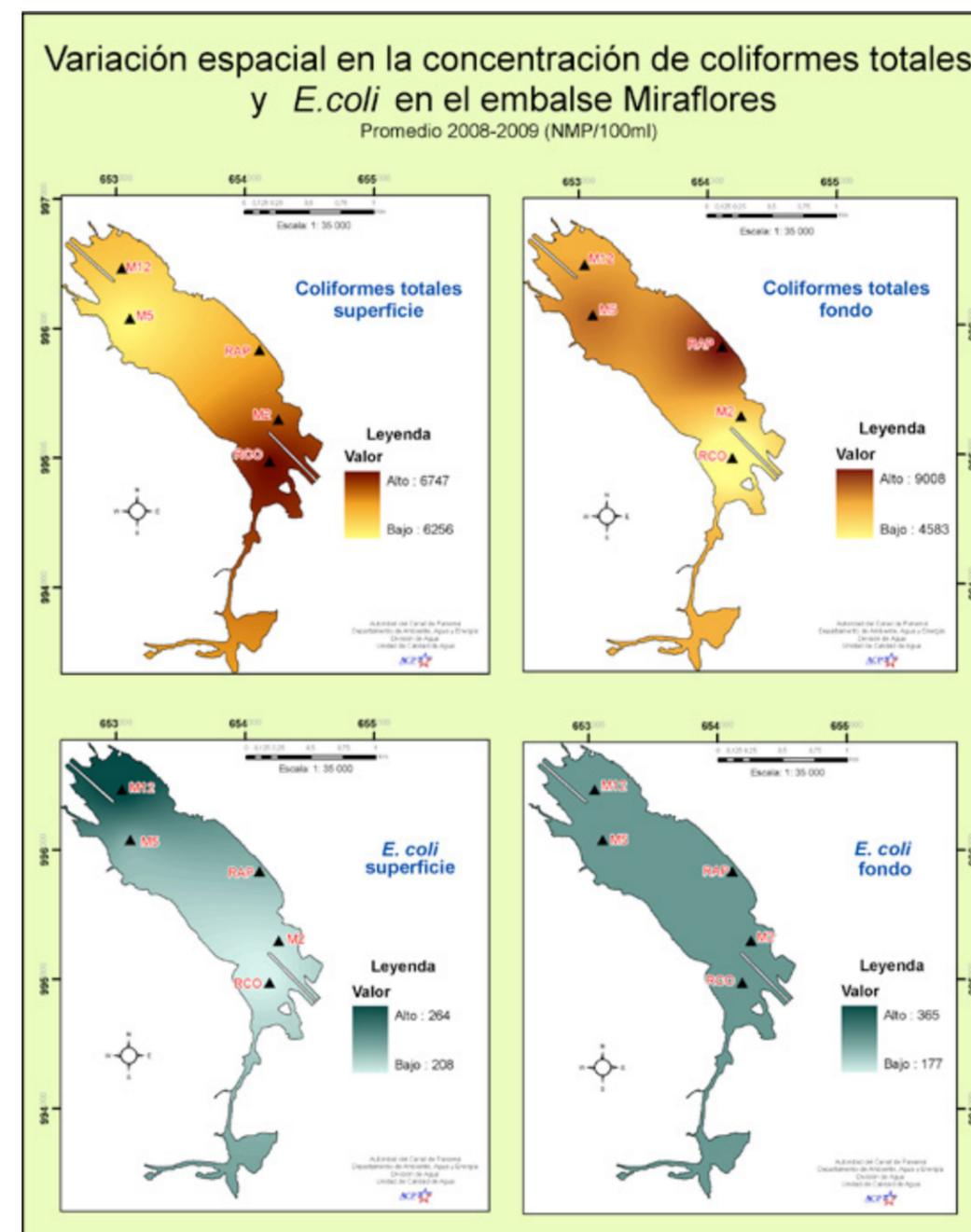
***E. coli* y la turbiedad**

Se entiende a la turbiedad como la falta de transparencia de un líquido debido a la presencia de partículas en suspensión. Ésta es considerada como una medida de la calidad de agua; cuanto más turbia sea el agua, menor será su calidad. La turbiedad en el agua es causada por la presencia de sedimentos procedentes de la erosión, las descargas de efluentes, escorrentías urbanas, etc.

Repasando las causas que ocasionan la turbiedad del agua, y la posible entrada de bacterias indicadoras de contaminación fecal a los embalses Gatún y Alhajuela, se procedió a evaluar la existencia de una dependencia entre la concentración de *E. coli* con respecto a la turbiedad. Debido a que estas variables no se distribuyen normalmente, se utilizó la prueba exacta de Fisher.

Para este análisis, se procedió a realizar la tabla de contingencia (tabla 5). En la misma se llevaron las variables cuantitativas (turbiedad y *E. coli*), a cualitativas (escala nominal). Se utilizaron todos los registros de turbiedad y *E. coli* de todas las estaciones (S y F), para los dos embalses (N = 2104).

Figura 20. Variación espacial en la concentración de coliformes totales y *E. coli* en el embalse Miraflores.



Las variables *E. coli* y turbiedad fueron categorizadas de la siguiente manera:

- Turbiedad > 11 y < 11 NTU
- *E. coli* > 81 y < 81 NMP/100 ml

Tabla 5. Tabla de contingencia para las variables turbiedad y *E. coli*, 2003-2009

Tabla de contingencia		E. coli		
		> 81	< 81	Total
Turbiedad	> 11	Recuento 173 frecuencia esperada 69,0	324 428,0	497 497,0
	< 11	119 223,0	1488 1384,0	1607 1607,0
Total		292 292,0	1812 1812,0	2104 2104,0

Estos valores de referencia, 11 NTU para turbiedad y 81 NMP/100 ml para *E. coli*, corresponden al valor promedio de la serie de datos de cada variable que se encontraba en los rangos de 0 a 541 NTU para la primera, y 5 a 29.093 NMP/100ml para la segunda.

Al calcular la probabilidad utilizando el estadístico exacto de Fisher, se obtuvo un valor de $p=0,000$. Por tanto, a un nivel de significancia de 0,05 se concluye que la turbiedad y *E. coli* no son independientes. En otras palabras, estas variables guardan una relación.

Para medir la fuerza de la dependencia entre las variables *E. coli* y la turbiedad, se utilizó el coeficiente de contingencia (herramienta estadística adecuada para conocer y medir la asociación o correlación entre variables cuando la escala de medida es nominal). El coeficiente de contingencia (C), es de 0,319 ($C_{\text{máx}} = 0,71$). La asociación existente entre la *E. coli* y la turbiedad es verdadera; con un valor de coeficiente de contingencia de 0,319 el cual está cerca de la mitad del máximo, por lo que la dependencia entre estas variables es moderada.

En las dos categorías de turbiedad, mayor y menor a 11 NTU (promedio de la turbiedad), hay recuentos mayores de *E. coli* por debajo de 81 NMP/100 ml (promedio de las concentraciones de *E. coli*; figura 21). Nótese que, a una turbiedad < 11 NTU, se observa un elevado recuento de *E. coli* menores a 81 NMP/100 ml.

Se concluye que existe una dependencia moderada entre la turbiedad y la concentración de *E. coli*. Cuando la turbiedad es más baja, la concentración de *E. coli* es menor que el promedio. Por consiguiente, además de la turbiedad, existen otros factores que afectan la presencia de *E. coli*.

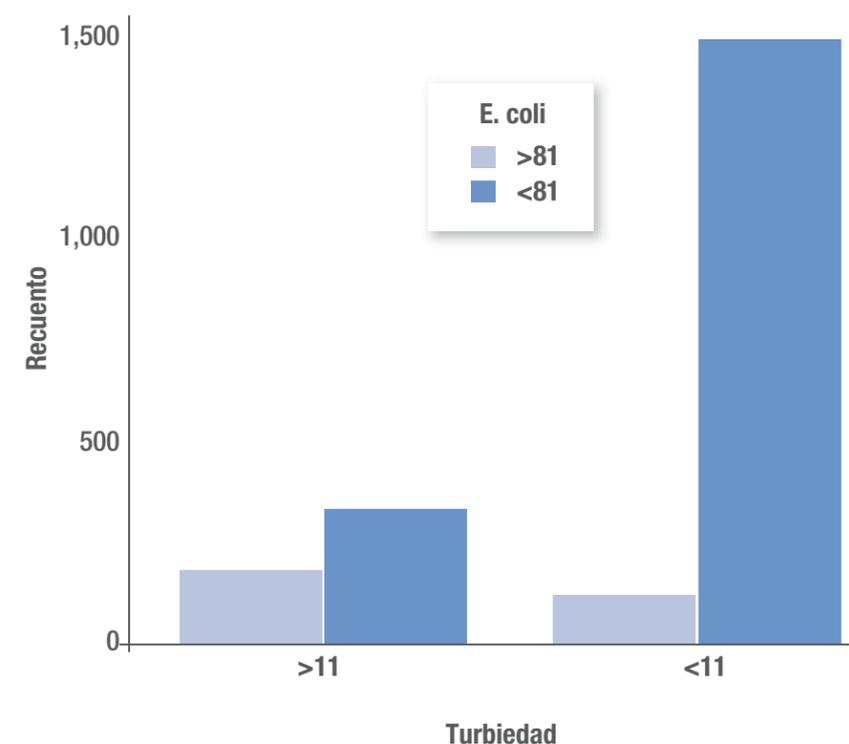


Figura 21. Recuento en la concentración de *E. coli* y la turbiedad en los embalses Gatún y Alhajuela.

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO TRÓFICO EN LOS EMBALSES GATÚN Y ALHAJUELA

En los ecosistemas acuáticos se presenta de manera natural el fenómeno de eutrofización. Este consiste en la evolución del ecosistema acuático hacia condiciones terrestres por acumulación de nutrientes, desarrollo vigoroso de la vegetación y acumulación de sedimentos. En general, este proceso se resume como el flujo de fertilizantes y nutrientes vegetales procedentes de fuentes humanas y agrícolas con consecuencias sobre las características estructurales y el funcionamiento del sistema acuático.

De acuerdo con su grado de eutrofización los embalses se clasifican en oligotróficos, mesotróficos y eutróficos, con niveles intermedios o interfases entre un estado y otro, lo que viene a describir los efectos biogeoquímicos y biológicos derivados de un incremento en el suministro y disponibilidad de nutrientes, generalmente, nitrógeno y fósforo. Los embalses oligotróficos tienen muy poca o nada de vegetación acuática y están relativamente claros, mientras que los embalses eutróficos tienden a recibir grandes cantidades de organismos, incluyendo las floraciones de algas. Cada clase trófica presenta diversos tipos de peces y de otros organismos.

Algunos de los principales efectos negativos de la eutrofización es el desarrollo masivo de la vegetación acuática (maleza acuática). El embalse Gatún, desde 1913, durante su construcción y, posteriormente, en la operación del Canal de Panamá, presentó problemas de crecimiento de la maleza acuática, inicialmente con especies nativas y, posteriormente, exóticas. Las entonces recientes condiciones creadas por la liberación de nutrientes derivados de la descomposición de la materia orgánica que quedó expuesta favorecieron el desarrollo exponencial de una biomasa vegetal de proporciones alarmantes (Von Chong, 1986). La primera maleza acuática en aparecer, según los registros de la División de Dragados (informes de 1913, en Von Chong, 1986), en forma obstructiva fue la especie enraizada del jacinto de agua (*Eichornia azurea*). Luego siguió la especie flotante del jacinto de agua (*E. crassipes*). En la sucesión natural de las especies acuáticas que ocurría en el embalse, les siguió la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), en combinación con un número variado de especies gramíneas y otras especies de hoja ancha, así como de especies sumergidas (*Hydrilla verticillata*). La presencia de esta vegetación en el cuerpo de agua genera los siguientes impactos:

- Disminución de la velocidad del flujo de agua.
- Obstrucción de la operación y el mantenimiento de canales.
- Incremento de la sedimentación.
- Aumento de materia orgánica en descomposición.
- Obstrucción de tomas de agua, ductos de presas, emparrillados, sifones y válvulas.
- Disminución del volumen útil del embalse.
- Limitación de la navegación y las actividades recreativas.
- Atascamiento en canales de navegación y drenaje.
- Aumento de la pérdida de agua por evapotranspiración.

