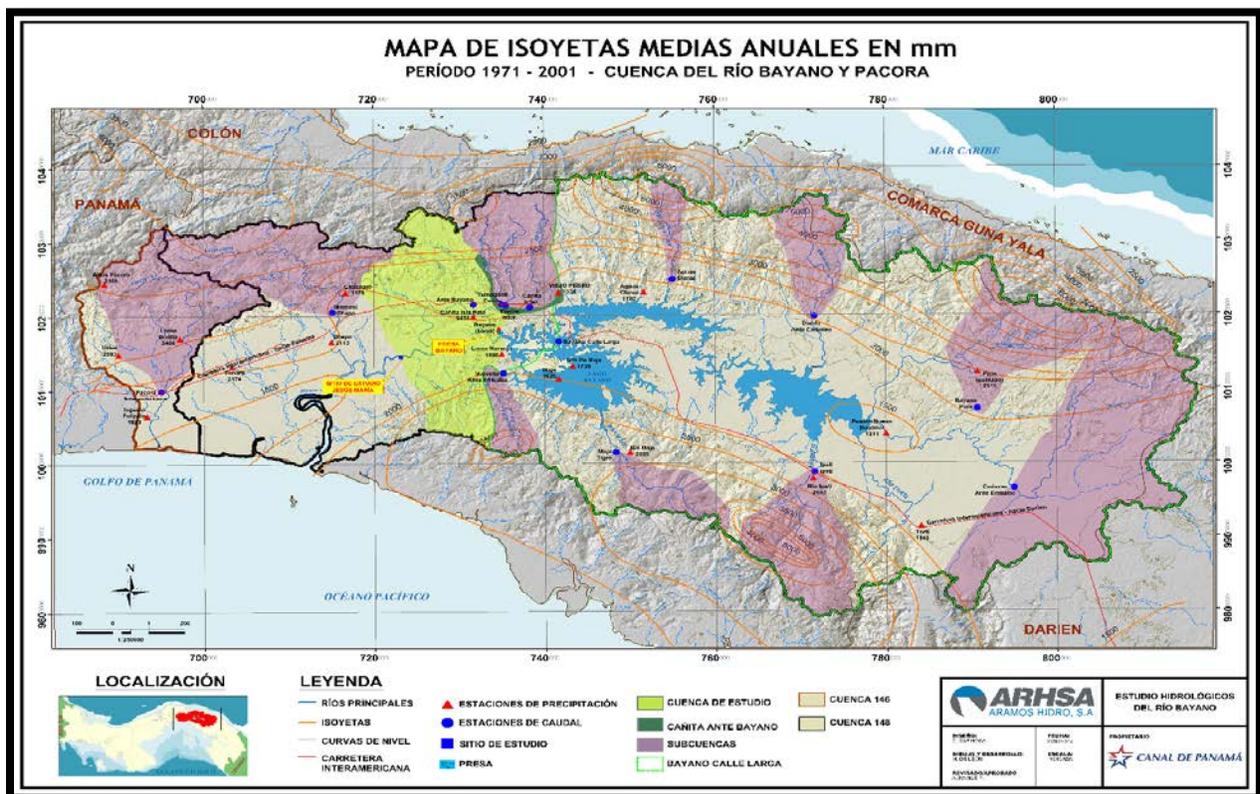




CANAL DE PANAMÁ

“Análisis de Pre-factibilidad y factibilidad para determinar el Potencial del Río Bayano para la Producción de Agua Potable para las regiones de Panamá Este y Metropolitana”
Contrato No. 025 (2016)

Estudios Hidrológicos



Río Bayano, Provincia de Panamá
Diciembre 2017

Índice

1. Introducción.....	5
2. Objetivo	6
3. Alcance.....	6
4. Antecedentes.....	7
4.1 Estudios realizados en la Cuenca No. 148.....	7
4.2 Información hidrometeorológica disponible suministrada por ETESA.....	7
4.3 Datos de caudales turbinados y vertidos de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz	11
4.4 Hallazgos de la información suministrada por ETESA.....	13
5. Descripción y características de las Cuencas Hidrográficas	15
5.1 Cuenca No. 148	15
5.2 Cuenca No. 146	15
5.3 Usos de agua	16
6. Características climatológicas y biogeográficas	16
6.1 Climatología.....	16
6.1.1 Clasificación del clima.....	17
6.2 Zonas de Vida	18
6.3 Vegetación.....	20
6.4 Temperatura mensual.....	23
6.5 Viento	23
6.6 Humedad Relativa	24
6.7 Insolación relativa	25
6.8 Evaporación.....	28
6.9 Evapotranspiración potencial (ETP)	29
6.9.1 Método Penman-Monteith	30
6.9.2 Método de Leslie Holdridge	32
6.9.3 Modelo para el cálculo de ETP presentado en el Atlas Nacional de Panamá (2007).	34
6.10 Evapotranspiración Real.....	34
7. Precipitación	35
7.1 Red Pluviométrica	35

7.2	Periodo de Análisis	37
7.3	Verificación, corrección y estimación de datos faltantes	42
7.3.1	Método de Proporción Normal	42
7.3.2	Método de Dobles Acumuladas	43
7.4	Determinación del Patrón de Precipitación Anual (PPA).....	44
7.5	Consistencia de la información	45
7.6	Variación espacial de la precipitación - Mapa de Isoyetas	49
7.7	Análisis de la distribución espacial y temporal de la precipitación	53
7.8	Distribución mensual de la precipitación.....	53
7.9	Anomalías en la Precipitación	55
8.	Caudal	59
8.1	Análisis de la Información de caudal.....	59
8.1.1	Red de estaciones de caudal	59
8.1.2	Condición de las estaciones.....	59
8.2	Análisis de calidad, relleno y extensión de registros de caudal mensual y anual.....	62
9.	Balance Hídrico Superficial	68
9.1	Análisis de los resultados	69
9.1.1	Distribución espacial y temporal del caudal.....	70
9.1.2	Caudal medio anual, diario y mensual estimado en la Subcuenca en estudio	72
9.1.3	Caudales diarios del río Bayano hasta el sitio Jesús María	79
9.1.4	Curva de duración de caudales diarios.....	81
9.1.5	Caudal ecológico.....	83
10.	Conclusiones	86
11.	Recomendaciones.....	87
12.	Bibliografía.....	88
13.	Anexos	88

Símbolo	Descripción
ACP	Autoridad del Canal de Panamá
Ami	Clima Tropical Húmedo
Awi	Clima Tropical de Sabana
w	Lluvia en la época seca
bmh-P	Bosque muy húmedo premontano
bmh-T	Bosque muy húmedo tropical
bh-T	Bosque húmedo tropical
ea	Presión del vapor saturante
ed	Presión del vapor
ETESA	Empresas de Transmisión Eléctrica, S.A.
ETP	Evapotranspiración Potencial
ETR	Evapotranspiración efectiva o real
Hr	Humedad relativa
IRHE	Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación
MIAMBIENTE	Ministerio de Ambiente de Panamá
msnm	Metros sobre nivel del mar
máx.	Máximo
mín.	Mínimo
n	Número promedio de horas del sol
N	Duración de la insolación astronómica / Insolación teórica.
n/N	Insolación relativa o razón de insolación
pma	Precipitación media anual
prom.	Promedio
P	Presión atmosférica media
PPA	Patrón de Precipitaciones Anuales
Po	Presión atmosférica media a nivel del mar
r	Coefficiente psicométrico
RA	Radiación de onda corta recibida en el límite de la atmósfera
RE	Relación de Evapotranspiración Potencial (ETP/Precipitación)
t	Temperatura
tb	Biotemperatura promedio mensual
U	Velocidad media del viento.
ZCI	Zona de Convergencia Intertropical
σT_k^4	Radiación del cuerpo negro
F	Función de Evapotranspiración (ETR/ETP)
Δ	Gradiente de la presión de vapor

UNIDADES

km	kilómetros
km ²	kilómetros cuadrados
°C	grados centígrados
m	metros
%	porcentaje
mm	milímetros
m/s	metros por segundos
mm/día	milímetros por día

1. Introducción

A pesar de que la República de Panamá, cuenta con una abundante oferta hídrica, enfrenta retos importantes para lograr que el agua esté disponible en calidad y cantidad para los diferentes usos y usuarios. En vista de lo anterior se trabajó en los lineamientos para la elaboración del Plan Nacional de Seguridad Hídrica (PNSH) 2015-2050 “Agua para todos”, propuesta consensuada con el sector público, privado y la sociedad en general, aprobado mediante la Resolución de Gabinete No. 114 de 23 de agosto de 2016. En la misma Resolución se crea el Consejo Nacional de Agua (CONAGUA) que es la entidad encargada de impulsar, orientar, coordinar y garantizar el desarrollo e implementación del PNSH, donde está representado el Estado y quien lo preside es el Ministerio de Ambiente (MIAMBIENTE).

En el PNSH se establece la estrategia de planeación a corto, mediano y largo plazo, que la República de Panamá adopta para asegurar la disponibilidad de agua para consumo humano, la seguridad alimentaria, el uso de todos los sectores económicos y la salud de los ecosistemas; como también, para prevenir los efectos del cambio climático, con el manejo más eficiente de los recursos hídricos, la protección, conservación y recuperación de las cuencas hidrográficas a través de la coordinación interinstitucional, la consulta y participación de los actores claves, el uso de nuevas tecnologías, para el desarrollo de nuevas capacidades, así como la ejecución de inversiones necesarias para desarrollar la infraestructura y los servicios requeridos para estos propósitos.

Como parte de la estrategia de implementación, en el marco del PNSH; MIAMBINETE acuerda una contratación interinstitucional con la Autoridad del Canal de Panamá (ACP) para realizar el contrato de consultoría No. 025 (2016) “Análisis de Pre-factibilidad y Factibilidad para Determinar el Potencial del Río Bayano para la Producción de Agua Potable para las Regiones de Panamá Este y Metropolitana y Alternativas para Reforzar la Capacidad Hídrica de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá” con el objetivo de identificar a la cuenca de río Bayano con potencial hídrico para aumentar y garantizar la oferta hídrica de agua potable en la región Metropolitana y Este de la ciudad de Panamá.

En virtud de lo mencionado anteriormente, se establece, en la cláusula Tercera del contrato de consultoría, que la ACP desarrollará los siguientes estudios y actividades:

1. Informe de resultados de las investigaciones del subsuelo, estudios topográficos, pruebas de laboratorio y estudios socio-ambientales.
2. Estudios hidrológicos: Potencial hídrico del río Bayano para suministro de agua a la región Panamá Este, el área Metropolitana y alternativas para reforzar la capacidad hídrica de la CHCP como fuente de agua potable.
3. Estudios de Pre-Factibilidad de las alternativas tomando en cuenta escenarios de demanda de agua potable de región de Panamá Este, el área Metropolitana y alternativas para reforzar la capacidad hídrica de la CHCP como fuente de agua potable.

4. Estudio de Factibilidad y diseño conceptual, a nivel de factibilidad, de la alternativa seleccionada.

El presente documento corresponde al desarrollo de los estudios hidrológicos que tienen la finalidad de conocer el potencial hídrico que posee la cuenca N°148 del río Bayano cumpliendo con el Producto No. 2, que tiene un plazo de entrega de 6 meses después de la orden de proceder. Los resultados obtenidos le permitirán a la ACP, gestionar proyectos de gran importancia, que permitan atender las demandas futuras para las distintas actividades socioeconómicas.

El documento presenta antecedentes de estudios realizados anteriormente en la cuenca No. 148 de río Bayano, datos y registros históricos de las estaciones hidrometeorológicas (activas e inactivas), caudales turbinados y vertidos a nivel diario y mensual suministrados por la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) – ver Anexo C y D -, caudales turbinados a nivel mensual por la Central Hidroeléctrica Ascanio Villaláz y documentos complementarios de investigación del área en estudio.

El contenido del estudio se ha desarrollado en trece (13) capítulos, los primeros cuatro (4) comprende objetivos, alcance y antecedentes donde se describen estudios anteriores realizados en la cuenca No. 148 de río Bayano. El capítulo seis (6), siete (7) y ocho (8) describe información general del área en estudio, información meteorológica y el mapa de isoyetas e información hidrológica, generada por los especialistas y el mapa de caudales específicos. En capítulo nueve (9) se presenta el análisis cuantitativo mediante el balance hídrico superficial de la cuenca N°148 del río Bayano hasta el sitio de estudio Jesús María que se encuentra ubicado aguas abajo (a 36 kilómetros) de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz.

Por último, en el capítulo diez (10) y once (11) se listan las conclusiones y recomendación, basadas en la evaluación de los documentos suministrados, los resultados obtenidos en cada sección del documento y las formuladas por los especialistas durante la realización de esta investigación.

2. Objetivo

Realizar un balance hídrico superficial, aguas abajo de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz, específicamente hasta el lugar conocido como Jesús María a 36 kilómetros medidos desde el sitio de presa sobre el río Bayano, tomando en cuenta los caudales turbinados a nivel diario y mensual de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz.