- Creación de hospederos de vectores de organismos patógenos.
- Interferencia con el paso de la luz a través del agua con afectación sobre la fotosíntesis y consecuentemente la reducción de la producción piscícola.
- Disminución del valor estético del lugar.

En el embalse Gatún, en 1948, para el control de la maleza acuática, se introdujo el herbicida 2,4 D específico para el jacinto de agua (*E. crassipes*) que había reemplazado a la “hierba acuática” (*Hydrilla verticillata*), en aquellas áreas donde se había mantenido bajo control con el uso del sulfato de cobre (Von Chong, 1986). Desde 1951 hasta 1964 fue el único herbicida utilizado, aplicándose específicamente para controlar el jacinto de agua. Durante ese período fue observado el fenómeno de sucesión ecológica de la vegetación, pasando la *Hydrilla* a invadir y apoderarse de aquellas áreas de operación que se mantenían bajo un programa de control para el jacinto de agua.

En 1964, en áreas del Canal de Panamá se introdujeron varios manatíes de las especies *Trichechus manatus* y *T. inunquis*, con el objetivo de controlar ciertas plantas acuáticas, hospederas del mosquito *Mansonia* (no para mantener las operaciones del Canal). En su momento se determinó que serían necesarios unos 2.000 manatíes para empezar a notar un impacto en el control de la vegetación del embalse Gatún (Von Chong, 1986). En 1978 se introdujeron más de 250.000 alevines de la carpa herbívora, *Ctenopheryngodon idella*, como control biológico para la *Hydrilla*. Sostiene Von Chong (1986) que no se llegó a observar alguna reducción en la biomasa de esta planta en el embalse. Se afirma que la gran extensión del embalse difícilmente puede ser impactado de manera positiva por una población de peces tan pequeña como la que se introdujo. Algunas otras especies de insectos, utilizadas como controles biológicos, fueron introducidas a finales de la década de los 70 sin que lograran su reproducción en el medio natural. En 1979, se introdujo la mariposa *Sameodes albiquitallis* que ataca la especie flotante del jacinto de agua, y en 1977, la chinilla *Neochetina bruchi*, del jacinto flotante.

Expertos en la materia consideraron y manifestaron que si la Administración del Canal descontinuaba el programa de control y manejo de la vegetación acuática, el Canal se vería cerrado en un período de 3 a 5 años (Palm, 1968, en Von Chong, 1986). Es importante resaltar que en el proceso de sucesión natural de la vegetación acuática, otras plantas han ido reemplazando a aquellas que se fueron controlando.

Índice de Estado Trófico (Carlson, 1977)

El Índice de Estado Trófico de Carlson (IET) se utiliza para determinar, en un embalse, sus características asociadas al estado trófico. Este índice se calculó mensualmente para la transparencia o profundidad Secchi (IET_{SD}) y para las concentraciones superficiales de fósforo total ($IET_{P_{tot}}$) y de clorofila 'a' ($IET_{Chl.a}$).

Para evaluar el estado trófico de los embalses Gatún y Alhajuela, se utilizó el (IET_{Clor}) como índice principal, debido a que éste es el mejor estimador de la biomasa algal (Carlson, 1996), presentándose también de forma complementaria, una evaluación de los otros dos. Este índice proporciona valores que pueden variar entre 0 (oligotrofia) y 100 (eutrofia), situándose en torno a 50 el límite con la mesotrofia. Para evaluar la variación estacional del (IET_{Clor}) se utilizó la técnica de regresión local (LOESS/LOWESS), con el uso del software S-PLUS v. 8.0.

Variables del índice

El IET se determinó mensualmente para los parámetros clorofila, fósforo total y transparencia (embalses de Gatún y Alhajuela). Para la representación cartográfica se utilizaron los promedios de las concentraciones de fósforo total, transparencia y clorofila a del 2009.

Una aproximación del grado trófico de los embalses Gatún y Alhajuela

Sobre lo antes expuesto se desprende que hay necesidad de establecer un programa especialmente desarrollado para tener disponible la mayor cantidad de información que permita no sólo conocer con precisión el estado trófico de los embalses de interés, sino darle el seguimiento necesario para establecer estrategias que garanticen la calidad del agua de éstos para sus diferentes usos.

Variación estacional y espacial del índice del estado trófico en los embalses Gatún y Alhajuela

Con base en los resultados del IET_{Clor} , los embalses Gatún y Alhajuela se clasifican, en general, como mesotróficos. El seguimiento de la presencia y abundancia de la clorofila provee de elementos para detectar la variación, tanto temporal como espacial, de un atributo que posee un valor ecológico significativo. En el embalse Gatún los valores del IET_{Clor} varían entre 35 (mínimo en TAR y TMR) y 53 (máximo en DC1 y LAT) y en el Alhajuela, entre 8 (mínimo en BOP) y 59 (máximo en DCH). Las estaciones que sobrepasaron el límite del estado mesotrófico hacia un estado eutrófico inicial (valores máximos) fueron, en el embalse Gatún, DC1, MLR y TAR, y para el embalse Alhajuela, todas las estaciones, aunque en promedio el índice tiende a ser bajo para ambos embalses.

En términos de variación estacional, durante el 2009, en el embalse Gatún no se observó un patrón definido entre las estaciones de muestreo. En ARN, el IET_{Clor} sugiere un aumento consistente durante el año, en tanto que en MLR y DC1, este incremento fue irregular. El índice en BCI, ESC, HUM, LAT y RAI se mantuvo relativamente estable, mientras que en TMR y TAR, en forma general, disminuye ligeramente. Se observa, de manera consistente, un incremento en el IET_{Clor} en todas las estaciones de muestreo en el embalse Gatún, alrededor de septiembre (figura 22).

Figura 22. Variación estacional del IET_{Clor} en los sitios de muestreo, embalse Gatún (2009).

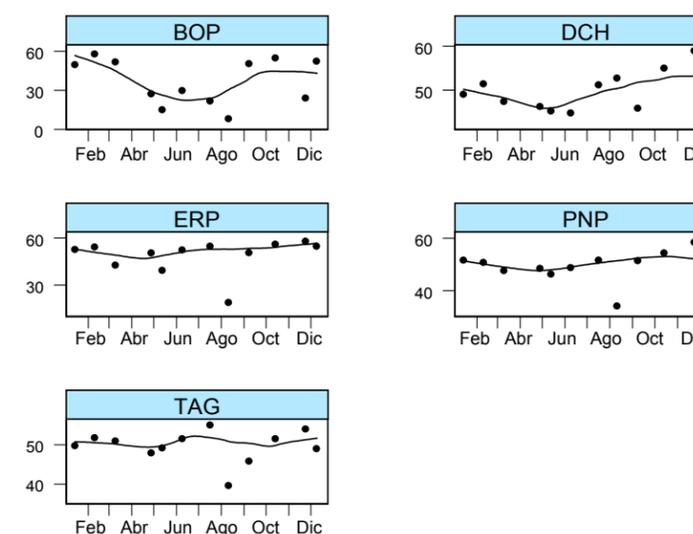
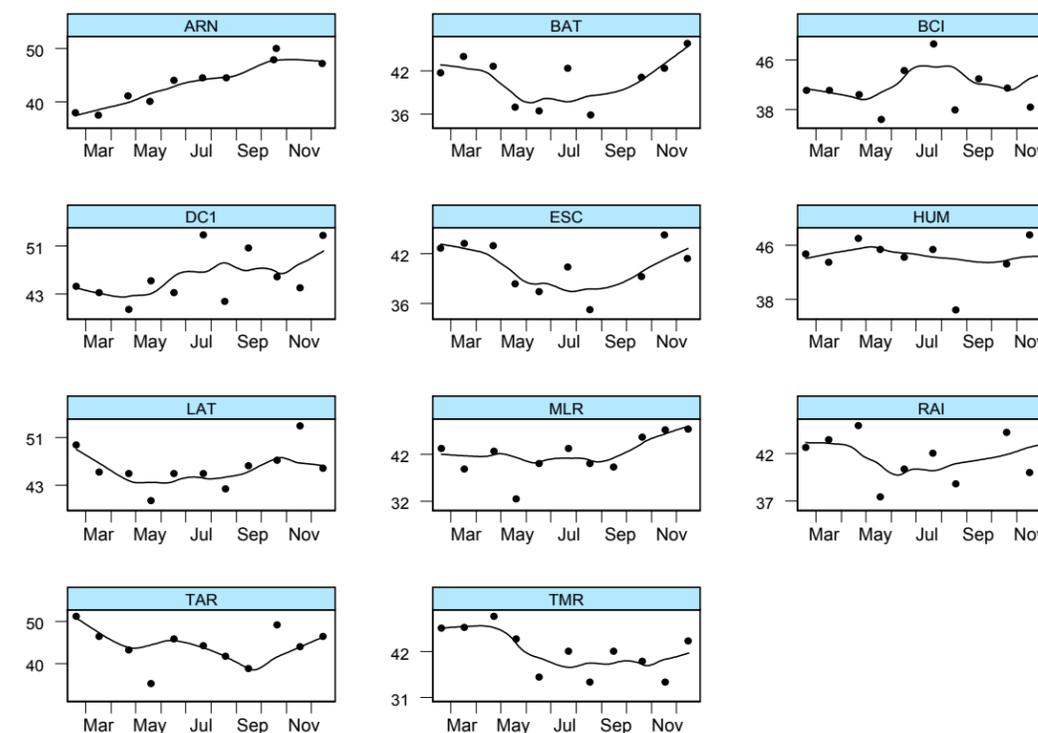


Figura 23. Variación estacional del IET_{Clor} en los sitios de muestreo, embalse Alhajuela (2009).

En cuanto a la distribución espacial, es posible distinguir áreas donde los valores de IET_{Clor} , en promedio, son menores. En el embalse Gatún, hacia las estaciones RAI, ESC, BAT, MLR, BCI y TMR (figura 24) y en el embalse Alhajuela, hacia las desembocaduras de los ríos Boquerón y Pequení donde se ubica la estación BOP (figura 25).