3. Alcance

La metodología utilizada para la determinación de las variables del balance hídrico superficial en la cuenca del río Pacora y la cuenca del río Bayano, considerando la disponibilidad hídrica potencial por cuenca, incluye lo siguiente:

- Análisis de información de precipitación.
- Análisis de información de caudal o escorrentía superficial.
- Análisis de información de la evapotranspiración potencial.

4. Antecedentes

El área de drenaje de la cuenca es de 5,028 Km² de superficie, hasta la desembocadura y la longitud del río principal es de 215 Km. La elevación media de la cuenca es de 150 msnm y el punto más alto se encuentra en la cadena de montañas ubicadas en la parte sur (serranía de Maje y Cañazas) en el cerro Chucantí con una elevación de 1,220 msnm.

En promedio llueve 2,465 mm al año, de las cuales el 92% ocurren en los meses lluviosos, y el restante los meses secos; el estiaje es muy marcado.

4.1 Estudios realizados en la Cuenca No. 148

Antes del análisis específico de la cuenca No. 148 de río Bayano, motivo del presente documento, se realizó un estudio de distintos informes disponibles de balances hídricos realizados anteriormente, tomados en cuenta en éste estudio.

El “Balance Hídrico Superficial de Panamá Período 1971 – 2002”¹ se elabora durante los años 2004 al 2008 para actualizar el balance realizado en el año 1992, utilizando 10 años de registro de datos hidrometeorológicos adicionales. La ejecución y coordinación de éste estudio estuvo a cargo de la Gerencia de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A., (ETESA), responsable de la red hidrometeorológica nacional y de ejecutar las actividades propias del Servicio de Meteorología e Hidrología Nacional. Para éste estudio se utilizaron datos registrados y suministrados por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP). Los productos principales del Balance Hídrico Superficial de Panamá, son los mapas de isoyetas, evapotranspiración potencial, escorrentía y temperatura. En el Anexo E se muestra el Mapa de Isoyetas Anuales (1971-2002) que sirve de referencia para compararlo con los resultados del Estudio Hidrológico del río Bayano.

4.2 Información hidrometeorológica disponible suministrada por ETESA

En el estudio de la cuenca del río Bayano se han estudiado 71 estaciones meteorológicas e hidrológicas que se muestran en la Tabla No. 1 y 2. En la Tabla No. 3 se agrupan las estaciones hidrometeorológicas clasificadas entre las activas e inactivas.

¹ Balance Hídrico Superficial de Panamá, Período 1971-2002. Gerencia de Hidrometeorología, ETESA, Panamá, 2008.

Tabla No. 1
LISTA DE ESTACIONES HIDROMETRICAS - ESTACIONES INACTIVAS

Número	Río	Lugar	Cuenca	Provincia	Tipo de Estación	Elevación m	Latitud	Longitud	Área de Drenaje	Fecha Inicio	Fecha Final
148-01-02	BAYANO	CALLE LARGA	Río Bayano	PANAMA	Cv	11	9° 10' 00"	78° 49' 00"	3612	01/05/58	01/03/76
148-01-04	BAYANO	PUEBLO NUEVO	Río Bayano	PANAMA	Mx	50	9° 05' 00"	78° 28' 00"	376	01/05/71	01/10/77
148-01-08	BAYANO	CANAL DESCARGA	Río Bayano	PANAMA	Cv	5	9° 10' 00"	78° 54' 00"	3690	01/08/83	01/09/02
148-03-01	MAJECITO	ANTE EMBALSE	Río Bayano	PANAMA	Cv	60	9° 07' 00"	78° 52' 00"	47.2	01/06/70	01/10/76
148-04-01	MAJE	ANTE EMBALSE	Río Bayano	PANAMA	Cv	60	9° 03' 00"	78° 46' 00"	180	01/07/71	01/10/76
148-04-02	MAJE	TIGRE	Río Bayano	PANAMA	Mx	80	9° 01' 00"	78° 45' 00"	136	01/03/77	17/10/02
148-08-02	CANITA	INTERAMERICANA	Río Bayano	PANAMA	Cv	10	9° 13' 00"	78° 50' 00"	68.8	01/05/72	01/12/80
148-09-01	TUMAGANTI	CANITA	Río Bayano	PANAMA	Cv	10	9° 13' 00"	78° 53' 00"	55.6	01/09/72	01/01/81
148-10-01	PIEDRA	INTERAMERICANA	Río Bayano	PANAMA	Cv	10	9° 13' 00"	78° 52' 00"	50.3	01/05/72	01/01/81
146-01-02	PACORA	INTERAMERICANA	Río Pacora	PANAMA	Cv	14	9° 06' 00"	79° 17' 00"	278	01/03/74	01/02/78

LISTA DE ESTACIONES HIDROMETRICAS - ESTACIONES ACTIVAS

Número	Río	Lugar	Cuenca	Provincia	Tipo de Estación	Elevación m	Latitud	Longitud	Área de Drenaje	Fecha Inicio	Fecha Final
148-01-05	BAYANO	SITIO DE PRESA	Río Bayano	PANAMA	At	5	9° 10' 00"	78° 53' 00"	3676	01/05/77	
148-01-06	BAYANO	LAGO BAYANO	Río Bayano	PANAMA	At	51	9° 10' 00"	78° 53' 00"	3650	01/05/76	
148-01-07	BAYANO	PIRIA	Río Bayano	PANAMA	At	65	9° 06' 00"	78° 21' 00"	225	01/07/78	
148-02-01	MAMONI	CHEPO	Río Bayano	PANAMA	At	20	9° 12' 00"	79° 04' 00"	230	01/06/57	
148-05-01	CANAZAS	ANTE EMBALSE	Río Bayano	PANAMA	At	80	8° 58' 00"	78° 17' 00"	726	01/09/69	
148-07-01	DIABLO	ANTE EMBALSE	Río Bayano	PANAMA	Mx	70	9° 12' 00"	78° 31' 00"	103	01/04/71	
148-08-01	CANITA	ANTE BAYANO	Río Bayano	PANAMA	At	6	9° 13' 00"	78° 55' 00"	202	01/04/72	
148-11-01	AGUAS CLARAS	AGUAS CLARAS	Río Bayano	PANAMA	At	64	9° 15' 00"	78° 40' 59"	72.8	01/08/77	
148-12-01	IPETI	IPETI	Río Bayano	PANAMA	At	64	8° 59' 00"	78° 30' 00"	150	01/07/77	
146-01-03	PACORA	CARRIAZO	Río Pacora	PANAMA	At	81	9° 11' 50"	79° 14' 25"	278	04/09/09	
146-01-04	PACORA		Río Pacora	PANAMA	At		9° 13' 24"	79° 15' 16"		30/05/12	

Tabla No. 2
LISTA DE ESTACIONES METEOROLOGICAS - ESTACIONES INACTIVAS

Número	Lugar	Provincia	Tipo de Estación	Elevación m	Latitud	Longitud	Fecha Inicio	Fecha Final	Operada por	Río
148-002	CANITA (ISLA DE PATO)	PANAMA	CC	200	9° 12' 00"	78° 55' 00"	01/10/62	01/05/71	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-003	MAJE	PANAMA	BC	100	9° 07' 00"	78° 49' 00"	01/02/58	01/04/74	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-005	ZANJA ESCONDIDA	PANAMA	CC	75	9° 13' 00"	78° 32' 00"	01/11/68	01/12/76	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-006	LOMA DEL NARANJO	PANAMA	BC	100	9° 09' 00"	78° 53' 00"	01/08/70	01/10/75	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-009	CANITA (PUEBLO)	PANAMA	CC	29	9° 12' 00"	78° 55' 00"	01/10/70	01/05/74	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-010	PUEBLO NUEVO(BAYANO)	PANAMA	CC	46	9° 05' 00"	78° 28' 00"	01/05/71	01/03/84	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-012	RIO IPETI	PANAMA	CC	60	8° 59' 00"	78° 31' 00"	01/12/72	01/02/01	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-013	AGUAS CLARAS	PANAMA	CC	40	9° 14' 00"	78° 43' 00"	01/07/73	01/03/00	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-014	TIGRON	PANAMA	CM	5	9° 14' 00"	78° 56' 00"	01/10/73	01/05/75	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-015	CHARARE	PANAMA	CC	100	9° 14' 00"	79° 04' 00"	01/12/74	01/03/00	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-016	TANARA	PANAMA	CC	15	9° 08' 00"	79° 12' 00"	01/05/75	01/12/98	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-017	SAN ANTONIO(PACORA)	PANAMA	CC	30	9° 05' 00"	79° 13' 00"	01/01/76	01/08/89	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-018	RIO CHICO	PANAMA	CC	7	9° 02' 00"	79° 12' 00"	01/01/76	01/12/79	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-019	BOCA DEL RIO MAMONI	PANAMA	CC	10	9° 07' 00"	79° 04' 00"	01/01/76	01/11/82	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-020	CANITA	PANAMA	BC	10	9° 13' 00"	78° 50' 00"	01/05/76	01/12/80	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-021	ISLA MAJE	PANAMA	BC	60	9° 08' 00"	78° 48' 00"	01/02/73	01/10/78	I. SMITHSONIAN	RIO BAYANO
148-022	RIO CANAZAS	PANAMA	CC	50	8° 58' 00"	78° 17' 00"	01/05/76	01/08/79	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-025	AGUAS CLARAS	PANAMA	BA	64	9° 14' 00"	78° 41' 00"	01/07/83	01/07/83	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-026	PIRIA	PANAMA	BA	65	9° 06' 00"	78° 21' 00"	01/08/83	01/03/04	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-027	PRESA	PANAMA	BA	65	9° 10' 00"	78° 53' 00"	01/02/84	01/02/84	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-028	CHICHEBRE	PANAMA	BC	10	9° 08' 00"	79° 08' 00"	01/03/81	01/12/95	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-029	VIEJO PEDRO	PANAMA	CM	10	9° 14' 00"	78° 49' 00"	01/10/90	01/10/90	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-030	ALTO MAJE	PANAMA	CC	80	8° 58' 00"	78° 42' 00"	01/08/91	31/12/95	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-031	MAJE TM	PANAMA	BA	80	9° 01' 00"	78° 45' 00"	14/03/01	14/03/01	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-032	CANAZAS TM	PANAMA	BA	80	8° 58' 00"	78° 17' 00"	11/11/96	11/11/96	E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
146-001	UTIVE	PANAMA	CC	80	9° 09' 00"	79° 20' 00"	01/12/70	01/03/00	E.T.E.S.A.	RIO PACORA
146-004	INGENIO FELIPILLO	PANAMA	BC	12	9° 04' 00"	79° 18' 00"	01/05/75	01/08/91	E.T.E.S.A.	RIO PACORA
146-005	BOCA DE PACORA	PANAMA	CC	2	9° 02' 00"	79° 17' 00"	01/01/76	01/07/86	E.T.E.S.A.	RIO PACORA
146-006	CARRIAZO	PANAMA	AA	60	9° 11' 51"	79° 14' 26"	01/06/09	01/06/09	E.T.E.S.A.	RIO PACORA

LISTA DE ESTACIONES METEOROLOGICAS - ESTACIONES ACTIVAS

Número	Lugar	Provincia	Tipo de Estación	Elevación m	Latitud	Longitud	Fecha Inicio	Fecha Final	Operada por	Río
148-001	CHEPO	PANAMA	CM	30	9° 10' 00"	79° 05' 00"	01/05/55		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-004	PIRIA (POBLADO)	PANAMA	CM	80	9° 07' 26"	78° 19' 31"	01/02/63		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-008	RIO MAJE	PANAMA	CC	70	9° 01' 00"	78° 44' 00"	01/12/70		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-011	BAYANO CAMPAMENTO	PANAMA	CA	70	9° 11' 00"	78° 53' 12"	01/09/71		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-023	TORTI	PANAMA	AA	100	8° 54' 57"	78° 23' 33"	01/08/77		E.T.E.S.A.-M.I.D.A.	RIO BAYANO
148-024	RIO DIABLO	PANAMA	BA	120	9° 13' 12"	78° 30' 35"	01/11/83		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-033	EL LLANO CARTI	PANAMA	CA	423	9° 18' 30"	78° 59' 13"	05/06/09		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-035	CHARCO RICO	PANAMA	CA	260	8° 50' 52"	78° 31' 29"	01/07/10		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-036	IPETI	PANAMA	CC	67	8° 58' 36"	78° 30' 20"	02/01/10		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-038	PIGANDI	PANAMA	AA	100	8° 57' 28"	78° 08' 12"	31/10/10		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-039	RIO INDIO MAJE	PANAMA	AA	200	8° 58' 11"	78° 41' 49"	24/09/10		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-040	AMBROYA	PANAMA	CA	163	8° 55' 52"	78° 33' 55"	08/06/12		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-041	AGUAS CLARAS 2	PANAMA	CA	110	9° 15' 36"	78° 41' 00"	21/09/11		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-036	IPETI	PANAMA	CC	67	8° 58' 36"	78° 30' 20"	02/01/10		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-047	BAYANO SP	PANAMA	CA	27	9° 10' 15"	78° 53' 25"			E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-048	CHEPO 2	PANAMA	CA	26	9° 10' 12"	79° 06' 17"			E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
148-049	EL NARANJAL	PANAMA	AA	25	9° 07' 44"	79° 13' 47"	02/09/16		E.T.E.S.A.	RIO BAYANO
146-002	LOMA BONITA	PANAMA	CC	100	9° 10' 17"	79° 15' 40"	01/12/74		E.T.E.S.A.	RIO PACORA
146-003	ALTOS DE PACORA	PANAMA	CC	850	9° 14' 44"	79° 20' 59"	01/12/74		E.T.E.S.A.	RIO PACORA
146-007	LA CHAPA	PANAMA	CA	254	9° 15' 00"	79° 13' 59"	01/09/09		E.T.E.S.A.	RIO PACORA

Tabla No. 3						
Cantidades de las estaciones hidrometeorológicas						
ESTACIÓN	Estaciones Hidrológicas			Estaciones Meteorológicas		
	Activas	Inactivas	Total	Activas	Inactivas	Total
Río Bayano	9	9	18	17	26	43
Río Pacora	2	1	3	3	4	7
Total			21			50

En la Tabla No. 4 se presentan las estaciones meteorológicas que se encuentran activas en la cuenca de estudio, mientras que en la Tabla No. 5 se presentan las estaciones hidrométricas que se encuentran activas en la cuenca de estudio.