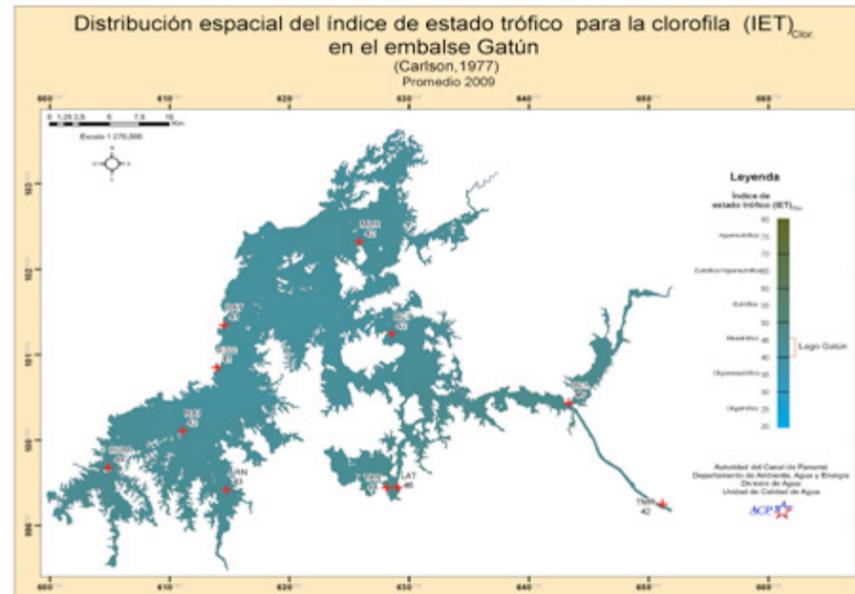


Figura 24. Variación espacial del Índice de Estado Trófico para la clorofila (IET_{Clor}) en el embalse Gatún

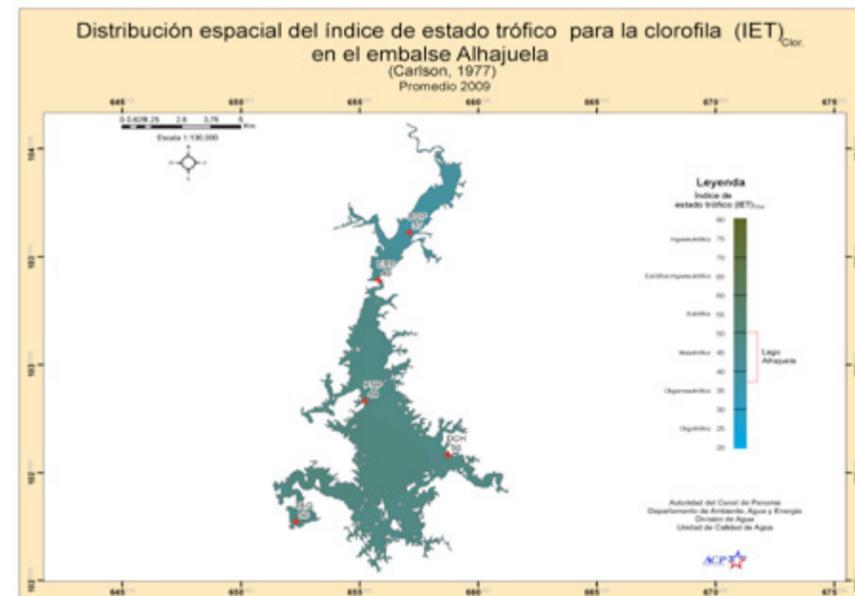


Figura 25. Variación espacial del Índice de Estado Trófico para la clorofila (IET_{Clor}) en el embalse Alhajuela (2009).

Las características tróficas de cada estación en los embalses Gatún y Alhajuela se resumen en las tablas 6 y 7. La conversión de la transparencia o profundidad de Secchi y la concentración de fósforo total en superficie al índice propuesto por Carlson, IET_{SD} e IET_{Ptot} , respectivamente, se presenta en las tablas 8 y 9, donde se exponen los valores promedio, mínimo y máximo para los embalses Gatún y Alhajuela. Cabe señalar que el IET_{SD} se ve influido por sólidos inorgánicos en suspensión.

Tabla 6. Características tróficas en las estaciones de muestreo de calidad de agua en el embalse Gatún (2009)

Estación	Profundidad	Estado trófico		Observaciones	
		Promedio IET_{Clor}	Atributo		
Arenosa (ARN)	Mínimo	7,0	43	Mesotrófico	Sus características son comparables a los sitios de toma de agua de Mendoza, toma de agua Laguna Alta y toma de agua de La Represa. Abundan troncos de árboles y grandes masas de vegetación acuática sumergida.
	Máximo	12,0			
	Promedio	9,5			
Batería 35 (BAT)	Mínimo	12,0	41	Mesotrófico	Presenta una profundidad mayor de 13 m, y tiene características similares a Raíces (abierto y sus aguas presentan bastante movimiento por efecto del viento). La transparencia del agua alta, durante la mayor parte del año; lo mismo ocurre con los niveles de oxígeno, principalmente en la superficie.
	Máximo	17,5			
	Promedio	14,8			
Barro Colorado (BCI)	Mínimo	14,0	42	Mesotrófico	Ubicado en la boya 44 frente a las instalaciones de la Estación Biológica de Barro Colorado, isla Barro Colorado. Al ser parte del canal de navegación sus aguas están en continuo movimiento y presentan alta turbiedad durante la mayor parte del tiempo como consecuencia de las actividades de dragado, factores que se conjugan para ser determinantes en el estado trófico de la masa de agua en el sitio.
	Máximo	19,5			
	Promedio	16,8			
Toma de agua de Gamboa (DC1)	Mínimo	2,9	46	Mesotrófico	Presenta abundante vegetación acuática, tanto sumergida como flotante; gran turbulencia por el continuo tránsito de naves; y la influencia de una corriente en horizontal sobre el cuerpo de agua, por el empuje del río Chagres que allí confluye como por el remanso que le crean las aguas del embalse en función de su nivel respecto a las aguas del río.
	Máximo	9,0			
	Promedio	6,0			
Toma de agua de Escobal (ESC)	Mínimo	12,0	40	Mesotrófico	Se ubica dentro de una pequeña ensenada, cerca a la entrada del poblado de Escobal. En el lugar desemboca una quebrada que recoge las descargas de aguas residuales domésticas y de escorrentía que trasladan contaminantes orgánicos hasta el embalse Gatún. Los lugareños utilizan el área para bañarse y lavar.
	Máximo	20,3			
	Promedio	16,2			
Humedad (HUM)	Mínimo	9,0	44	Mesotrófico	Se ubica en un sitio que presenta profundidades entre 8 a 11 m, próximo a la confluencia del río Ciri Grande, factor ha considerar en la evaluación del carácter mesotrófico del embalse.
	Máximo	13,5			
	Promedio	11,3			
Toma de agua de Laguna Alta (LAT)	Mínimo	3,0	46	Mesotrófico	Presenta características muy parecidas a la toma de agua de Mendoza y por consiguiente sus aguas presentan características similares.
	Máximo	6,0			
	Promedio	4,5			
Monte Lirio (MLR)	Mínimo	9,0	42	Mesotrófico	Se localiza en un sitio con profundidades entre 10 a 13 m. En esta área confluye el río Gatún; es de esperar que la calidad del agua de este sitio se vea influenciada por la calidad del agua de ese río y consecuentemente su estado trófico sea dependiente de sus aportes.
	Máximo	13,0			
	Promedio	11,0			
Raíces (RAI)	Mínimo	13,0	42	Mesotrófico	La ubicación de la estación de calidad de agua corresponde con uno de los sitios más profundos dentro del embalse Gatún, frente a la isla Raíces. Las aguas en este sitio presentan mucho movimiento al ser un área abierta donde los vientos se acentúan.
	Máximo	26,0			
	Promedio	19,5			
Toma de agua de La Represa (TAR)	Mínimo	3,7	44	Mesotrófico	Características afines a los sitios toma de agua de Laguna Alta y toma de agua de Mendoza; la calidad de sus aguas son similares.
	Máximo	8,8			
	Promedio	6,3			
Toma de agua de Mendoza (TME)	Mínimo	5,0	S/D	S/D	Este sitio, el más reciente incluido en el PVSCA, es un sitio de poca profundidad, con presencia de grandes masas de vegetación acuática sumergida (enraizada y flotante) y troncos de árboles remanentes que, de acuerdo con el nivel del embalse, pueden observarse. Es un área semicerrada, con profundidades entre 5 a 6 m; la circulación del agua se percibe lenta que podría estar condicionando un recambio limitado y dependiente de las extracciones requeridas por las bombas de la toma de agua localizada en el lugar. Aspectos destacables de esta agua es su mayor acidez y baja alcalinidad.
	Máximo	6,6			
	Promedio	5,8			
Toma de agua de Paraíso (TMR)	Mínimo	11,0	42	Mesotrófico	En este sitio hay poca vegetación sumergida. Al ser parte del canal de navegación, sus aguas presentan un fuerte movimiento tanto en vertical como horizontal por la cercanía con las esclusas de Miraflores.
	Máximo	18,0			
	Promedio	14,5			

Tabla 7. Características tróficas en las estaciones de muestreo de calidad de agua en el embalse Alhajuela (2009)

Estación	Profundidad		Estado trófico		Observaciones
			Promedio IET _{Clor}	Atributo	
Boquerón-Pequeñí (BOP)	Mínimo	5,0	37 M	esotrófico	Representa las condiciones del embalse Alhajuela en su extremo norte donde se da la confluencia y mezcla de las aguas de los ríos Boquerón y Pequeñí. Está ubicado cerca de donde confluye la quebrada Ancha y, en los meses lluviosos, sus aguas reflejan características relacionadas a las crecidas de los ríos (alta turbiedad asociada a importantes entradas de sedimentos y poca penetración de la luz).
	Máximo	11,0			
	Promedio	8,0			
Chagres-Alhajuela (DCH)	Mínimo	3,0	50 M	esotrófico	Se presenta un fenómeno similar al del sitio de confluencia de los ríos Boquerón - Pequeñí en Alhajuela. Se observa, especialmente en la época lluviosa, una gran acumulación de sedimentos y materiales gruesos (piedras, troncos, otros materiales vegetales) que son arrastrados por las corrientes y depositados en las márgenes sobre grandes extensiones del vaso que son colonizadas por una vegetación variada. Durante los períodos de muestreo, el anclaje viene a ser difícil por la movilidad del fondo, y en reiteradas ocasiones se observa alta turbiedad y poca penetración de la luz.
	Máximo	14,0			
	Promedio	8,5			
Estrecho Reporte (ERP)	Mínimo	4,5	49 M	esotrófico	Como su nombre lo indica, el sitio es una angostura o estrecho por donde forzosamente tienen que circular todas las aguas provenientes de la parte alta de la cuenca. Recoge, además de las aguas descargadas por los dos ríos antes mencionados, las aguas de varias quebradas importantes como la Ancha y Salamanca. El sitio presenta una profundidad máxima de 14 m; la mayor parte del tiempo las aguas son claras y calmas.
	Máximo	15,0			
	Promedio	9,8			
Punta del Ñopo (PNP)	Mínimo	7,0	49 M	esotrófico	En la orilla, frente al sitio de muestro se pueden observar rocas de aspecto calcáreo, y no pocas veces las aguas presentan bastante movimiento. La profundidad máxima en el sitio alcanza unos 20 m; aguas, generalmente claras.
	Máximo	21,0			
	Promedio	14,0			
Toma de agua de Chilibre (TAG)	Mínimo	17,9	50 M	esotrófico	Sitio de mayor profundidad de los muestreados en el embalse Alhajuela; las aguas son claras y en la superficie se observa bastante movimiento por ser un área abierta, expuesta a los vientos.
	Máximo	29,0			
	Promedio	23,4			
Total Mínimo	T _{Mín}	3,0			
Total Máximo	T _{Máx}	29,0			
Total Promedio	T _{Prom}	12,7			

Los valores de IET_{SD} en el embalse Gatún varían entre 35 (mínimo en ESC y BAT), y 83 (máximo en BCI y TMR) (tabla 8). Los valores bajos del IET_{Clor} y máximos del IET_{SD}, encontrados en las estaciones de muestreo BCI y TMR, pueden atribuirse a las actividades regulares de dragado y profundizaciones que se realizan en el cauce de navegación, y aquellas otras asociadas al proyecto de ampliación, que incrementan la concentración de sólidos totales suspendidos en el embalse. Esto provoca una disminución en la penetración de la luz que limita la productividad primaria y favorece la menor eutrofia registrada. La alta renovación del agua, como resultado del uso para esclusajes, así como la remoción de la vegetación acuática, también favorece la menor eutrofia. Sin embargo, el incremento de sólidos suspendidos tiene un impacto negativo sobre la calidad del agua, que puede conducir al aumento de los costos de tratamiento del agua cruda

para potabilización.