Tabla No. 4		
Estaciones meteorológicas activas		
Número	Lugar	Afluente
148-001	CHEPO	BAYANO
148-004	PIRIA (POBLADO)	BAYANO
148-008	RIO MAJE	BAYANO
148-011	BAYANO CAMPAMENTO	BAYANO
148-023	TORTI	BAYANO
148-024	RIO DIABLO	BAYANO
148-033	EL LLANO CARTI	BAYANO
148-035	CHARCO RICO	BAYANO
148-036	IPETI	BAYANO
148-038	PIGANDI	BAYANO
148-039	RIO INDIO MAJE	BAYANO
148-040	AMBROYA	BAYANO
148-041	AGUAS CLARAS 2	BAYANO
148-036	IPETI	BAYANO
148-047	BAYANO SP	BAYANO
148-048	CHEPO 2	BAYANO
148-049	EL NARANJAL	BAYANO
146-002	LOMA BONITA	PACORA
146-003	ALTOS DE PACORA	PACORA
146-007	LA CHAPA	PACORA

Tabla No. 5 Estaciones hidrométricas activas		
Número	Lugar	Afluente
148-01-05	SITIO DE PRESA	BAYANO
148-01-06	LAGO BAYANO	BAYANO
148-01-07	PIRIA	BAYANO
148-02-01	CHEPO	MAMONI
148-05-01	ANTE EMBALSE	CANAZAS
148-07-01	ANTE EMBALSE	DIABLO
148-08-01	ANTE BAYANO	CANITA
148-11-01	AGUAS CLARAS	AGUAS CLARAS
148-12-01	IPETI	IPETI
146-01-03	CARRIAZO	PACORA
146-01-04		PACORA

Los datos crudos hidrometeorológicos se descargaron de la Plataforma Open Data de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) que se encuentran disponibles al público en la Plataforma WEB Open Data. Cabe señalar que la información descargada de la Plataforma Open Data de ETESA fue sometida a una revisión minuciosa para verificar que el periodo entre 1971-2001, considerado el periodo más apropiado para este estudio, cuenta con la mayor cantidad de información de lluvia y caudales.

4.3 Datos de caudales turbinados y vertidos de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz

La Central Hidroeléctrica Bayano está localizado aproximadamente a 80 Km al este de la Ciudad de Panamá en el Distrito de Chepo, Provincia de Panamá; construida sobre río Bayano entre los años 1972 y 1976. Su capacidad instalada inicial era de 150 MW, en la actualidad la Central tiene una capacidad total de 260 MW que incluye tres (3) unidades de la siguiente manera:

- ✓ Unidad 1: originalmente de 75 MW, rehabilitadas e incrementadas su capacidad a 87 MW, año 2002
- ✓ Unidad 2: originalmente de 75 MW, rehabilitadas e incrementadas su capacidad a 87 MW, año 2002
- ✓ Unidad 3: nueva con capacidad de 86 MW, año 2002-2003

La Central cuenta con la posibilidad de instalar una cuarta unidad adicional para obtener un total de 346 MW. La capacidad de descarga de cada unidad es de 200 m³/s, aproximadamente, cuando la cota del embalse alcanza elevación de 62 msnm.

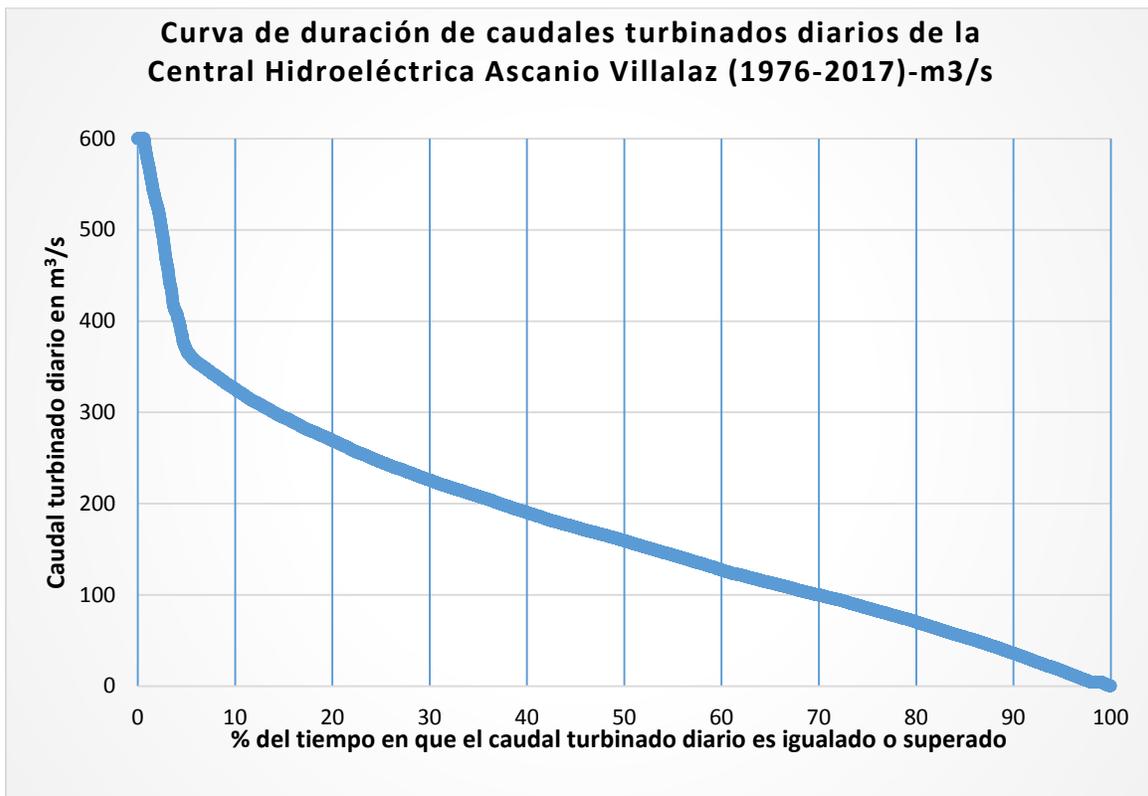
La Central está formada por las siguientes estructuras:

- Presa Bayano, Vertedor, Obras de Toma y Descarga de Fondo
- Casa de Máquinas
- Presa lateral o Dique Auxiliar Pedro Viejo

Datos significativos de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz

Descripción	Unidad	Bayano
Área de Drenaje	Km ² / millas ²	3,652/1,410
Flujo Medio Anual	m ³ /s / Mm ³ / Mgd	176.1 / 15.2 / 4019
Volumen total del Embalse	Mm ³ /MCF	5,010 / 176,960.7
Volumen útil del Embalse	Mm ³ /MCF	2,580 / 91,111
Nivel máximo de Operaciones	msnm/ pie	62.0 / 204.41
Nivel mínimo de Operaciones	msnm/ pie	53.0 / 173.88
Nivel de descarga (una unidad)	msnm/ pie	9.5 / 31.16
Caudal promedio turbinado anual	m ³ /s / cfs	156.53 / 5,519.68

Para el desarrollo del estudio se solicitaron a la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A. (ETESA) los caudales turbinados y vertidos a nivel diario y mensual que se muestran en el Anexo C y D. En el siguiente gráfico se observa la Curva Duración de los caudales turbinados de la Central. Cabe destacar que durante la revisión de los datos suministrados por ETESA se encontró que, en el año 2014, entre los meses de agosto y septiembre, se registraron aproximadamente 23 días que la Central no turbinó.



Según la Curva Duración de los caudales turbinados de la Central, la probabilidad del 95% corresponde a un caudal turbinado de 16.80 m³/s.

4.4 Hallazgos de la información suministrada por ETESA

A la información hidrometeorológica descargada de la plataforma de ETESA se verificó la veracidad de la información disponible. Se encontró un grupo importante de datos dudosos que afecta la disponibilidad de la información. Por esta razón se solicitó formalmente a ETESA caudales máximos instantáneos de las Estaciones Hidrológicas que se presentan en la Tabla No. 6 y parámetros meteorológicos mensuales de la estación Tocumen (ETESA) 144-002, periodo 1995-2013 (temperatura promedio mensual, velocidad del viento a 2 metros de la superficie, humedad relativa, radiación relativa (n/N)).

Tabla No. 6	
Listado de estaciones hidrológicas	
Estación	Periodo
Bayano, Píria	1997-2010
Mamoní, Chepo	1996 -2013
Cañazas antes del embalse	1997-2009
Diablo antes del embalse	2007-2011
Aguas Claras, Aguas Claras	1997-2011
Ipetí	1997-2010.

Para el balance hídrico superficial de la cuenta N°148 se utilizó toda la data disponible representativa a un periodo de 50 años continuos, el estudio incluye información histórica de precipitación y caudales, entre 1971 al 2001.

Entre la información utilizada para éste estudio están:

- Central Hidroeléctrica Bayano, Plan de Acción Durante Emergencia (PADE): Tránsito de crecidas por El Embalse, marzo 2009, MWH.
- Central Hidroeléctrica Bayano, Informe de inspección por seguridad por evento extraordinario, AGOSTO 2011, MWH.
- Resolución AN N°305 – Elec. “Por la cual se modifica el Anexo de la Resolución JD-6037 de 24 de abril del 2006, que contiene las Reglas de Operación del Vertedero de la Central Hidroeléctrica Bayano” 26 de septiembre de 2006
- Planificación de las Acciones Durante Emergencias (PADE), Central Hidroeléctrica Bayano, enero 2012, CEDSA.
- Modelo hidráulico del vertedor para la presa Bayano
- Estaciones de la Cuenca del Bayano Pluviométrica digital (Carti (1984-1999), Chepo (1955-2016), Píria Poblado (1963-2016), Bayano Campamento (1971-2001), Est. CC Tipo C convencional Charare (1975-2000), Altos de Pacora (1975-2002), Est. AA -Altos de Pacora Satelital (2009-2016)

- Lluvias Totales Estaciones de la Cuenca del Bayano (Carti (1984-1999), Chepo (1955-2016), Piria Poblado (1963-2016), Bayano Campamento (1971-2001)), Est. CC Tipo C convencional Charare (1975-2000), Altos de Pacora (1975-2002))
- Caudal Máximo Mensuales de Aguas Claras
- Caudal Máximo Mensuales en Cañazas
- Caudal Máximo Mensuales Diablo hasta embalse Bayano
- Caudal Máximo Mensuales Ipetí
- Caudal Máximo Mensuales Maje Tigre
- Caudales máximos Mensuales Bayano Piria
- Caudales sólidos suspendidos – Bayano (Bayano, Maje, Tigre, Cañazas – antes del embalse, Diablo – antes del embalse, Aguas Claras – Aguas Claras, Ipetí-Ipetí).
- Caudales turbinados a nivel diario y mensual de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz
- Datos mensuales de evaporación utilizados para estimar los caudales de aporte al lago Bayano mediante balance hídrico.

Entre las dificultades detectadas durante el análisis de la información disponible se menciona lo siguiente:

- **Más del 50% de información de lluvia se tendría que estimar.**
Una vez, revisada, corregida y extendida los datos de las 20 estaciones de lluvia y caudal, hasta el 2015, se hizo una comparación del promedio interanual de la lluvia y los caudales correspondiente al periodo de estudio, 1971-2001, con los últimos 30 años, 1986-2015. En la Tabla No. 15 se pueden observar las estaciones analizadas en la Cuenca No. 146 y No. 148; igualmente en la sección 7.9 se describen con más detalle las anomalías detectadas para cada estación de lluvia analizada y se exponen en el Anexo F desde el año 1957 hasta 2015 detallando los años estimados.
- **Conviene usar para hacer el balance hídrico el periodo (1971-2001) de lluvia y caudales.**
En todas las estaciones de lluvia y caudal de la cuenca del río Bayano hasta el sitio en estudio Jesús María, la diferencia fue menor del 4.1%, lo cual indica que el periodo seleccionado 1971-2001, es representativo de la serie del registro de los últimos 30 años. Sólo las estaciones de caudales, Pacora Interamericana y Mamóní Chepo, ubicadas ambas fuera de la cuenca en estudio, mantuvo una diferencia mayor del 5% (hasta 6.8 %), que aún siguen siendo aceptables. Al momento de analizar la información, consideramos que era preferible mantener las 20 estaciones de lluvia con registro disponible, para que el estudio fuese representativo de toda la cuenca del río Bayano, además se tomó en cuenta el porcentaje de datos registrado versus los estimados. Encontramos que el periodo 1971-2001, los datos registrados eran aproximadamente el 57%, por esa razón se recomendó utilizar este periodo (ver Figura 11 y 12).