En el embalse Alhajuela, se presenta una situación similar donde los valores de IET_{Clor} son bajos y IET_{SD} altos, en la estación BOP, ubicada hacia la desembocadura de los ríos Boquerón y Pequeñí, que aportan entre ambos 691 t/año/km² de sólidos totales suspendidos (García, 2010). El acarreo de sólidos totales suspendidos tiene un impacto negativo sobre el ecosistema con afectaciones a la fauna y flora acuática.

De acuerdo a Brönmark (2005), lagos con bajas concentraciones de fósforo (5-10 µg de fósforo total), y baja productividad son “oligotróficos”, mientras que aquellos que presentan concentraciones entre 10 y 30 µg de fósforo total son “mesotróficos”, en tanto que lagos con altas concentraciones (30-100 µg de fósforo total), son “eutróficos”. En el embalse Gatún, el 66 por ciento de las concentraciones de fósforo total tuvieron valores entre 15 y 30 µg (mesotrófico), y el 34 por ciento valores superiores a 30 µg (eutrófico). Los valores de IET_{P tot} varían entre 43 (mínimo en todas las estaciones), y 93 (máximo en ESC). En promedio hacia las estaciones BCI, LAT, DC1, TMR y ARN se ubican las mayores concentraciones (tabla 8).

Tabla 8. Valores promedio mínimo y máximo para el IET_{SD} y IE_{TP tot} en el embalse Gatún (2009).

Estaciones	IET _{SD}			IET _{P tot}		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
HUM	45	40	50	47	43	63
RAI	41	38	47	47	43	69
ESC	41	35	44	51	43	93
BAT	38	35	42	47	43	67
MLR	43	40	50	49	43	63
BCI	75	60	83	60	43	83
LAT	52	47	65	55	43	69
DC1	55	47	65	54	43	69
TMR	74	60	83	54	43	71
ARN	44	38	54	52	43	71
TAR	53	44	65	48	43	67

En el embalse Alhajuela, el 74 por ciento de las concentraciones de fósforo total registraron valores entre 15 y 30 µg (mesotrófico), y el 26 por ciento, valores superiores a 30 µg (eutrófico). Los valores de IET_{P tot} varían entre 43 (mínimo en todas las estaciones), y 73 (máximo en TAG) (tabla 9). En promedio, hacia la estación PNP se sitúa la mayor concentración.

Tabla 9. Valores promedio mínimo y máximo para el IET_{SD} y IET_{P tot} en el embalse Alhajuela (2009).

Estaciones	IET _{SD}			IET _{P tot}		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
BOP	59	47	93	50	43	69
ERP	62	47	77	50	43	69
PNP	51	44	60	51	43	69
DCH	54	46	63	47	43	72
TAG	49	42	54	48	43	73

Usos potenciales de la vegetación acuática en la producción de biogás

Para el embalse Gatún existe una propuesta de proyecto sobre generación de energía eléctrica a base de biogás, obtenido a partir de jacinto de agua (*E. crassipes*). Esta propuesta se presenta como una alternativa real, sustentable y no contaminante de uso de una fuente renovable de energía, con amplios beneficios en términos económicos (ahorro en la compra de químicos y alquiler de medios de fumigación, generación de energía, aumento de productividad piscícola), ecológicos (desaceleramiento del proceso de eutrofización, disminución de materia orgánica en descomposición, control de procesos de acidificación, aumento de las concentraciones de oxígeno en el agua, otros) y sociales (mejoramiento de la navegación para los pobladores, disminución de sitios de hospederos de vectores de enfermedades a seres humanos y animales domésticos, otros), protección de infraestructuras (presas, esclusas, otras). En este sentido se ha propuesto el proyecto de generación de energía eléctrica a base de biogás obtenido a partir de *Eichornia crassipes*.

En este proyecto se ha solicitado la cuantificación de toda la biomasa disponible en el Canal, cuya colecta pueda ser mecanizada, y económicamente viable (orillas de caminos, servidumbres de tendidos eléctricos, prados y áreas similares). Con esto se podría diseñar el tamaño correcto para una planta de generación eléctrica con biomasa. Cabe resaltar que esto todavía es una propuesta, y que no se ha formulado como proyecto formal. Es necesario conducir, primero, los estudios detallados para poder recomendar el proceso de formulación presupuestaria (Urho González, comunicación personal, 2010).

Es conocido que la vegetación acuática tiene diferentes usos productivos, además de su importancia ecológica. Entre otros, los siguientes:

- Tratamiento de aguas residuales (diseño de sistemas de purificación empleando *Eichornia crassipes*; *Typha* sp.).
- Producción de proteína vegetal (extracción mediante secado y maceramiento – *E. crassipes*).
- Producción de proteína animal.
- Producción de biogás. Ensilaje de materia orgánica deshidratada.
- Fertilizante y aditivo del suelo.
- Extracción de fibra, pulpa y papel.

- Elaboración de canastas, esterillas, muebles y empajados (*Juncus* sp., *Phragmites communis*, *Typha* sp., *Cyperus* sp.)
- Hábitat protector de numerosas especies acuáticas.
- Uso como forraje en la alimentación de patos y otros animales. Aceleración de procesos de sucesión natural (vegetación marginal emergente).
- Estabilización de márgenes evitando erosión (*Brachiaria* sp.).

Recomendaciones

- Fortalecer las investigaciones que permitan evaluar los diferentes métodos de control (insumos, aplicación, efectos), y adecuar a las condiciones locales algunas de las metodologías utilizadas y probadas con éxito en otras latitudes.
- Desarrollar y/o adecuar técnicas y métodos propios que puedan ser usados de manera efectiva y eficiente, bajo las condiciones ambientales particulares de los embalses Gatún y Alhajuela.
- Establecer un plan de manejo de la vegetación acuática dinámico, que contenga mecanismos para su evaluación y modificación en forma permanente. Un plan de esta naturaleza permite desarrollar y establecer una metodología y las técnicas en el manejo de la vegetación acuática, propias de los embalses y sus cuencas aportantes, que sean eficientes, eficaces y cónsonas con la conservación de la calidad ambiental y la salud de las poblaciones.
- Aplicar métodos combinados de control (control integrado) y comparación de escenarios.
- Evaluar el uso de la maleza acuática como insumo en actividades productivas (producción de biogás, depuración de aguas contaminadas).
- Apoyar la formulación de proyectos y asistencia técnica comunitaria para el uso provechoso de la maleza acuática.
- Coordinar la ejecución del ordenamiento ambiental (paisajístico) del territorio según características ecológicas, capacidades agroecológicas y características socioambientales de las comunidades.
- Diseñar y ejecutar campañas de concienciación y educación ambiental con participación social.

ANEXO

Tipo de malezas acuáticas en los embalses en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.

La vegetación acuática (plantas acuáticas vasculares) puede ser tipificada como flotante, sumergida y emergente. Las algas están consideradas dentro de otra categoría taxonómica distinta al reino Plantae. Las plantas acuáticas forman parte de los productores primarios de los ecosistemas acuáticos, siendo relevante su participación en el flujo de energía y la circulación de la materia en los ecosistemas lóticos tropicales (embalses, embalses, lagunas, etc.). Un estudio reciente identificó 15 especies de plantas vasculares agrupadas en 13 géneros para el humedal del río Chagres en Gamboa (Hernández y Modestín, 2006); de éstas, 14 son acuáticas. Entre las plantas reportadas, se encontraron plantas anfibias, flotantes libres y flotantes arraigadas.

A continuación se relacionan algunas de las principales especies de vegetación acuática presentes en embalses tropicales.

***Salvinia radula* Baker (helecho acuático)**

- **Distribución:** Colombia, Ecuador, Cuba, Guayanas. Panamá: Bocas del Toro, Colón, Darién, Panamá.
- **Difusión:** esporas y fragmentación (vegetativamente).
- **Floración y agentes de polinización:** producción de esporas, ocasionalmente durante todo el año; en mayor cantidad al final de la estación lluviosa.
- **Relación con el medio:** crece asociada a plantas sumergidas o de flotación libre.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** aguas estancadas o de muy poco movimiento; áreas abiertas.
- **Observadas en Gamboa y otras localidades.**

***Lemna minor* L. (lenteja de agua)**

- **Distribución:** crece en climas templados y cálidos; es originaria de Norte América. Se extiende al sur y oeste de los Estados Unidos y América del Sur, Asia y Australia. Panamá: Bocas del Toro, Chiriquí y Panamá.
- **Difusión:** se reproduce por semillas y vegetativamente por fragmentación. Se reproduce fácilmente, cubriendo grandes áreas con ayuda del viento.
- **Ecosistemas:** embalses, pantanos, canales, otros. Esta libre de zancudo. Sobrevive en zonas altas.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** aguas tranquilas; es poco frecuente asociada a la vegetación de flotación libre.

- **Usos:** tiene alto contenido de proteína (35%) y fósforo (3%) en base seca. La biomasa es baja en fibra y lignina (Lemna Corporation, 1992, en Pedraza, 1994). Ha sido utilizada en la alimentación de patos y en la depuración de aguas residuales.
- **Amenazas:** algunas bacterias epifitas pueden tener efectos negativos en el crecimiento de la planta y causar envejecimiento de las hojas (Hunter, 1989, en Pedraza, 1994). Estas bacterias producen factores de crecimiento usados por la planta, dando beneficios similares a lo que se encuentra en las comunidades planctónicas (Owen, 1990, en Pedraza, 1994).

***Typha domingensis* Pers.**

- **Distribución:** en todas las zonas tropicales y subtropicales en todo el mundo. Panamá: Bocas del Toro, Herrera y Panamá.
- **Difusión:** hierba enraizada, emergente, marginal. Se reproduce por semillas y vegetativamente por rizomas y coloniza grandes áreas rápidamente.
- **Ecosistemas:** embalses, pantanos, canales, otros.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores (estaminadas y pistiladas) y frutos durante la estación seca.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** márgenes.
- **Manchas observadas en áreas húmedas ribereñas y de pantanos.**

***Sagittaria lancifolia* L.**

- **Distribución:** costa Atlántica de los Estados Unidos, Bahamas, Antillas, América Central y Sur América. Panamá: Bocas del Toro, Colón, Darién y Panamá.
- **Difusión:** hierba acuática, emergente, monoica; se reproduce por semillas y vegetativamente por rizomas.
- **Ecosistemas:** márgenes de ríos y embalses.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos entre los meses de marzo a julio.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** márgenes.

***Hydrilla verticillata* (L. F.) Royle**

- **Distribución:** viejo mundo – sureste y este de Europa, África, Asia y Australia. Panamá: Panamá.
- **Difusión:** hierba acuática, sumergida, enraizada, dioica; se reproduce por semillas y vegetativamente por rizomas y fragmentación del tallo.
- **Ecosistemas:** márgenes de ríos y embalses.

- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos principalmente durante la estación lluviosa.
- **Relación con el medio:** considerada de mayor problema, se reproduce muy rápidamente; daños considerables a embarcaciones.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** toda el área.

***Limnobium spongia* (Bosc.) Steud.**

- **Distribución:** Estados Unidos, México y Panamá (Panamá).
- **Difusión:** hierba acuática perenne, monoicas, flotante o enraizada en suelos pantanosos. Se reproduce por estolones.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos durante gran parte del año, principalmente durante la estación lluviosa.
- **Relación con el medio:** crece asociada a otras especies flotantes, principalmente *L. stoloniferum* (G. Meyer).
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** canales de navegación; sitios de deposición de sedimentos.