5. Descripción y características de las Cuencas Hidrográficas

5.1 Cuenca No. 148

La cuenca N°148 del río Bayano, se ubica a 80 km al este de la Ciudad de Panamá en el Distrito de Chepo, Provincia de Panamá. Se encuentra localizada en la vertiente del Pacífico, entre las coordenadas geográficas 8°49' y 9° 23' Latitud Norte y 78° 04' y 74° 17' Longitud Oeste. El área de drenaje total hasta la desembocadura al mar es de unos 4,980 km², la longitud del río principal es de 215 km, la elevación media de la cuenca es de 150 msnm y el punto más alto se encuentra en la cadena montañosa ubicada en la parte Sur (Serranía de Majé y Cañazas), en el cerro Chucantí, con una elevación máxima de 1,200 msnm².

5.2 Cuenca No. 146

La cuenca N°146 del río Pacora está adyacente a la cuenca N°148 del río Bayano, se sitúa entre las coordenadas 8° 00' y 8° 20' de latitud Norte y 79° 15' y 79° 30' de longitud Oeste. El área de drenaje total de la cuenca del río Pacora es de unos 364 km² hasta la desembocadura al mar y la longitud del río principal es de unos 48 km. La elevación media de la cuenca es de 230 msnm y el punto más alto se encuentra en el Cerro Jefe, ubicado al Este de la cuenca con una elevación máxima de 1,007 msnm.

En la Figura 1 se muestra la localización regional del sitio de estudio.

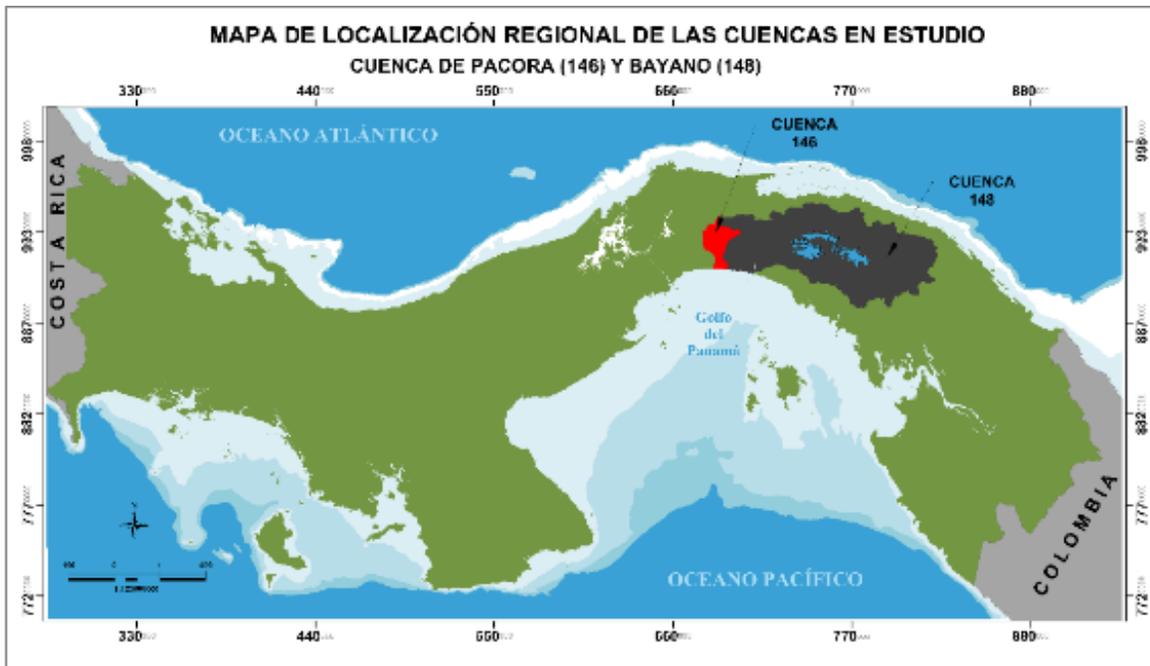


Figura 1. Ubicación regional de la cuenca N°146 y cuenca N°148.

² Catastro de Caudales mensuales y aforos esporádicos en ríos de la República de Panamá, IRHE, 1993.

5.3 Usos de agua

El principal usuario de la Cuenca 148, Río Bayano, es la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz, conocida como Bayano. La planta hidroeléctrica de Bayano está ubicada en la Provincia de Panamá, aproximadamente a unos 80 kilómetros al Este de Ciudad de Panamá, siendo construida entre 1972-1976 con una capacidad para cuatro unidades. En 1976, con la construcción de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz (Bayano), el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (hoy privatizado y manejado por la empresa AES Panamá) inicia mediciones hidrometeorológicas en la cuenca de río Bayano, a través del Departamento de Hidrometeorología (hoy día ETESA) para llevar el control del embalse.

La planta hidroeléctrica de Bayano aprovecha las aguas fluyentes del Río Bayano que alimenta un embalse de 350 kilómetros cuadrados de espejo.

Con la ampliación de la central hidroeléctrica, actualmente cuenta con una capacidad instalada de 260 Megavatios, y una potencia firme de 160 Megavatios. Con la repotenciación, el caudal por cada turbina es de 200 m³/s, y el caudal de instalación total es de 600 m³/s.

El área de drenaje de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villalaz es de 3, 612 Km², el volumen de embalse es de 27,000 millones de metros cúbicos y volumen útil es 2, 700 millones de metros cúbicos.

Otros usuarios de agua dentro de la cuenca hidrográfica de río Bayano es el Instituto de Acueductos y Alcantarillados Nacionales (IDAAN), que tiene dos plantas de tratamiento de agua potable:

1. Planta de Tratamiento del río Cañita que abastece a la población de Cañita, con un caudal de 6.133 l/s (0.14 MGD).
2. Planta de tratamiento de agua potable del río Mamoni que abastece a la población de Chepo, con un caudal de 41.183 l/s (0.94 MGD).

6. Características climatológicas y biogeográficas

6.1 Climatología

La información climática básica utilizada en este estudio fue proporcionada por la Dirección de Hidrometeorología de la Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A (ETESA). También se utilizó como referencia las descripciones climáticas generales publicadas en el Atlas Nacional de Panamá en el 2007 y 2016, y en el Castro de Caudales Mensuales y Aforos Esporádicos en ríos de la República, publicado por el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE, hoy ETESA) en 1993.

Entre los factores más importantes que determinan el clima panameño es su posición geográfica, Panamá se localiza dentro de la Zona Intertropical, además, es una franja angosta, de poca extensión territorial, orientada de Este a Oeste, entre el Océano Atlántico y el Pacífico. Las grandes masas oceánicas del Atlántico y Pacífico son las principales fuentes de humedad de

nuestra atmósfera y debido a lo angosto de la franja que separa estos Océanos, el clima panameño tiene una gran influencia marítima.

El relieve es otro de los aspectos determinantes en la definición del clima panameño, no sólo afecta el régimen térmico, produciendo la disminución de la temperatura del aire con la altura, sino que afecta la circulación atmosférica de la región, modificando el régimen de lluvia.

La climatología de Panamá también está influenciada por la migración anual de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI). Esta zona divide los vientos alisios del sureste y del noreste de los hemisferios Sur y Norte, respectivamente. La ZCI se caracteriza por una banda nubosa debido a la convergencia de dos corrientes opuestas de viento. Su presencia genera mayor cantidad de lluvia, creando la estación lluviosa. Durante su ausencia la cantidad de lluvia es menor, produciéndose entonces una pronunciada estación seca en la costa del Pacífico.

La ZCI se ubica hacia el norte o hacia el sur de la latitud 5º norte según la época del año. La ZCI se encuentra en su posición más al sur en la época seca en Panamá, es decir en los meses de enero, febrero y marzo. En los meses de junio y julio la ZCI está en su posición más al norte. El paso de la ZCI sobre el territorio panameño ocurre normalmente entre abril y mayo (desplazamiento hacia el norte); y entre octubre y noviembre (desplazamiento hacia el sur). El paso de la ZCI por Panamá produce en la vertiente del Pacífico dos máximos de precipitación que ocurren en general en mayo y octubre. Produce también dos períodos secos, uno muy pronunciado de enero hasta marzo y el otro menos severo llamado Veranillo de San Juan que ocurre en los meses de junio y julio.

De acuerdo a la ubicación de las cuencas en estudio, cuenca del Río Bayano, el clima está influenciado directamente por las condiciones que rigen en la Vertiente Pacífica, que se caracteriza, en términos generales, por registrar altas precipitaciones en la estación lluviosa y muy bajas en la estación seca, a diferencia de la vertiente Atlántica cuyo régimen de precipitación por los efectos de la actividad frontal tiene una mejor regulación estacional, reduciendo las lluvias en la estación húmeda y aumentándolas en la estación seca.

6.1.1 Clasificación del clima

El clima de la subcuenca en estudio, ubicada en la cuenca del río Bayano, entre el Sitio de Presa Bayano y el Sitio de Estudio Jesús María, según la clasificación de Köppen, se denomina Clima Tropical Húmedo (Ami, 24% de la subcuenca), con influencia debido a la estacionalidad de los vientos alisios, que se describe como sigue: Precipitación anual mayor que 2,500 mm, con 60% concentrada en los cuatro meses más lluviosos en forma consecutivas; algún mes con lluvia menor que 60 mm. Temperatura media del mes más fresco es mayor que 18 °C.

Para elevaciones menores de 500 m, se denomina Clima Tropical de Sabana (Aw), 76% de la subcuenca), es el tipo climático más seco (w) de la zona A, donde la precipitación anual promedio es mayor que 1,000 mm y estación seca prolongada, de 3 a 5 meses (meses con lluvia

menor que 60 mm); temperatura media del mes más fresco es mayor que 18 °C; diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y el mes más fresco es menor que 5 °C.

A fin de ilustrar con mayor detalle acerca del clima en el área de interés, se presenta la Figura 2 que muestra el mapa de clima en la subcuenca en estudio.

6.2 Zonas de Vida

Según la distribución de zonas de vida llevada a cabo por Holdridge en nuestro país, en la subcuenca en estudio, se presentan tres tipos: Bosque muy húmedo premontano (bmh-P) (15%), Bosque muy húmedo tropical (bmh-T) (11%), Bosque húmedo tropical (bh-T). (74%), ver Tabla No. 7 y Figura 3, en donde los límites climáticos generales son una temperatura media anual mayor a 24 °C y precipitación media anual (pma) >1500 mm.

Tabla No. 7			
Distribución de la Zona de Vida en la subcuenca en estudio			
TIPO	Nombre	Área (km²)	Porcentaje
bmh-P	Bosque muy húmedo premontano	81	15%
bmh-T	Bosque muy húmedo tropical	61	11%
bh-T	Bosque húmedo tropical	410	74%
Total		552	100%