***Limnobium stoloniferum* (G. Meyer) Griseb.**

- **Distribución:** desde Guatemala hasta Sur América e Islas Occidentales. Panamá: Panamá.
- **Difusión:** hierba acuática, estolonifera, dioica. Se reproduce por semillas y vegetativamente por estolones.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos de septiembre a marzo.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** márgenes, en áreas abiertas.

***Pistia stratiotes* L. (lechuga de agua)**

- **Distribución:** regiones tropicales. Panamá: Bocas del Toro, Chiriquí, Darién y Panamá. También en el sudeste africano en aguas de poco movimiento, cerca de los juncos en los ríos.
- **Difusión:** hierba acuática, de flotación libre. Se reproduce por semillas y vegetativamente, por estolones. Prolifera rápidamente.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos durante gran parte del año.
- **Relación con el medio:** hábitat adecuado para el desarrollo de huevos, larvas y adultos de insectos vectores de enfermedades. El coleóptero *Neodhydromus affinis*

se ha considerado como un agente biológico de control de esta maleza (Australia, Botswana, Papua, Nueva Guinea, Sudáfrica y Zimbabwe).

- **Ecosistemas:** embalses, ríos. Crece poco en condiciones de luz baja; pH óptimo igual a 6,1. Crece bien en aguas medianamente contaminadas (Sharma y Sridhar, 1980, en Pedraza, 1994).
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** orillas y canales de navegación. Una de las especies de mayor peligro para la libre navegación.
- **Uso:** Medicinal; alimento, fertilizante orgánico, fuente de biogás y fibra.

***Eichornia crassipes* (Mart.) Solms (Jacinto de agua; camalote; lechuguino; buchón de agua).**

- **Distribución:** Regiones tropicales y subtropicales del mundo. Estados Unidos hasta Paraguay, norte de Argentina y las Antillas. Panamá: Bocas del Toro, Chiriquí, Colón y Panamá.
- **Difusión:** hierba acuática, de flotación libre. Se reproduce por semillas y vegetativamente por rizomas. La propagación vegetativa permite una alta tasa de producción de biomasa, hasta 800 kg de materia seca/ha/día en aguas de desecho (Majid, 1986, en Pedraza, 1994).
- **Ecosistemas:** ríos, embalses, lagunas, riachuelos. Crece en aguas contaminadas.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos durante gran parte del año.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** orillas y otras áreas. En grandes cantidades obstaculiza la libre navegación.
- **Uso:** como fuente de alimento, fertilizante orgánico, producción de biogás y fibra.

***Eichornia azurea* (Sw.) Kunth. (Jacinto acuático)**

- **Distribución:** México hasta Argentina y las Antillas. Panamá: Bocas del Toro, Darién, Colón y Panamá.
- **Difusión:** hierba acuática, de flotación libre, en ocasiones enraizadas. Se reproduce por semillas y vegetativamente por rizomas.
- **Nutrientes:** altos requerimientos (luz, nutrientes orgánicos).
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos durante gran parte del año.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** asociada a *E. crassipes*, *Pistia stratiotes* y otras hidrófitas de flotación libre de menor tamaño. Tallos gruesos y duros que ocasionan serios problemas a las embarcaciones.

***Limnocharis flava* (L.) Buch (hoja de buitre).**

- **Distribución:** desde México hasta el sur de Brasil y las Antillas. Panamá: en todo el país.
- **Difusión:** hierbas rizomatosas, enraizadas, perennes. Se reproduce por semillas y vegetativamente por rizomas.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos durante gran parte del año.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** aguas poco profundas y estancadas.

***Polygonum acuminatum* H. B. K.**

- **Distribución:** desde México hasta Argentina; Indias Occidentales. Panamá: Bocas del Toro, Colón y Panamá.
- **Difusión:** hierbas acuáticas, enraizadas, emergentes. Se reproduce por semillas y vegetativamente por estolones.
- **Ecosistemas:** ríos y embalses.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos durante gran parte del año.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** márgenes.

***Polygonum mexicanum* Small**

- **Distribución:** sureste de Estados Unidos, México y América Central. Panamá: Colón y Panamá.
- **Difusión:** hierbas acuáticas, decumbentes, enraizadas, emergentes, anual. Se reproduce por semillas y vegetativamente por estolones.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos durante gran parte del año.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** márgenes.

***Nymphaea ampla* (Salisb.) D.C.**

- **Distribución:** zona tropical y subtropical de América. Panamá: Colón y Panamá.
- **Difusión:** hierbas acuáticas, enraizadas, emergentes, anual. Se reproduce por semillas y vegetativamente por segmentos tuberosos del rizoma.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos en mayor cantidad entre febrero a julio.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** orilla y aguas estancadas. Observada en ensenadas y áreas de aguas quietas, de muy poca corriente.

***Hydrocotyle umbellata* L. (sombbrero de agua).**

- **Distribución:** ampliamente distribuida en el Hemisferio Occidental y sureste de África. Panamá: toda la República.
- **Difusión:** generalmente acuática, marginal flotante, rastrera o enredadera.
- **Floración y agentes de polinización:** producción de flores y frutos durante todo el año. Se reproduce por semillas y vegetativamente por estolones y fragmentación.
- **Ubicación respecto a zona de embalses:** Crece en áreas pantanosas y sobre el sustrato formado por otras plantas acuáticas, no resiste mucho la luz directa.



CAPÍTULO 3

COBERTURA VEGETAL, USO DEL SUELO Y TASA DE DEFORESTACIÓN EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ, 2008

Raúl E. Martínez D.
SECCIÓN DE MANEJO DE CUENCA - DIVISIÓN DE AMBIENTE

Cobertura Vegetal, Uso del Suelo y Tasa de Deforestación en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, 2008.

3.1 Antecedentes:

El Equipo de Sensores Remotos de la División de Ambiente de la ACP inició, en el 2002, un programa de Vigilancia de la Cobertura Vegetal y los Usos del Suelo. Su finalidad es la de establecer el estado y la dinámica del paisaje en la Cuenca Hidrográfica del Canal, como un aspecto importante en la definición de las condiciones ambientales de esta importante región.

Como parte de este Programa, se genera cada cinco (5) años el Mapa General de Cobertura Vegetal y Usos del Suelo, el cual brinda información relacionada con la distribución y cuantificación de estas coberturas en la Cuenca, además de establecer las tasas de deforestación que se presentan, y las regiones que muestran mayores presiones sobre los recursos. Este programa también tiene entre sus objetivos definir los cambios que se han producido a partir de 1986, estableciendo las tasas de cambios y el establecimiento de modelos de predicción.

Para la elaboración de estos mapas se clasifican imágenes satelitales multiespectrales, las cuales permiten obtener información de la superficie terrestre es diferentes bandas del espectro visible (imágenes a colores), además de bandas del infrarrojo, que proporcionan una mayor cantidad de información relacionada con las coberturas vegetales. Las imágenes son clasificadas mediante programas informáticos de teledetección, con apoyo en trabajos de campo.

Como resultado de este Programa, se desarrollaron los trabajos para la elaboración de un primer mapa de cobertura vegetal para el 2003. También se hicieron levantamientos para el año 1986 y 1998, mediante la interpretación de imágenes satelitales de esos periodos. Con toda esa información, se logró reconstruir los cambios ocurridos en la cobertura vegetal y los usos del suelo en la Cuenca del Canal, en los últimos 18 años.

La elaboración del Mapa de Cobertura Vegetal y Usos del Suelo 2008, y toda la actividad desarrollada a partir del 2000, adquiere mayor importancia considerando que el Programa de Vigilancia de la Cobertura Vegetal que se desarrolla en la ACP es un intento claro de institucionalizar el monitoreo de los bosques y los usos del suelo en la Cuenca, lo que nos permite tener información permanente del estado ambiental de la región.

3.2 Cobertura Vegetal y Uso de Suelo 2008

Para el 2008, se elaboró el nuevo Mapa de Coberturas Vegetales y Usos del Suelo de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. En el levantamiento de las coberturas vegetales y los usos del suelo, se clasificaron imágenes satelitales tipo Landsat ETM y Aster. Se utilizaron, también, imágenes de alta resolución (IKONOS, Quick Bird), en aquellos sectores bajo actividad agrícola, y en áreas pobladas donde es necesario contar con mayor resolución espacial para establecer, de manera correcta, las actividades que se desarrollan y los cambios ocurridos.

La información obtenida se compiló cartográficamente para obtener un producto único con resolución espacial de 30 metros píxel. Toda esta información fue validada en campo, mediante procesos de verificación. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cobertura vegetal y usis del suelo 2008

Cobertura	Superficie (ha)	Porcentaje (%)
Bosques Maduros	85,609.2	24.8
Bosques Secundarios	82,941.9	24.0
Matorrales y Rastrojos	31,213.6	9.0
Reforestación	6,330.5	1.8
Paja blanca	6,946.8	2.0
Cultivos	1,996.4	0.6
Pastizales	77,874.7	22.6
Suelos desnudos	406.6	0.1
Poblados	10,218.7	3.0
Minería	488.3	0.1
Agua	41,292.6	12.0
TOTALES	345,319.3	

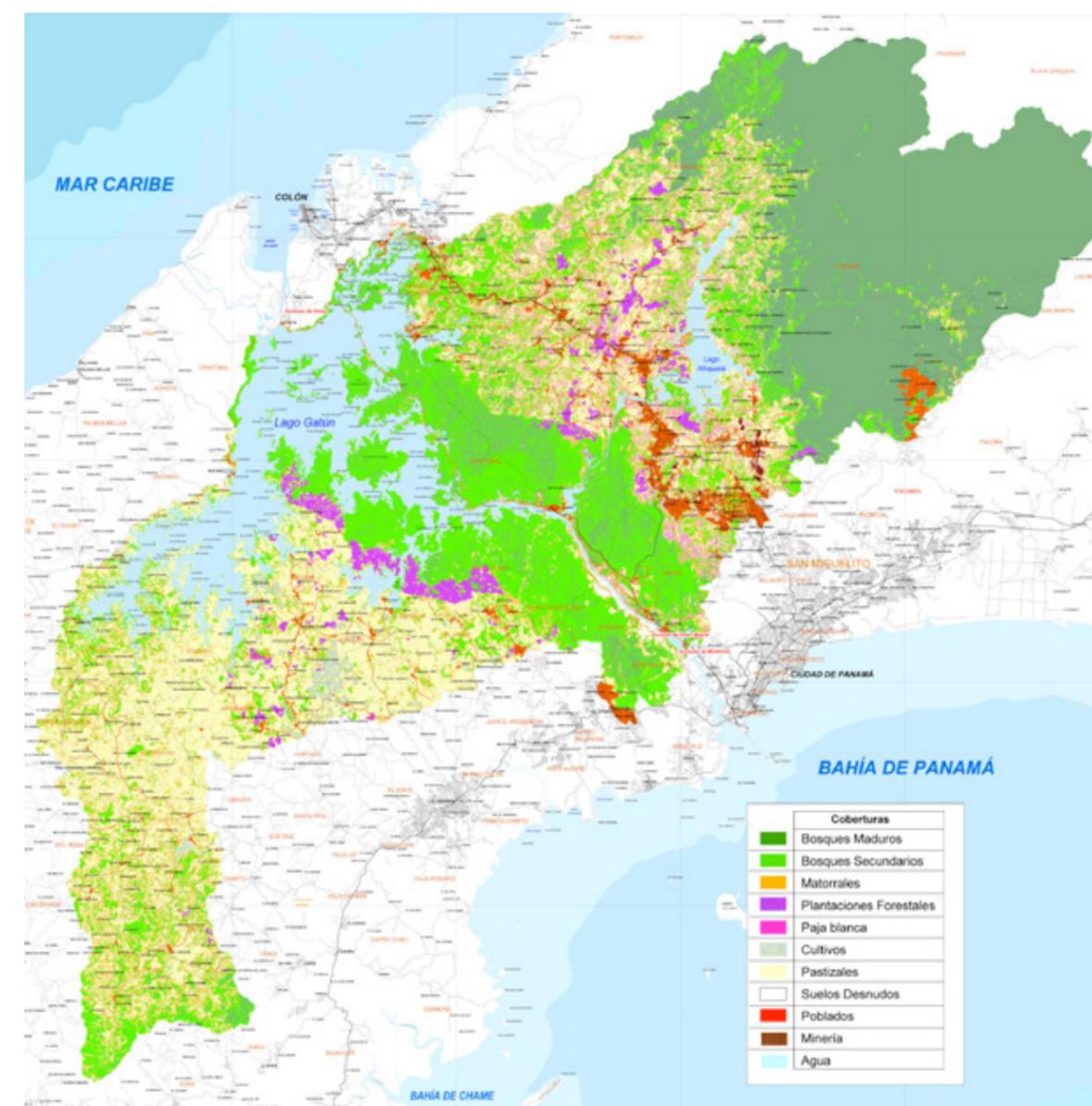
Un 48.8 % de la Cuenca del Canal está cubierta de Bosques Maduros y Bosques Secundarios. Si a esta cifra se le suma el 9% que está cubierto de Matorrales y Rastrojos, y el 1.8 % de Áreas Reforestadas, se obtiene que un 59.6% de la superficie de la Cuenca está bajo una cubierta vegetal protectora.