MAPA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA SEGÚN KÖPPEN

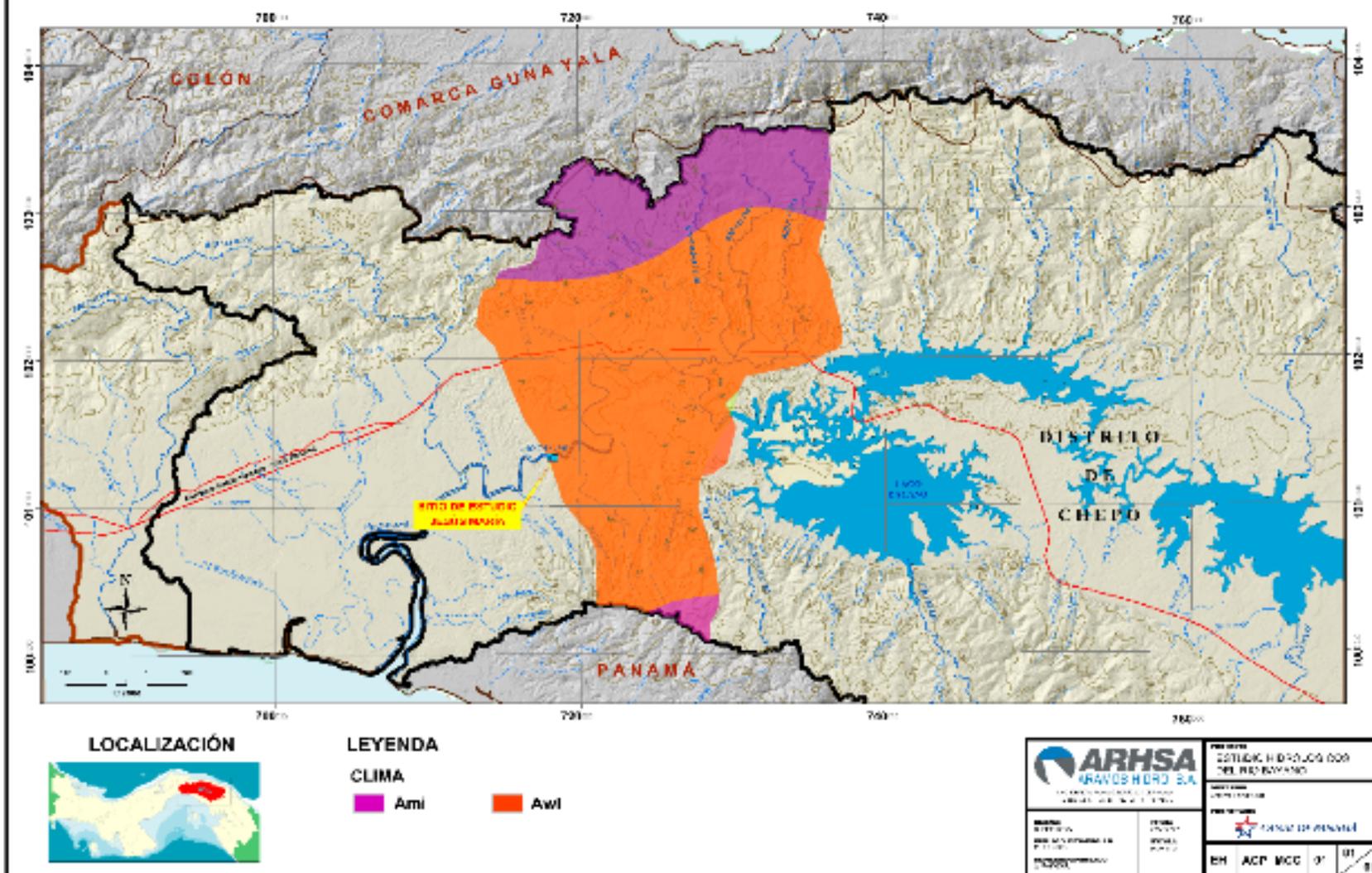


Figura 2. Clasificación climática según Köppen en la cuenca en estudio.

6.3 Vegetación

De acuerdo a la Cartografía de la Vegetación de la UNESCO, se identificaron 4 categorías de vegetación en la subcuenca en estudio y dos categorías agregadas que indican los sistemas productivos del área. Ver Tabla No. 8 y Figura 4.

Tabla No. 8		
Extensión de las clases de vegetación en la cuenca en estudio		
UNESCO	Área (km²)	Porcentaje
I.A.1.a.(1) Bosque siempre verde ombrofilo tropical latifoliado de tierras bajas.	85.26	15.45%
I.A.1.a.(1) Bosque siempre verde ombrofilo tropical latifoliado de tierras bajas – bastante intervenido.	101.62	18.41%
I.A.1.b.(1) Bosque siempre verde ombrofilo tropical latifoliado submontano (500.1000m Caribe, 700-1200 m Pacífico).	33.72	6.11%
I.A.3.a. Bosque semideciduo tropical de tierras bajas bastante intervenido.	19.32	3.50%
SP.A. Sistema productivo con vegetación leñosa natural o espontánea significativa (10-50%).	28.46	5.16%
SP.B. Sistema productivo con vegetación leños natural o espontánea significativa (<10%)	283.51	51.37%
Total	552	100.00%

Fuente: Imágenes de satélite Landsat TM; Mapa de Vegetación de Panamá (ANAM, 2000).

A continuación, se presenta la información recopilada de los diferentes parámetros meteorológicos que definen el clima, registrados en la estación Meteorológica Tocumen, Tipo A, es la estación meteorológica completa más próxima al área en estudio.

MAPA DE CLASIFICACIÓN DE ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE

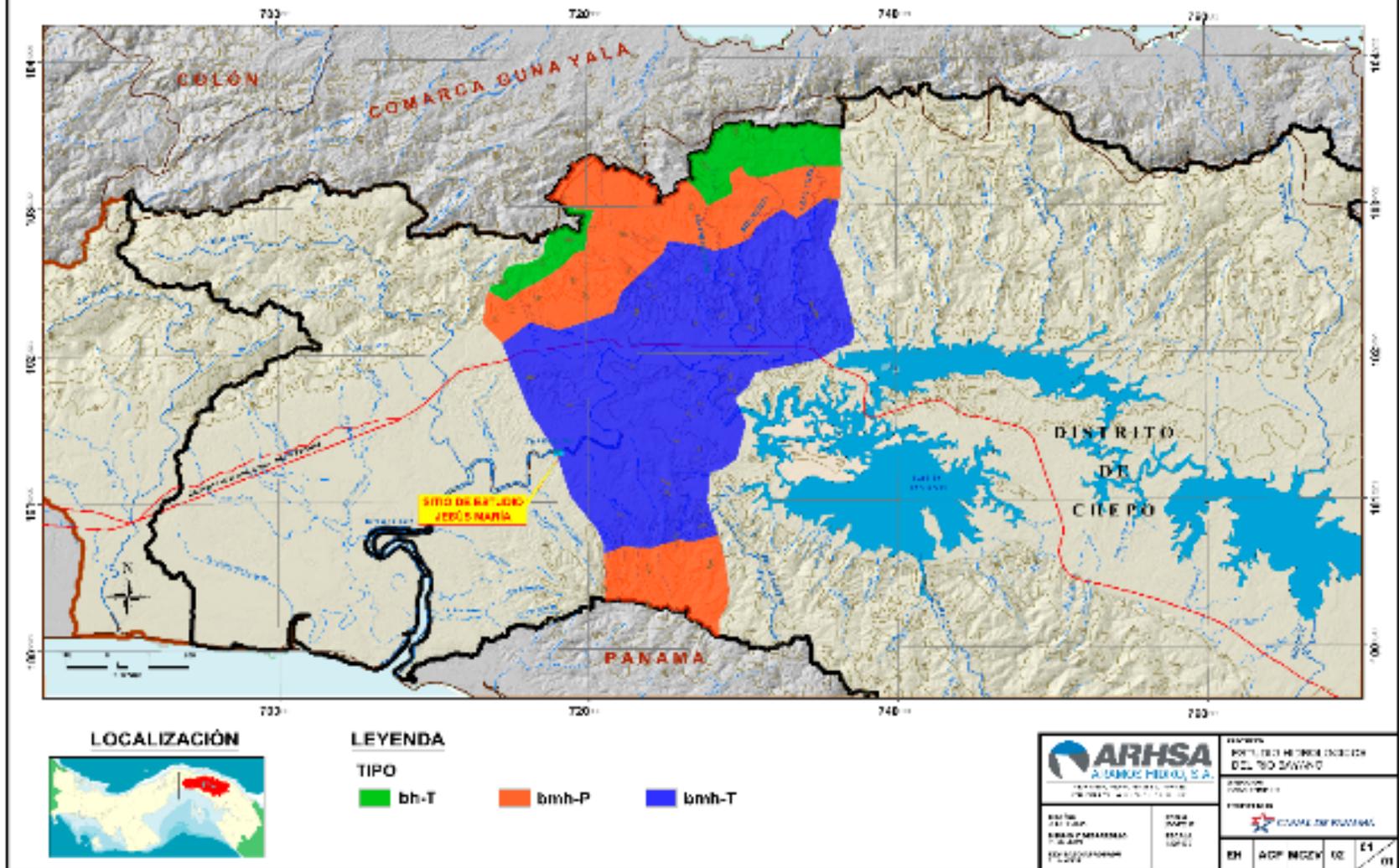


Figura 3. Zonas de Vida según Holdriddge en la subcuenca en estadio.

MAPA DE VEGETACIÓN UNESCO

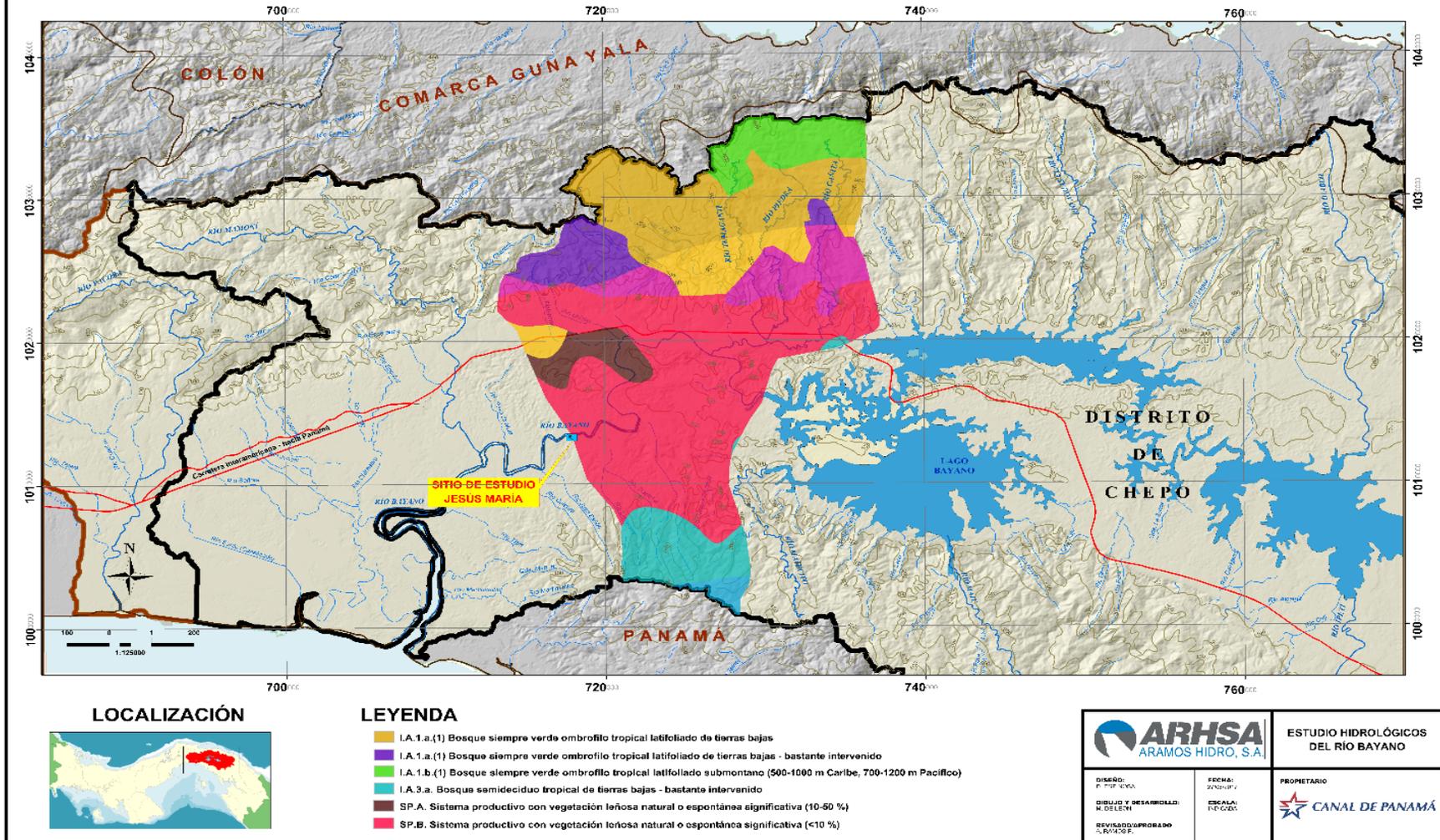


Figura 4. Extensión de las clases de vegetación en la cuenca en estudio.

6.4 Temperatura mensual

Las temperaturas en las zonas tropicales y por consiguiente en el área de estudio, se caracterizan por su baja variabilidad a lo largo del año (menor de 2º C). Sin embargo, la variación diurna es mucho mayor. En el caso particular de la estación Tocumen la variabilidad de la temperatura a lo largo del año es de 1.4ºC, es decir la diferencia de temperatura entre el mes más cálido Abril (27.8ºC) y el menos cálido octubre (26.4ºC). La variación espacial de la temperatura depende fundamentalmente de la elevación. De acuerdo a la estación Tocumen, ubicada a una elevación de 14 msnm, la temperatura media es 26.9ºC.

En la Figura 5 se muestra la variación a lo largo del año de las temperaturas promedio, máxima y mínima y se presenta un resumen mensual de los valores normales de temperaturas medias, máximas y mínimas registradas en la estación Tocumen. Se observa que en los meses más secos (febrero y marzo) la variación entre las mínimas temperaturas y las máximas, en promedio, es aproximadamente 11.8 ºC, y 7.4 ºC en el período húmedo (septiembre y octubre). El promedio de los valores normales de temperatura mínima es 22.3 ºC y de las máximas, 31.5 ºC.

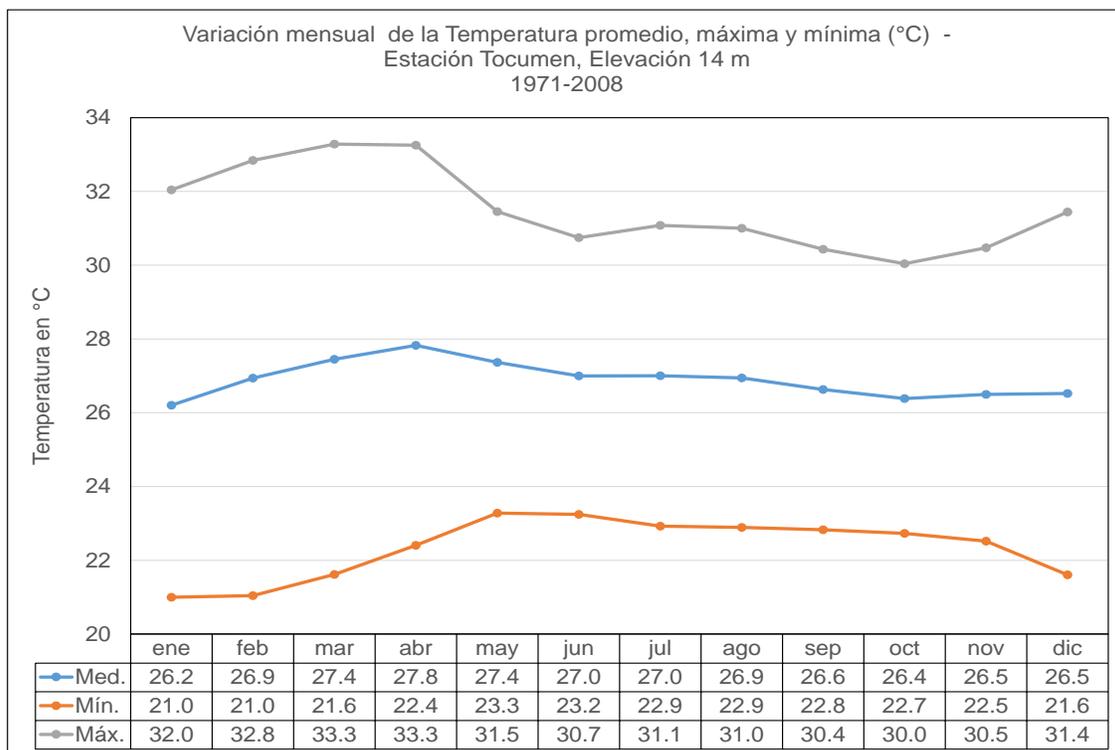


Figura 5. Variación mensual de la temperatura promedio, máxima y mínima (°C). Estación Tocumen.

6.5 Viento

En nuestro país influyen tres tipos de viento a escala sinóptica, a saber: los vientos alisios, los Oestes Sinópticos, y los Oestes Ecuatoriales. Tomando en consideración la estación meteorológica de Tocumen la más cercana al sitio del proyecto con registro de viento, de 10 a 2 metros de altura de la superficie del suelo, podemos inferir que durante el período seco (diciembre a abril) los alisios son los vientos que predominan en la región de estudio,

penetrando con dirección del Norte a una velocidad promedio de 2.4 m/s en los meses de febrero y marzo de 10 metros de altura y 1 m/s, a 2 metros del suelo.

A continuación, se muestran la velocidad del viento en los meses lluviosos de aproximadamente 1.6 m/s, a 10 metros y 0.6 m/s, a 2 metros de la superficie del suelo.

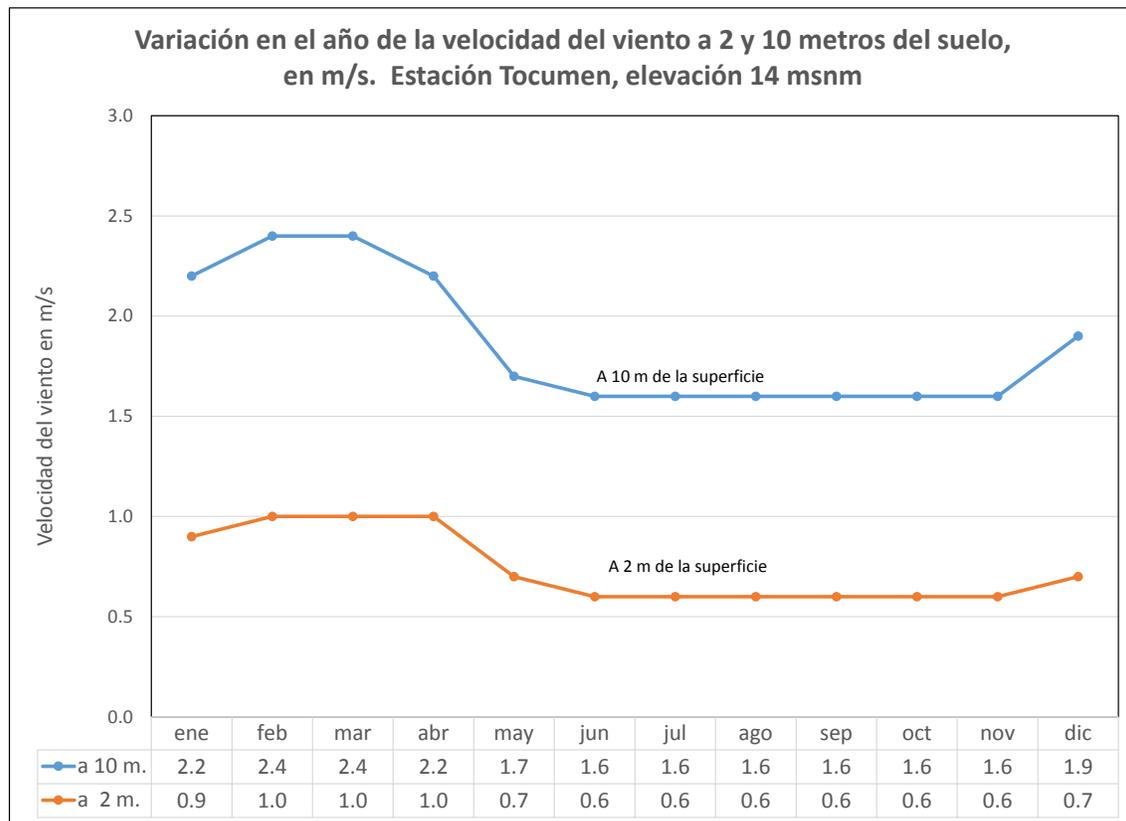


Figura 6. Variación en el año de la velocidad del viento a 2 y 10 metros del suelo m/s. Estación Tocumen.

6.6 Humedad Relativa

La humedad relativa es una forma de medir el contenido de humedad del aire, y de esta manera es útil como indicador de la evaporación, transpiración y probabilidad de lluvia convectiva. La humedad relativa varía proporcionalmente con el régimen de lluvia.

En la estación Tocumen, los meses secos registran los menores valores de humedad relativa. El promedio anual de la humedad relativa es 78.3%, de las máximas, 86.5%; y de las mínimas, 71.6%. En la Figura 7 se presentan los valores promedios mensuales de humedad relativa registrada en la estación Tocumen. Se observa que los valores mínimos de humedad relativa ocurren en la estación seca con un promedio de 69%. Al inicio de la estación lluviosa, la humedad relativa se va incrementando hasta llegar a un máximo, en octubre, de 85.7%.

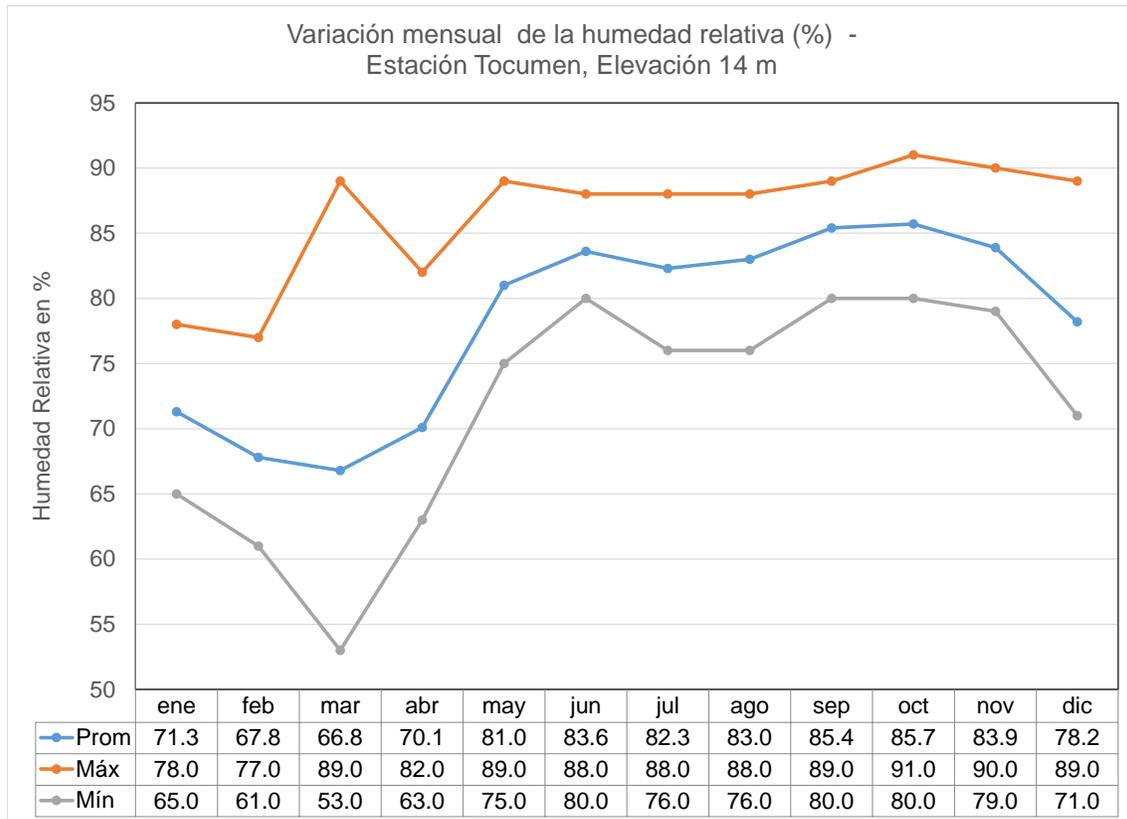


Figura 7. Variación mensual de la humedad relativa (%). Estación Tocumen.

Una vez que la estación lluviosa está establecida, la humedad relativa experimenta poca variación con valores medios mensuales entre 81.0% y 85.7%.

6.7 Insolación relativa

El proceso de la evapotranspiración está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua. La radiación solar es la más importante fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad potencial de radiación que puede llegar a una superficie evaporante viene determinada por su localización y época del año.

Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, esta cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones del año. La radiación solar real que alcanza la superficie evaporante depende de la turbidez de la atmosfera y de la presencia de nubes que reflejan y absorben cantidades importantes de radiación.

Utilizando los registros de horas de sol (n) de la estación Tocumen, se determinó el porcentaje de brillo solar en % registrada en la estación meteorológica. Las horas de brillo solar registrado por mes durante el período 1970 – 2008, se muestra en el Tabla No. 9. Se puede apreciar que (n) toma un valor máximo de 7.6 horas en el mes de enero y un valor mínimo de 3.3 horas en el

mes de abril. En la misma tabla, se muestra que la insolación real en el periodo lluvioso (junio-noviembre) es de 3.8 horas de sol diarias, mientras que en el periodo seco (enero-abril) es de 7 horas de sol diarias.

En la Figura 8 se muestra la variación del total de horas de sol en un año en la estación Tocumen desde 1971 hasta el 2007. Se puede apreciar que el número anual de horas de sol para los períodos 1971-1993 y 1994-2007 ha variado entre 1802 y 1919 horas de sol por año, siendo la más alta la correspondiente a 1997 y 2002 (Años NIÑO) y la más baja 1497, correspondiente a 1980.