Los Bosques Maduros se siguen concentrando principalmente en la región del Alto Chagres, dentro del Parque Nacional Chagres, mientras que los Bosques Secundarios se localizan, en su mayoría, en las márgenes del Canal, dentro áreas protegidas como el Parque Nacional Soberanía, el Parque Nacional Camino de Cruces y el Monumento Natural de Barro Colorado, además de los antiguos campos de tiro, en la margen occidental del cauce de la vía interoceánica.

Los Matorrales y Rastrojos se encuentran altamente fragmentados y dispersos, localizándose principalmente en las subcuencas de los ríos Cirí, Trinidad, Gatuncillo, Chilibre, Gatún y Agua Sucia. Las áreas reforestadas que se presentan en la Cuenca del Canal, se ubican principalmente en las subcuencas de los ríos Gatuncillo, Chilibre, Hules – Tinajones, y en el sector de Santa Rosa. También se desarrollan proyectos dentro del Parque Nacional Soberanía y el Parque Nacional Camino de Cruces. Estos proyectos ubicados dentro de parques nacionales, son desarrollados principalmente por la Autoridad del Canal de Panamá, con el objetivo de reconvertir sectores ocupados por la paja blanca (*Saccharun spontaneum*). La otra gran región donde se presentan

proyectos de reforestación, es en los antiguos campos de tiro y en el Monumento Natural de Barro Colorado, donde la empresa Ecoforest tiene presencia como parte de la estrategia de reconversión de los terrenos ocupados por la paja canalera, que fue iniciada a finales de la década del 90.

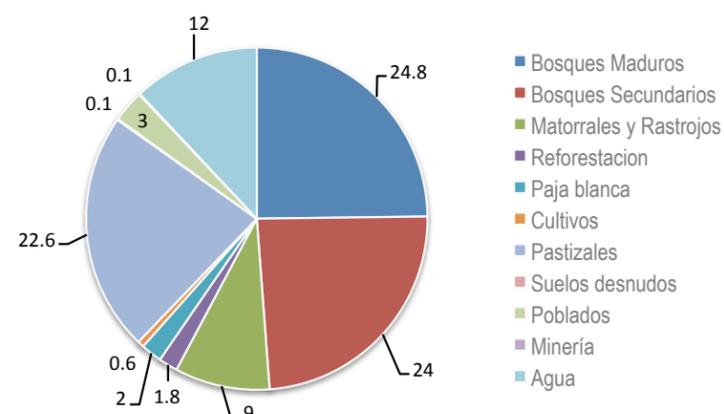
La cobertura de Pastizales representan el 22.6 % de la superficie de la Cuenca. Su presencia se relaciona principalmente con la actividad ganadera. Las subcuencas de los ríos Hules, Tinajones, Caño Quebrado, Gatuncillo Paja y Lirio, y las cuencas medias y bajas de los ríos Cirí y Trinidad, son las que poseen las mayores coberturas.



Otra de las coberturas levantadas, fue la paja blanca (*Saccharum spontaneum*). Esta cobertura se localiza, principalmente, a lo largo de todo el Corredor Transístmico, y posee un cubrimiento total del 2.0%. También se encontraron parches significativos dentro del Parque Nacional Soberanía y del Parque Nacional Camino de Cruces. Desde el 2002, la Autoridad del Canal de Panamá ha reconvertido a bosques naturales, aproximadamente 900 hectáreas que estaban cubiertas por la paja blanca, localizadas dentro de los parques nacionales Soberanía, Chagres, Camino de Cruces y Altos de Campana.

Distribución Porcentual

El porcentaje correspondiente a los Suelos Desnudos que aparecen en la Cuenca (0.1%), unas 406 hectáreas, son principalmente el resultado de los trabajos de ampliación que adelanta la ACP en los sectores de Cocolí y el Corte Culebra.



En lo relacionado con la categoría de Poblados, la misma cubre 10,218.7 hectáreas, correspondiente al 3% del territorio. La mayoría de la población se concentran a lo largo de la Carretera Transístmica, que une a las ciudades de Panamá y Colón, siendo el corregimiento de Chilibre el que posee la mayor concentración, con cerca del 50% de población existente en la Cuenca.

Las distribuciones y proporciones de los usos del suelo encontrados en el 2008, no varían significativamente de la situación que se presentó en el 2003, como se expresó con anterioridad. Estos resultados están siendo analizados y serán publicados próximamente.

3.3. Tasa de Deforestación y Cambios en los Usos del Suelo 2003 – 2008

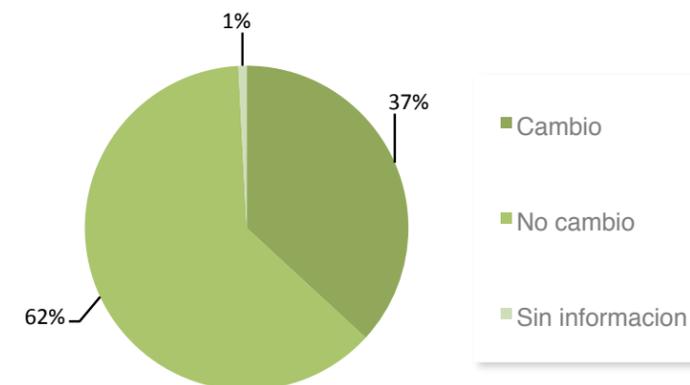
Uno de los objetivos del Programa de Vigilancia de la Cobertura Vegetal, es determinar los cambios ocurridos en las coberturas vegetales y los usos del suelo, expresados en tasa de deforestación y porcentajes de cambios.

En base a los levantamientos de coberturas vegetales y usos del suelo levantados por el Equipo de Sensores Remotos para los años 1986, 1998, 2003 y 2008, se ha podido determinar con relativa precisión, los cambios que han ocurridos en la Cuenca del Canal.

3.4. Zonas de Cambio

Un primer resultado ha sido la definición de las zonas de cambios, establecidas como aquellas regiones donde se han producido variaciones en las coberturas vegetales y usos del suelo. Éstas se han obtenido mediante la sobreposición espacial de las coberturas 1985 y 2008.

Los resultados señalan que el 36.8% sufrió algún cambio, lo que representa unas 125,260 hectáreas de las coberturas vegetales y usos del suelo existentes en 1986. El restante, 62.3%, que representa unas 211,933 hectáreas, se mantuvo inalterado. De estos porcentajes, las coberturas boscosas y los pastizales fueron las menos alteradas, mientras que las coberturas de cultivos, matorrales y rastrojos y la paja canalera registraron mayores cambios, contribuyendo al aumento de superficie en diversas coberturas.



Los resultados obtenidos nos presentan una gran dinámica a lo largo de la Carretera Transístmica, donde se concentra más del 65% de toda la población existente, y la mayor cantidad de actividades comerciales y de industria ligera de toda la Cuenca del Canal. De igual manera, se registran zonas de cambios en la parte occidental de la Cuenca, principalmente en las subcuencas de los ríos Cirí y Trinidad, región caracterizada por una actividad agrícola de subsistencia, al igual que en las subcuencas de los ríos Hules, Tinajones y Caño Quebrado.

Algunos parches de cambios también se presentan a lo largo del cordón de vegetación boscosa en las márgenes occidentales del cauce del Canal, donde se produjeron, a finales de los años 90, actividades de reconversión de tierras cubiertas por paja canalera.

Al analizar las regiones que no presentaron mayores cambios, se observa que el mayor porcentaje se localiza en los sectores boscosos del Alto Chagres, y en las márgenes del cauce del Canal, donde precisamente se encuentran los parques nacionales Chagres, Soberanía, Camino de Cruces, Monumento Natural de Barro Colorado, y los bosques ubicados en los antiguos campos de tiro. Estas regiones concentran cerca del 60% de toda la cobertura boscosa existente en la Cuenca del Canal, y más del 90% de los bosques maduros.

3.5 Tasa de Deforestación

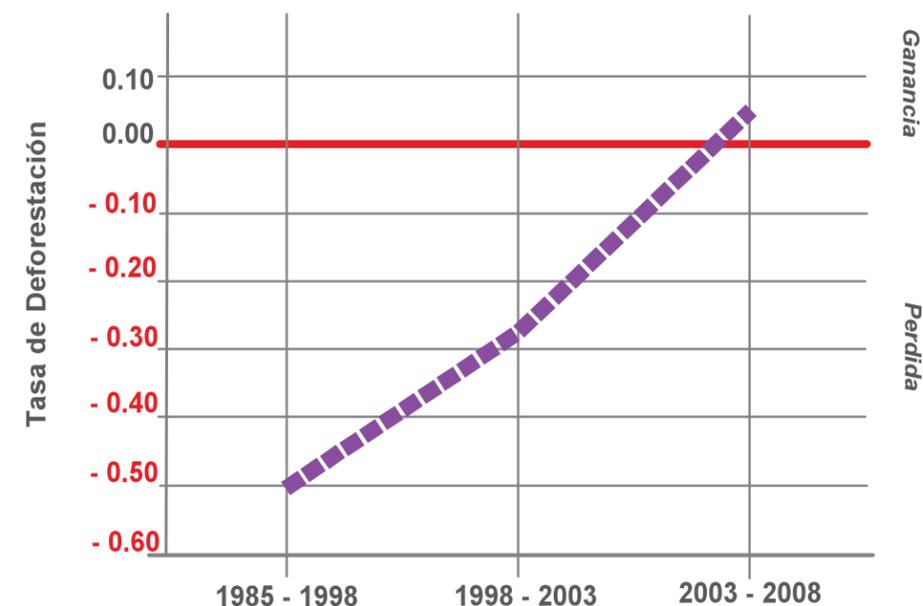
Las tasas de deforestación en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá han venido disminuyendo de manera creciente a partir del año 1985. Para el periodo 1985 – 1998 se registró una tasa de -0.50%, lo que representó una pérdida de 865.6 hectáreas por año. Algunos estudios señalan que la tasa de deforestación pudo haber llegado a -2.0% para años anteriores a 1985. De hecho, la creación del Parque Nacional Chagres y del Parque Nacional Soberanía, respondieron a la tala indiscriminada que se registró a inicios de los 80.