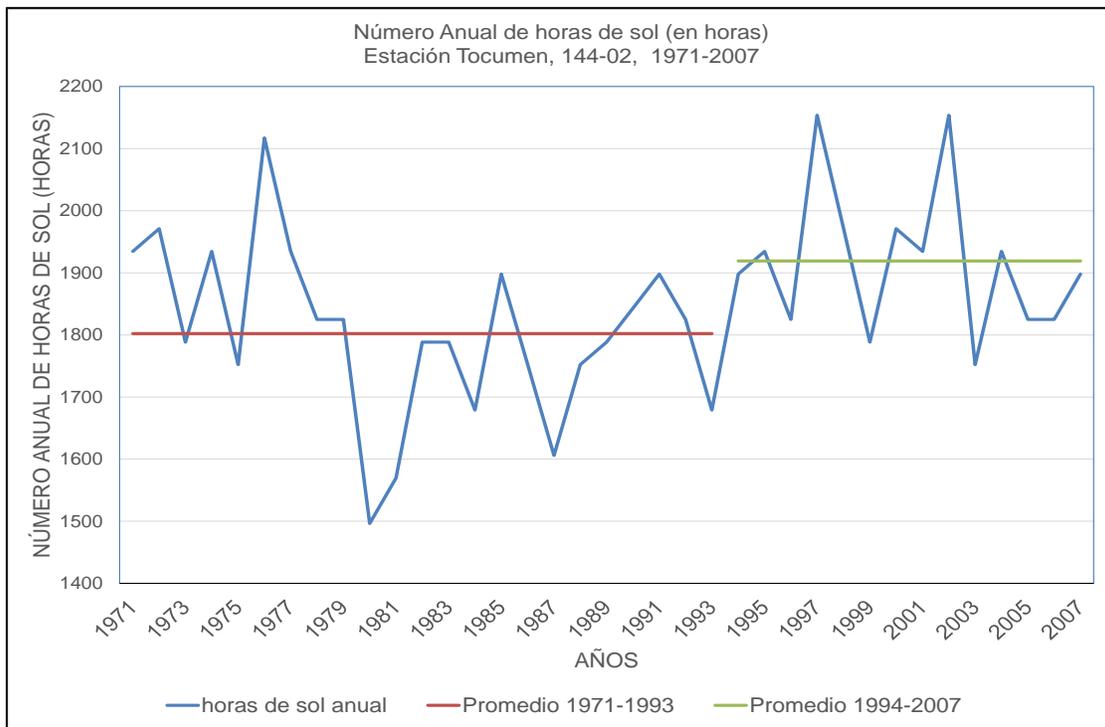


Figura 8. Variación total de horas de sol en un año variación del total de horas de sol en un año en la estación Tocumen.

Tabla No. 9
Resumen de porcentaje de brillo solar (%)

RESUMEN ANUAL DE PORCENTAJE DE BRILLO SOLAR (%)
Estación Tocumen, 144-002

Lat 09° 03'
Long 79° 22'

Elevación 14 msnm

AÑO	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	prom
1970					4.2		4.0	2.9	3.6	3.8	3.5	4.4	3.7
1971	6.4	7.5	6.5	7.6	4.0	3.3	3.5	3.6	3.9	4.3	4.9	7.9	5.3
1972	5.9	7.9	7.7	5.2	4.9	4.3	4.8	3.8	4.0	4.1	5.6	6.8	5.4
1973	7.6	8.4	5.9	6.1	4.5	2.4	3.4	3.3	3.8	3.8	2.9	6.7	4.9
1974	7.2	8.6	7.4	6.5	4.8	3.9	2.6	3.4	4.5	3.1	4.2	7.5	5.3
1975	7.1	7.2	6.3	7.2	4.7	2.9	3.8	2.8	4.0	3.5	3.8	4.8	4.8
1976	8.2	9.2	8.0	6.4	4.4	3.5	5.2	4.0	4.1	4.4	5.3	6.7	5.8
1977	7.9	7.3	5.9	6.4	4.0	3.0	5.0	3.8	4.1	4.6	5.1	6.3	5.3
1978	8.0	7.1	6.5	5.6	4.3	3.1	3.8	3.4	3.4	4.1	4.4	6.4	5.0
1979	8.8	7.5	8.5	4.3	4.0	3.6	3.3	3.7	4.2	3.5	4.1	4.7	5.0
1980	5.8	7.5	5.6	4.3	3.1	3.0	3.2	3.3	3.2	2.9	3.7	3.8	4.1
1981	6.4	5.5	6.1	4.8	4.1	2.8	4.1	3.3	4.1	3.3	4.1	3.3	4.3
1982	6.1	6.3	6.5	5.6	3.3	3.5	3.2	4.4	4.0	3.2	6.0	6.1	4.9
1983	6.9	7.1	6.2	5.9	4.5	4.0	4.3	4.3	3.6	3.8	4.6	4.0	4.9
1984	6.9	5.9	7.3	5.7	4.0	2.2	2.4	2.8	3.9	3.2	4.4	6.9	4.6
1985	8.1	7.4	6.7	7.1	4.2	2.7	3.1	3.5	5.0	3.1	5.1	6.1	5.2
1986	7.7	7.1	7.3	5.5	5.7	3.4	3.9	3.1	4.0	3.3	5.3		5.1
1987	5.8	6.7	6.0	4.5	3.8	2.1	2.1	3.7	4.2	3.2	5.1	5.9	4.4
1988	8.0	6.9	7.5	6.2	3.7	2.9	2.2	3.6	3.8	2.8	4.0	4.6	4.8
1989	8.3	6.6	7.2	6.0	3.4	3.0	3.7	4.7	4.0	4.7	4.2	4.9	4.9
1990	6.9	7.0											
1991									3.5	4.9	4.5	6.8	5.2
1992	7.7	7.7	6.1	5.0	4.9	4.4	3.4	3.5	3.3	3.4	3.7	6.8	5.0
1993	5.1	8.5	6.0	5.2	3.8	3.0	3.6	3.4	2.4	3.9	4.2	6.6	4.6
1994	8.4	8.5	6.8	6.0	4.2	3.4	4.0	3.7	4.0	4.2	4.3	7.5	5.2
1995	8.4	8.8	7.9	6.4	4.1	3.7	3.8	4.9	4.6	3.3	3.8	4.8	5.3
1996	7.1	7.5	7.2	6.3	4.2	2.8	3.2	3.8	3.8	4.8	4.1	5.7	5.0
1997	7.9	6.8	7.5	7.0	5.1	4.0	5.4	5.7	3.3	5.1	4.4	8.0	5.9
1998	8.3	7.0	7.7	6.3	4.8	3.5	3.8	4.1	5.8	3.3	5.3	4.8	5.4
1999	7.5	7.0	7.4	6.5	4.1	3.4	3.7	4.1	3.4	4.4	4.1	3.9	4.9
2000	8.2	8.6	7.4	6.2	3.6	3.4	3.5	4.4	4.0	4.2	5.9	5.2	5.4
2001	8.0	8.4	6.2	6.8	4.5	4.6	4.3	4.3	3.4	4.4	4.4	3.9	5.3
2002	7.6	8.7	8.4	7.3	5.2	4.1	4.1	3.8	4.0	3.4	5.1	7.0	5.9
2003	8.4	7.7	7.1	6.5	2.9	2.7	2.7	3.1	3.8	3.9	4.4	5.0	4.8
2004	8.1	8.7	7.7	5.8	4.0	3.1	3.0	3.6	4.8	4.3	4.7	6.9	5.3
2005	7.5	8.2	6.1	6.1	4.0	2.8	3.8	3.7	3.3	3.9	3.9	6.4	5.0
2006	6.9	7.6	7.1	5.7	3.6	3.3	3.7	4.6	4.3	4.1	4.0	5.9	5.0
2007	8.1	8.9	7.2	6.0	3.6	3.7	3.8	3.4	4.5	4.2	4.1	5.3	5.2
2008	8.3	6.9	7.2	8.1									7.5
Prom	7.5	7.6	6.9	6.0	4.2	3.3	3.7	3.7	3.9	3.8	4.5	5.8	5.1

Los valores de insolación real registrados n (promedio mensual del número diario de horas de sol registradas en la Estación Tocumen) y de la insolación teórica N (promedio mensual del número diario de horas de sol teóricas esperadas para el área de Tocumen), se establece la insolación relativa o razón de insolación, como la razón de n/N , información proporcionada por la Dirección de Hidrometeorología de ETESA. Este factor de insolación relativa se utiliza para calcular la radiación solar global que incide en el área en estudio, para determinar las pérdidas por evapotranspiración utilizando la ecuación de Penman-Monteith.

En la Figura 9, se muestra la variación anual de la razón de la insolación o insolación relativa para la estación Tocumen.

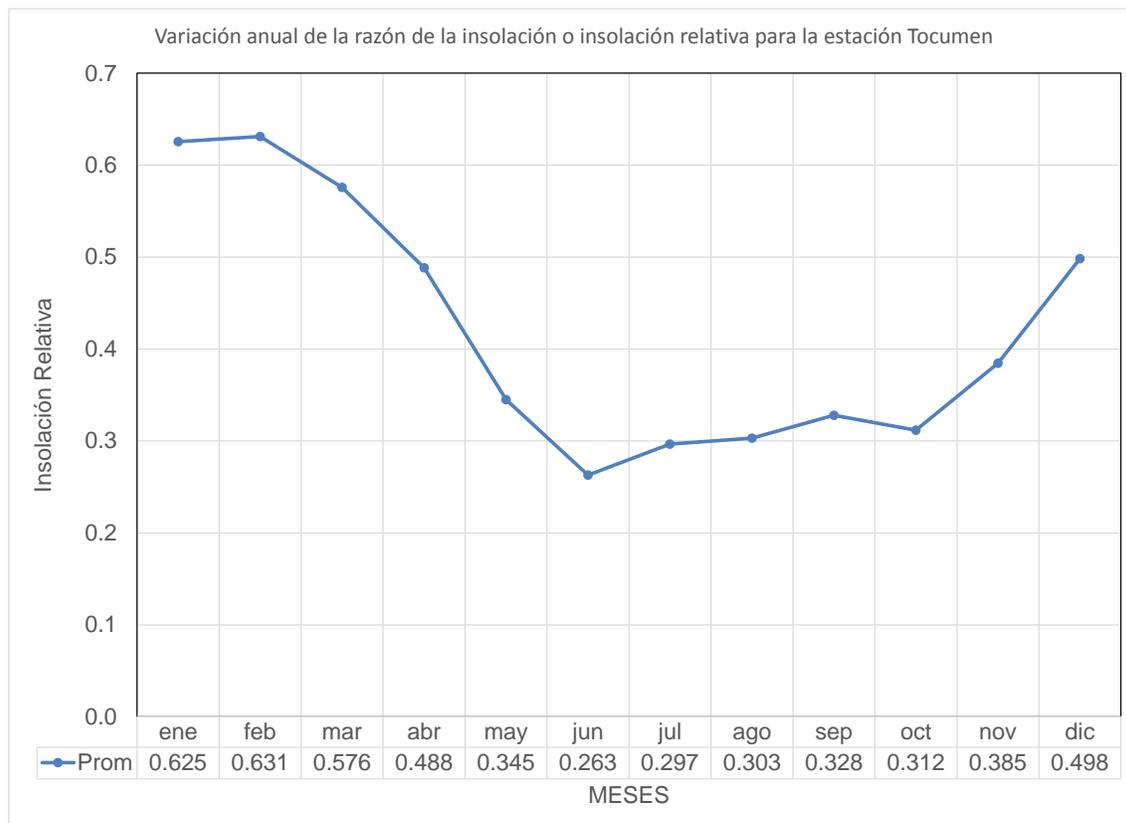


Figura 9. Variación anual de la razón de la insolación o insolación relativa para la estación Tocumen.

6.8 Evaporación

La estación meteorológica completa de Tocumen es la más próxima a la cuenca del río Bayano con registros de evaporación. Se viene recopilando información desde junio de 1970. La Dirección de Hidrometeorología utiliza tanque evaporímetro tipo A estándar.

En la Tabla No. 10 se presenta el valor mensual normal de la evaporación diaria en milímetros registrada hasta 2007 (máx., mín. y promedio) y en la Figura 10 se puede apreciar la variación a lo largo del año de la evaporación promedio máxima y mínima.

Tabla No. 10													
Evaporación promedio mensual (en mm/día)													
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Anual
Prom	5.2	6.1	6.3	5.8	4.1	3.6	3.7	3.7	3.7	3.6	3.7	4.3	4.5
Máx	6.4	7.3	7.5	7.2	6.0	4.7	4.9	4.6	4.7	4.5	5.0	6.3	7.5
Mín	3.7	4.7	4.8	4.1	3.0	2.3	2.5	2.8	2.4	2.6	2.5	2.4	2.3

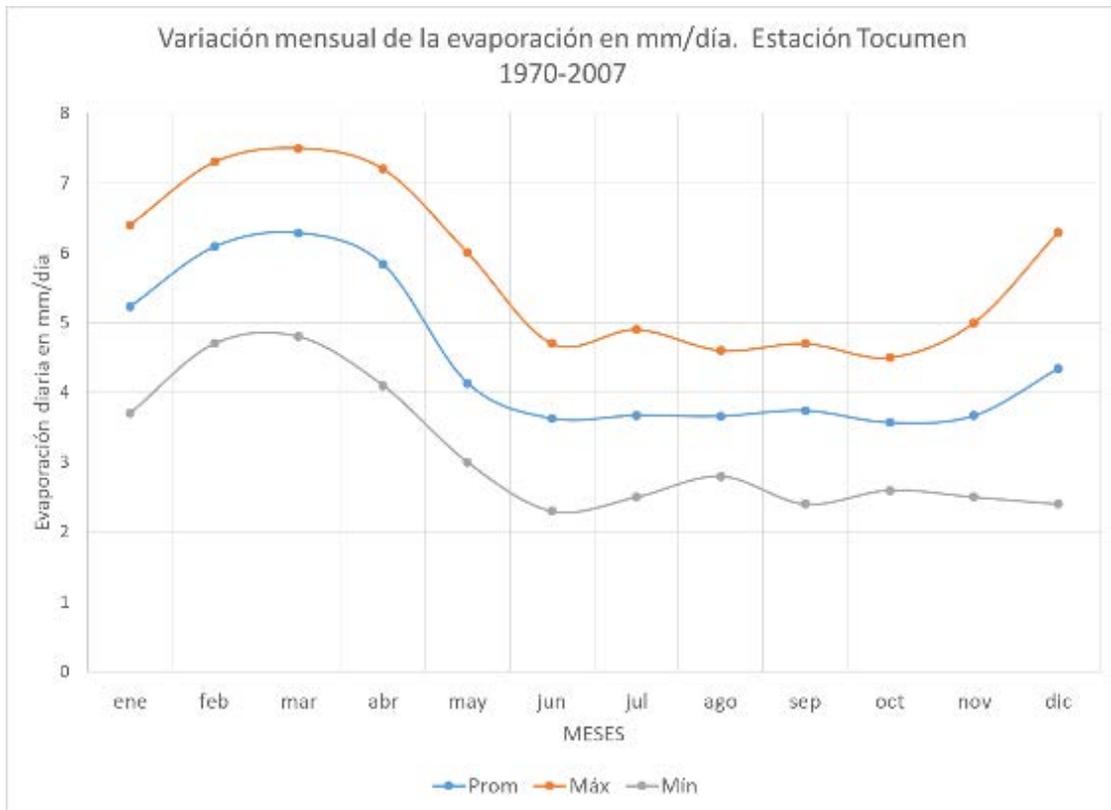


Figura 10. Variación mensual de la evaporación en mm/día. Estación Tocumen. Fuente: ACP

De acuerdo a la tabla anterior la evaporación potencial anual es aproximadamente 1642 mm que corresponde al promedio diario en el año, que es 4.5 mm, multiplicado por los 365 días del año.