Cobertura vegetal y usis del suelo 2008

Cobertura	Superficie boscosa (ha.)		Cambio de la cobertura boscosa 2003-2008			
	Inicio	Final	Hectáreas	Tasa (%)	Cambio anual (ha)	Tasa anual (%)
1985-1998	172533.70	161280.60	-11253.10	-6.52	-865.62	-0.50
1998-2003	161280.60	159127.10	-2153.50	-1.34	-430.70	-0.27
2003-2008	168051.67*	168551.10	499.43	0.30	99.89	0.06

Para el periodo 1998 – 2003, se presentó una disminución importante en la deforestación. La tasa registrada fue de -0.27%, con una pérdida aproximada de 430 hectáreas de bosques por año. Es durante este periodo que se produce la reversión de las áreas canaleras al Estado panameño, así como la aparición de la Autoridad del Canal de Panamá, y el inicio de mecanismos institucionales para la protección y recuperación ambiental de la Cuenca. Además, se crean nuevas áreas protegidas, como el Parque Nacional Camino de Cruces, en 1999.

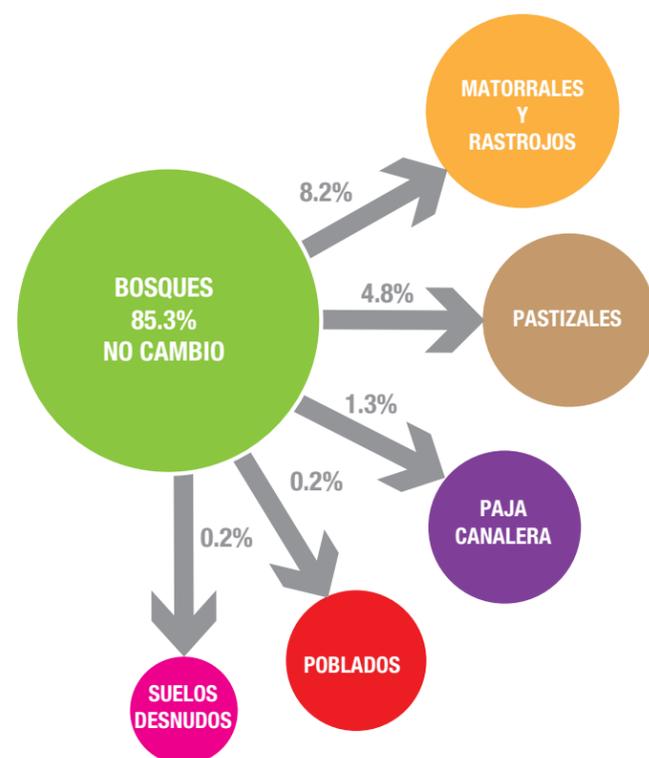
En el periodo que comprende 2003 – 2008, los niveles de deforestación, por primera vez en los años registrados, presentaron tasas de deforestación positivas. Esto se debió a que los procesos de regeneración de la vegetación fueron superiores a la tala de bosques. Por lo pequeña que fue la tasa registrada, apenas un 0.06%, la ganancia neta fue de 99.8 hectáreas de bosques por año. Una conclusión adecuada sería interpretar estos datos como el resultado de un proceso de equilibrio entre los bosques que se pierden por procesos de deforestación, y las regeneraciones naturales y actividades de reforestación que se producen.



Para todos los periodos estudiados, la pérdida de bosques se ha concentrado fundamentalmente sobre fragmentos de bosques residuales, alejados de las grandes áreas boscosas generalmente protegidas por Ley. No obstante, muchos de estos fragmentos de bosques han venido desapareciendo, y todo indica que seguirán disminuyendo a lo largo del tiempo. Las regiones donde se ha producido mayor pérdida de estos fragmentos, son las subcuencas de los ríos Cirí y Trinidad, debido, principalmente, a las actividades de roza (corte y quema), relacionadas con una agricultura de subsistencia.

Al revisar la dinámica de la cobertura boscosa, se puede observar que para el período 1986 – 2008, unas 179,194.5 hectáreas de bosques (lo que representa un 85.3% de la superficie de esta cobertura), no registraron cambios. Estos bosques que no presentaron mayores cambios se localizan, sobre todo, en áreas de las subcuencas de los ríos Chagres, Pequení y Boquerón, dentro del Parque Nacional Chagres, y también en los grandes fragmentos boscosos ubicados en las márgenes del Canal, dentro del Parque Nacional Soberanía, el Monumento Natural de Barro Colorado, los bosques existentes en los antiguos campos de tiro de Arraiján, y algunos fragmentos dentro del Parque Nacional Altos de Campana.

Más del 75% de todos los bosques que no sufrieron cambios, se encuentran dentro de alguna área protegida, lo que muestra el impacto favorable que ha tenido la creación de éstas para la conservación de los bosques existentes en la Cuenca del Canal.



Los bosques que sufrieron cambios durante este periodo suman unas 30,814.4 hectáreas, lo que representa un 14.7% de la cobertura de bosques. De esta cantidad, el 8.2% (17,196 hectáreas) pasó a ser matorrales y rastrojos, mientras que el 4.8% se convirtieron en pastizales. La transformación de bosques a matorrales y pastizales se dio, principalmente, en el tramo alto y medio de los ríos Cirí y Trinidad.

También se observaron otros cambios en la cobertura de bosques. Unas 2,692.8 hectáreas cambiaron a paja canalera, mientras que 519.3 hectáreas de antiguos bosques pasaron a ser ocupados para usos urbanos en el 2008. Estos cambios se registraron a lo largo del Corredor Transístmico, próximo a los poblados de Chilibre, Cristóbal y Buena Vista.

3.6 Programas de reforestación en la Cuenca del Canal

El Canal de Panamá emprendió acciones de reforestación en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá desde 1998. Estas acciones harían posible la recuperación y protección de la cobertura boscosa para la conservación del recurso hídrico de la Cuenca. Inicialmente se llevaron a cabo, de forma piloto, programas en áreas operativas del Canal, con el objetivo de recuperar espacios degradados por erosión. A partir de 2001 se incorporaron actividades de reforestación combinadas con agricultura en las comunidades de Capira, Alhajueta, Toabré, Río Indio, Gatuncillo, Los Hules, Tinajones, Caño Quebrado y áreas aledañas al Parque Nacional Altos de Campana, todos sectores rurales de la Cuenca. Entre 1998 y 2008 se reforestaron aproximadamente 1.000 hectáreas.

Durante estas experiencias se desarrolló una nueva metodología de recuperación ambiental altamente efectiva, donde se utilizaron especies nativas en una mezcla que reproducía la diversidad de la naturaleza, propiciando el desarrollo de la biodiversidad, la recuperación paulatina de la cobertura vegetal de las áreas intervenidas, la disminución de los procesos erosivos y el mejoramiento del escurrimiento superficial, con el control de la paja blanca (*Saccharum spontaneum*).

En la aplicación de métodos de agroforestería se contempló la restauración de la cobertura protectora en zonas circundantes a las tomas de agua de acueductos rurales o de los nacimientos de los cauces naturales de agua y a lo largo de las áreas adyacentes a ríos y quebradas, áreas de rastrojos recientes y en potreros. Ello ha proporcionado una opción productiva para las comunidades al involucrar sistemas agroforestales con el desarrollo y mantenimiento de las plantaciones forestales de especies nativas y de especies agrícolas perennes.

El conocimiento adquirido en 10 años de experiencias de reforestación en la Cuenca sirvió de base para el diseño de un programa pionero e innovador de reforestación: el Programa de Incentivos Económicos Ambientales.

El programa de incentivos económicos ambientales para la conservación y recuperación de los recursos hídricos de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá inició en 2008 para fomentar la permanencia de la cobertura boscosa existente y el uso adecuado de la tierra de acuerdo a su aptitud, en sitios de importancia estratégica en la Cuenca. El objetivo general del programa es proteger el recurso hídrico tanto para la operación del Canal de Panamá y la producción de agua potable para la población de las principales ciudades del país, como para mejorar la calidad de vida de las comunidades de la Cuenca. Para cumplir este objetivo, este programa se sustenta en tres proyectos principales:

1. La protección de la cobertura boscosa existente y el uso adecuado de la tierra de acuerdo a su aptitud para conservar la calidad y cantidad de los recursos hídricos en sitios de importancia estratégica de la Cuenca del Canal.
2. La reconversión de áreas degradadas a través de la implementación de actividades de reforestación en áreas continuas y a nivel comunitario, la agroforestería y actividades silvopastoriles.
3. La inclusión de actividades de reforestación comercial, la cual incorpora a productores de la Cuenca en esquemas de conservación a largo plazo.

El programa tiene un alcance de 20 años, cubrirá un área aproximada de veinte mil hectáreas de la Cuenca del Canal y tendrá una inversión estimada de veinte millones de balboas. Se estima, además, que el programa tendrá un impacto positivo en la captación y almacenamiento de dióxido de carbono (CO₂) por el establecimiento de los proyectos. Ello presenta la posibilidad de obtener y vender Certificados de Reducción de Emisiones de gases efecto invernadero (CER), y los recursos obtenidos servirían para financiar parte importante del programa y garantizar su sostenibilidad --reinvirtiendo los ingresos en el programa y otras actividades relacionadas que contribuyan al manejo integrado de la Cuenca del Canal. Adicionalmente, la ACP está considerando integrar otros esquemas de compensación como el programa de Reducción de Emisiones por Deforestación y Degradación de Bosques (REDD+, por sus siglas en inglés).

El programa también tendrá beneficios económicos para el Canal en tanto que se estima ayudará a conservar la capacidad de almacenaje de agua en los lagos; los esquemas planteados de incentivos económicos son considerados como una opción efectiva para procurar el mantenimiento e incremento de la cobertura boscosa, vital para reducir la sedimentación en los lagos.

Las metas del programa por cada una de las cinco modalidades a implementar en cinco años son las siguientes:

Modalidad	Hectáreas 2009	Hectáreas 2010	Hectáreas 2011	Hectáreas 2012	Hectáreas 2013	Total (has.)
Áreas continuas	185	250	50	0	0	485
Agroforestería	300*	320	400	400	400	1,820
Silvopastoril	162*	499	600	600	600	2,461
Comercial	0	609	291	100	100	1,100
Regeneración Natural	0	0	150	150	200	500
Enriquecimiento forestal	0	155	0	0	0	155
Subtotal (has.)	647	1,833	1,491	1,250	1,300	6,521

* Debido al Fenómeno de El Niño en 2009, la plantación de 462 hectáreas fue completada en el 2010.

Al finalizar el segundo año del proyecto, se reforestaron 2.295 hectáreas con lo cual se han beneficiado 388 productores de la Cuenca. En total se plantaron 387.500 plantas de café; 661 hectáreas de pasto; y 1.334.990 árboles, cifra última que sobrepasa en cinco veces el promedio anual reforestado por la ACP en los últimos 8 años.



Conclusiones

No existe una tendencia generalizada al incremento o disminución de los caudales en los ríos de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Estas conclusiones del comportamiento histórico de los caudales son excelentes para la operación presente y futura del Canal de Panamá. Para una segunda fase de estudio, recomendamos utilizar información climática y los aportes hídricos a los embalses.

El agua de la Cuenca del Canal continúa siendo de buena calidad. A pesar de las presiones antrópicas en la cuenca, se observa una estabilización en el índice de calidad de agua, lo que sugiere que las actividades de conservación y mitigación de la Autoridad del Canal de Panamá y otras agencias del Estado han podido tener un impacto positivo

De acuerdo a los datos analizados, podemos señalar que los embalses de Gatún y Alhajuela se encuentran en un estado mesotrófico, una buena característica de nuestros lagos. En estos embalses, casi todas las medias anuales de las concentraciones de *E. coli* estuvieron conformes con el valor establecido como referencia por el anteproyecto de normas de calidad ambiental para aguas naturales de la República de Panamá y por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) para aguas superficiales.

La tasa de deforestación en la cuenca del Canal de Panamá se ha reducido notablemente a través de los años a tal punto que hoy día existe un equilibrio entre la deforestación y el esfuerzo realizado en actividades de reforestación o regeneración natural de los bosques. Las políticas de estado, la gestión de las autoridades y los programas de la ACP han rendidos sus frutos.

El análisis de largo plazo permite afirmar que el agua y los bosques de la Cuenca del Canal se encuentran en buen estado.

Bibliografía

Adames, A. J., M. De La Rosa, M. Velásquez. 2001. Manejo Integral de la Cuenca del Río Bayano, subcuenca del Río Majé y áreas adyacentes al embalse. Scientia. Panamá. 79 p.

Atencio R., T. 1992. Boqueron River at Peluca, Unit Hydrograph Development. Panama Canal Commission.

Atencio R., T. 1992. Impact of Municipal Water Demands On Canal Water Availability. Panama Canal Commission.

Atencio R., T. 1993. Snyder's Synthetic Unit Hydrograph for The Boqueron Watershed. Panama Canal Commission.

Autoridad del Canal de Panamá. 2004. Diagnóstico socioambiental de la subcuenca del río Gatuncillo. Informe. Proyecto Manejo integral de cuenca y modelación de la calidad del agua de la subcuenca del río Gatuncillo. Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá. 2006. Informe de Calidad de Agua 2003-2005. Vol. I. Departamento de Seguridad y Ambiente. División de Administración Ambiental. Sección de Manejo de Cuenca. Unidad de Calidad de Agua. Panamá. 196 p.

Autoridad del Canal de Panamá. 2006. Informe de Calidad de Agua 2003-2005. Vol. II. Departamento de Seguridad y Ambiente. División de Administración Ambiental. Sección de Manejo de Cuenca. Unidad de Calidad de Agua. Panamá. 231 p.

Autoridad del Canal de Panamá. 2008. Informe de Calidad de Agua 2007. Departamento de Ambiente, Agua y Energía. División de Ambiente. Sección de Gestión Socio Ambiental. Unidad de Calidad de Agua. Panamá. 110 p. + apéndices. En: <http://www.pancanal.com/esp/cuenca/> (Internet) y <http://portalacp/sites/ea/eac/Div-Ambiente/Publicaciones.aspx> (Intranet)

Autoridad del Canal de Panamá. 2009. Índice de Calidad de Agua en la subcuenca del río Gatuncillo 2003 – junio 2009. Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá. 2002. Caracterización de la calidad del agua en seis sitios del lago Gatún, próximos a la comunidad de La Represa, La Chorrera. Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá. 2002. Índice de Integridad Biológica e Índice de Calidad de Agua. Componente Calidad de Agua. Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá. 2004. Calidad de Agua en la subcuenca del río Tinajones. Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá. 2005. Modelo de Calidad de Agua QUAL2E. Manejo integral de cuenca y modelación de la calidad del agua de la subcuenca del río Gatuncillo. Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá. 2007. Informe de resultados de las giras en la 3ra y 4ta Campaña de aforos del proyecto de Balance Hídrico (PBH) del lago Alhajuela 2007. Componente Calidad de Agua. Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá. 2008. Evaluación de la calidad del agua en once estaciones de muestreo del embalse Gatún utilizando técnicas estadísticas multivariada. Unidad de Calidad de Agua.

Autoridad del Canal de Panamá. 2009. Índice de Calidad de Agua en la subcuenca del río Gatuncillo 2003 – junio 2009. Unidad de Calidad de Agua. Departamento de Ambiente, Agua y Energía. Panamá. 74 p.

Autoridad del Canal de Panamá. 2009. Anuario Hidrológico 2009. Unidad de Hidrología Operativa. Sección de Recursos Hídricos.

Autoridad del Canal de Panamá. 2010. Informe del Programa de Sedimentos Suspendidos, Periodo 1998-2007. Unidad de Hidrología Operativa. Sección de Recursos Hídricos.

Autoridad del Canal de Panamá. 2010. Informe de Calidad de Agua 2008-2009. Unidad de Calidad de Agua. División de Agua. Departamento de Ambiente, Agua y Energía. Panamá.

Bahamonde, N. y S. Cabrera (ed.). 1984. Embalses. Fotosíntesis y productividad primaria. Programa sobre el Hombre y la Biosfera. UNESCO. Campo de Acción nº 5. Efectos ecológicos de las actividades humanas sobre el valor y los recursos de los embalses, pantanos, ríos, deltas, estuarios y zonas costeras. Curso Taller. Universidad de Chile (1983).

Bronmark, C., L. Hansson. 2005. The Biology of Lakes and Ponds. 2nd ed. Graet Clarendon Street, Oxford University Press New York.

Carlson, R.E. and J. Simpson. 1996. A Trophic State Index A Coordinator's Guide to Volunteer Lake Monitoring Methods. North American Lake Management Society. 96 p. Página Web: <http://dipin.kent.edu/tsi.htm>

Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. Limnological Research, University of Minnesota, Minneapolis.

Castillo, M. 2010. Reducción de datos de calidad de agua utilizando técnicas de estadística multivariada. Trabajo final Análisis Multivariados. Maestría en Estadística Aplicada. Universidad de Panamá. 36 p.

CEDEGÉ. 1983. Plan de Conservación Ambiental del Proyecto de Propósito Múltiple "Jaime Roldós Aguilera".

CEDEGÉ-AECI. s/a. Manejo ambiental del Embalse Daule-Peripa. Informe Técnico. Segunda edición. 259-276 p.

CEDEGÉ-CLIRSEN. 1999. Estudio de la cobertura de la vegetación acuática del espejo de agua del embalse. Cuenca aportante del embalse Daule-Peripa. Convenio CEDEGÉ-CLIRSEN. Memoria Técnica. 5 p.

Chandack-Monteza, M. N. 2001. Análisis de intensidad, duración y frecuencia; eventos máximos de lluvia anual (1972-1999), Cuenca del Canal-Región Oriental. Duración: 15, 30 y 45 minutos, 1 hora y 2 horas. Periodos de Retorno: 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años. Autoridad del Canal de Panamá.

Cuevas M., J. A. 2001. "Balance Hídrico Superficial de la Región Occidental de la Cuenca del Canal de Panamá: Cuencas del Río Indio, Coclé del Norte y Caño Sucio". Autoridad del Canal de Panamá.

Echevers C., M. 1992. Unit Hydrograph Development for Chagres River at Chico. Panama Canal Commission.

Echevers C., M. 2001. Control de inundaciones durante los días 30 y 31 de diciembre de 2000, en el Canal de Panamá. Sección de Meteorología e Hidrología. Autoridad del Canal de Panamá.

Environmental Laboratories, Inc. 2007. Lakes Monitoring Program. Web: <http://www.rmbel.info/Reports/Static/TrophicStates.aspx> Revisado: 15 de mayo de 2010.

Espinosa, J. A. 1998. Veranillo de San Juan within the Panama Canal Watershed. Meteorological and Hydrographic Branch, Panama Canal Commission, Balboa, Panama. Panama Canal Commission.

Fang-Yi C and K.P. Georgakakos. 2008. Statistical analysis of the observed and simulated hourly wind in the vicinity of the Panama Canal, Hydrologic Research Center, San Diego, California, USA.

FAO. Capítulo 4 – Los plaguicidas, en cuanto contaminantes del agua. En: <http://www.fao.org/docrep/W2598S/w2598s06.htm>

García, T. 2010. Informe del Programa de Sedimentos Suspendidos. Periodo 1998-2007, Autoridad del Canal de Panamá, Departamento de Ambiente, Agua y Energía, División de Agua, Sección de Recursos Hídricos, Unidad de Hidrología Operativa, 31 p.

Georgakakos, K.P., J.A. Sperflage, D. Tsintikidis and T. M. Carpenter. 1999. Design and Tests of an Integrated Hydrometeorological Forecast System for the Operational Estimation and Forecasting of Rainfall and Streamflow in the Mountainous Panama Canal Watershed, Hydrologic Research Center, San Diego, California, USA. Panama Canal Commission.

Georgakakos, K.P., J.A. Sperflage. 2005. Operational rainfall and flow forecasting for the Panama Canal Watershed, In *The Rio Chagres: A Multidisciplinary Profile of a Tropical Watershed*, R.S. Harmon, ed., Kluwer Academic Publishers, The Netherlands. Chapter 16: 323-334.

Goldman, C. R. Aspectos ecológicos de las presas en el trópico. *Unasyva*, nº 123. En: <http://www.fao.org/docrep/18790S/18790s01.htm>

Hart, M. S. 1992. Analysis Of Rainfall Data in The Panama Canal for The Presence of a Trend. Panama Canal Commission.

Jenkins, D. W. 1979. Estudio del impacto ambiental del proyecto de propósito múltiple Daule-Peripa del Ecuador. CEDEGÉ. Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas. 63 p.

Jianzhong, W., E. Shamir and K.P. Georgakakos. 2007. Study of extreme precipitation over the Panama Canal Watershed, Hydrologic Research Center, San Diego, California, USA.

Matteus G., N. K. 2010. Tratamiento de calidad de agua potable y aguas naturales con énfasis en análisis de plaguicidas organoclorados por GC/MS. EAA-CA y Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología (Química). Universidad de Panamá.

Mendoza B., R. E. y J. E. González. 1991. Plantas acuáticas de Panamá. Editorial Universitaria. Panamá. 224 p.

Pedraza, G. X. 1994. Reciclaje del efluente de origen animal con tres especies de plantas acuáticas. *Livestock Research for Rural Development*. Vol. 6(1). En: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrr6/1/gloria.htm> 9 p.

Pérez A., M. I. 2010. Variación espacio-temporal de las comunidades de diatomeas en dos sustratos naturales y su relación con algunos parámetros físico-químicos, en tres ríos de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Convenio de Cooperación Autoridad del Canal de Panamá – Universidad de Panamá.

Ramos R., J. G. y L. X. Escobar G. 2008. Calidad de agua y distribución de la biomasa fitoplanctónica en diferentes puntos del lago Gatún. EACG-CA y Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y Tecnología (Biología –Microbiología y Parasitología). Universidad de Panamá.

Riverside Technology, Inc. 1999. Madden Dam Release Study Report, Task 10

Soler B., A., M. I. Pérez A., E. Aguilar y I. Villarreal B. 2010. Diatomeas del Canal de Panamá: Bioindicadores y otros estudios pioneros. Convenio de Cooperación Autoridad del Canal de Panamá – Universidad de Panamá. (En edición final para publicación). 249 p.

United States Environmental Protection Agency (EPA). 1986. Quality Criteria for Water. Office of Water Regulations and Standards Washington, DC 20460.

Vargas, C. A. 1991. On The Design Of a New Spill Way for Gatun Lake (Preliminary Study). Panama Canal Commission.

Vargas, C. A. 1993. Magnitude and Frequency of Floods for Rivers in The Panama Canal Watershed. Panama Canal Commission.

Vargas, C. A. 1996. La Administración de los Recursos Hídricos: Pieza Fundamental para el Funcionamiento del Canal. Panama Canal Commission.

Von Chong, C. 1986. Manejo de la vegetación acuática en el Canal de Panamá. Revista Lotería. Nº 372: 108-121.



CANAL DE PANAMÁ