6.9 Evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración es uno de los parámetros esenciales en la determinación del balance superficial, nos permite determinar la cantidad de agua que regresa a la atmósfera a través de la evaporación directa de la superficie del suelo más la transpiración de las plantas. Es el agua que precipitó pero que no va a formar parte de la disponibilidad de recursos hídricos en un área determinada. Se expresa en milímetros por unidad de tiempo. Depende de diversos factores:

de orden climático (radiación, humedad del aire, viento), relativo a las plantas (cubierta vegetal) y edáficos (tipos de suelos).

Para fines hidrológicos no es posible medir directamente este parámetro en una cuenca, por lo que Charles Thornthwaite en 1948 introduce el concepto de Evapotranspiración potencial como “la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua.”³ Según esta definición, la magnitud de la ETP está regulada solamente por las condiciones meteorológicas o climáticas, según el caso, del momento o período para el cual se realiza la estimación, por lo que es conveniente distinguir entre evapotranspiración efectiva o real (ETR) (cantidad de agua que realmente es transferida a la atmósfera) y evapotranspiración potencial (es la cantidad máxima teórica de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y saturado de agua).

Bajo estas condiciones, se han derivado varias fórmulas empíricas que permiten tener un estimado de este parámetro. En Panamá la evapotranspiración potencial oscila entre 600 mm (zona alta del país) y 1500 mm (elevaciones bajas, menores de 100 metros).

En este estudio se analizaron dos alternativas:

1. Método de Leslie Holdridge
2. Método presentado en el Atlas Nacional de Panamá del 2007, para calcular la ETP y la ETR.

Para seleccionar cuál de los dos métodos se acerca más a la realidad, se aplicó el método de Penman-Monteith en la estación meteorológica Tocumen y el resultado se comparó con los dos métodos antes señalados.

6.9.1 Método Penman-Monteith

El método semiempírico de Penman, para estimar la evapotranspiración potencial, posee una base físico-teórica y su uso requiere datos de temperatura, humedad relativa, insolación relativa y velocidad del viento a 2 metros de la superficie del suelo, otros parámetros necesarios se estiman directamente de tablas elaboradas para nuestro medio, utilizando la latitud, temperatura y elevación del sitio. Da buenos resultados en regiones húmedas y semihúmedas.

La fórmula que se utilizó para el cálculo de la ETP es la siguiente⁴:

$$ETP = \frac{\left(\left(\frac{P_o}{P} * \frac{\Delta}{r} \right) \left\{ 0.75RA \left(0.26 + \frac{0.39n}{N} \right) - \sigma TK4 \left(0.56 - 0.079\sqrt{ed} \right) \left(0.10 + \frac{0.90n}{N} \right) \right\} + 0.26(ea - ed)(1.00 + 0.54U) \right)}{\left(\frac{P_o}{P} * \frac{\Delta}{r} \right) + 1}$$

³ Salgado, 1966; Millar, 1972; Manríquez, 1971; Rovira, 1976; Merlet y Santibáñez, 1989.

⁴ Carlos A. Ortiz Solorio, Elementos de Agrometeorología Cuantitativa con aplicaciones en la república mexicana, 1984.

Donde:

ETP =	Evapotranspiración potencial en mm/día
Po =	Presión atmosférica media expresada en milibares al nivel del mar
P =	Presión atmosférica media expresada en milibares en función de la altitud de la estación
Δ =	Gradiente de la presión de vapor saturante con respecto a la temperatura, expresada en milibares por grado centígrado
r =	Coefficiente psicrométrico, para el psicrómetro con ventilación forzada = 0.66
0.75 =	Factor de reducción de la radiación total de onda corta, que corresponde a un albedo de 0.25
RA =	Radiación de onda corta recibida en el límite de la atmósfera expresada en mm de agua evaporable (1 mm = 59 calorías) o tablas de valores de Angot
n =	Duración de la insolación durante el periodo que se estudia, expresada en horas y décimas de hora
N =	Duración de la insolación astronómica
σT_k^4 =	Radiación del cuerpo negro expresada en mm de agua evaporable para la temperatura prevaleciente del aire
ea =	Presión del vapor saturante, expresada en milibares
ed =	Presión del vapor durante el periodo que se estudia, expresada en milibares
U =	Velocidad media del viento a una altura de 2 metros de la superficie, durante el periodo que se estudia y expresada en m/s

El valor de $(Po/P * \Delta/r)$ fue tabulado por Frere y Popov (1980) como una función de la temperatura media y la altura sobre el nivel del mar.

RA es la tabla de los valores de Angot. El producto de RA $(0.26 + 0.39 n/N)$ es la estimación de R_g , la radiación global. Aquí es necesario aclarar que las constantes 0.26 y 0.39 fueron derivadas para Panamá por el Departamento de Hidrometeorología del IRHE.

ea, presión del vapor saturante, se obtiene de la tabla Smithsonian obtenida en 1966, como una función de la temperatura.

ed, presión del vapor durante el periodo estudiado, es un dato que se obtiene directamente de la estación o se estima a partir de:

$$ed = Hr * ea$$

Hr =	humedad relativa, expresada en forma decimal, no en porcentaje, y
U =	velocidad del viento, que es un dato directo de la estación

Es importante hacer notar que el coeficiente de U, $0.54U$, puede modificarse en función de la diferencia entre la temperatura máxima y mínima medias, como sigue:

Tabla No. 11 Temperatura máxima y mínima mensual media		
Temperatura mínima Mensual media	Diferencia entre la temperatura máxima y Mínima mensual media	Coefficiente de U
-	$TM - Tm \leq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.54
> 5°C	$12^{\circ}\text{C} \leq TM - Tm \leq 13\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.61
> 5°C	$13^{\circ}\text{C} \leq TM - Tm \leq 14\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.68
> 5°C	$14^{\circ}\text{C} \leq TM - Tm \leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.75
> 5°C	$15^{\circ}\text{C} \leq TM - Tm \leq 16\text{ }^{\circ}\text{C}$	0.82
> 5°C	$16^{\circ}\text{C} \leq TM - Tm$	0.89

Una de las limitaciones del método de Penman es que no se cuenta con suficientes estaciones que midan los parámetros que el método requiere.

En la Tabla No. 12, se da un resumen de los parámetros que se utilizaron para calcular la evapotranspiración potencial mediante el método de Penman-Montieth en la estación Tocumen, resultando 1225 mm/año.

Tabla No. 12 Evapotranspiración Potencial en milímetro - Método de Penman												
ESTACION TOCUMEN (Elevación 14 msnm)												
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
n/N	0.63	0.63	0.58	0.49	0.35	0.26	0.30	0.30	0.33	0.31	0.38	0.50
U	0.90	1.00	1.00	1.00	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70
PoΔ/P*r	3.05	3.16	3.24	3.31	3.24	3.18	3.18	3.16	3.11	3.08	3.10	3.10
R _A	13.22	14.24	15.26	15.68	15.51	15.26	15.34	15.51	15.34	14.66	13.56	12.88
ea	33.81	35.44	36.50	37.36	36.50	35.65	35.65	35.44	34.82	34.41	34.62	34.62
ed	24.11	24.03	24.38	26.19	29.57	29.80	29.34	29.42	29.74	29.49	29.05	27.07
σTK ⁴	15.90	16.05	16.16	16.25	16.16	16.07	16.07	16.05	15.99	15.94	15.97	15.97
T°C	26.20	26.90	27.40	27.80	27.40	27.00	27.00	26.90	26.60	26.40	26.50	26.50
Hr	0.71	0.68	0.67	0.70	0.81	0.84	0.82	0.83	0.85	0.86	0.84	0.78
ETP Día	3.3	3.8	4.1	4.1	3.4	3.1	3.2	3.2	3.2	3.0	2.9	3.0
ETP Mes	103	106	127	122	106	93	100	101	96	92.5	86.9	93
ETP Anual	1225 mm											

6.9.2 Método de Leslie Holdridge

Se basa en la hipótesis de que el valor de la evapotranspiración es único en cualquier isoterma de la superficie terrestre, y que los movimientos del agua atmosférica siguen un patrón regular en áreas de climas y suelos zonales, donde se establece que el valor anual de evapotranspiración para un lugar determinado se calcula mediante la fórmula:

$$ETP = 58.93 * tb$$

ETP = evapotranspiración potencial en mm/año
 tb = biotemperatura media anual
 58.93 = constante de ETP para $tb = 1^{\circ}C$

El factor 58.93 multiplicado por la biotemperatura promedio anual en grados centígrados correspondiente a un área con un clima uniforme, un suelo zonal único y un único tipo de vegetación, determinará el valor de la evapotranspiración media anual.

La biotemperatura anual promedio es un promedio de las temperaturas en $^{\circ}C$, a las cuales tiene lugar el crecimiento vegetativo, en relación con el periodo anual. Se estima que el ámbito de las temperaturas dentro de las que ocurre el crecimiento vegetativo, está entre $0^{\circ}C$ como mínimo y $30^{\circ}C$ como máximo. Para el cálculo, deben promediarse las temperaturas entre 0 y 30 grados centígrados durante todo el periodo anual.

Como algunas veces sólo se dispone de promedios mensuales de temperatura, se ha desarrollado una fórmula empírica, que parece trabajar bien en la región subtropical, para convertir una temperatura promedio mensual en grados centígrados t , a una biotemperatura promedio mensual tb .

La fórmula es la siguiente:

$$tb = t - ((3 * \text{grados de latitud}) * (t - 24)^2) / 100$$

Nota: para temperaturas menores o iguales a $24^{\circ}C$, la biotemperatura es igual a la temperatura promedio del aire, es decir, a t .

Con los datos de temperatura media mensual y la latitud de la estación: $9.05^{\circ}N$, se calcula la evapotranspiración potencial en la estación Tocumen aplicando el Método de Holdridge, se obtiene:

Tabla No. 13													
Cálculo de la biotemperatura en la estación Tocumen													
	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic	Prom
$t^{\circ}C$	26.2	26.9	27.4	27.8	27.4	27.0	27.0	26.9	26.6	26.4	26.5	26.5	
tbio	24.9	24.6	24.3	23.9	24.3	24.6	24.6	24.6	24.8	24.8	24.8	24.8	24.6

Resultando para la estación Tocumen una evapotranspiración potencial de 1450 mm/año.

Al comparar el resultado de ETP estimado en la estación Tocumen mediante el método de Penman: 1225 mm/año con el Holdridge, 1450 mm/año, y considerando que el método de Penman es mucho más confiable, porque considera todos los parámetros meteorológicos que

influyen en la evapotranspiración, podemos inferir que Holdridge sobreestima la evapotranspiración en 18.4%, para el área en estudio.

6.9.3 Modelo para el cálculo de ETP presentado en el Atlas Nacional de Panamá (2007)
Al comparar el resultado de ETP estimado en la estación Tocumen mediante el método de Penman: 1225 mm/año con el Holdridge, 1450 mm/año, y considerando que el método de Penman es mucho más confiable, porque considera todos los parámetros meteorológicos que influyen en la evapotranspiración, podemos inferir que Holdridge sobreestima la evapotranspiración en 18.4%, para el área en estudio.

La ecuación para la vertiente del Pacífico es:

$$\mathbf{ETP = -0.29509 * ELEV + 1407.9 \text{ mm}}$$

Donde:

ELEV = es la elevación media de la cuenca.

Resultando, para la estación Tocumen, con una elevación de 14 m, una ETP de 1412 mm, muy cercana al valor estimado por el método de Holdridge.

En este estudio de Balance Hídrico en la cuenca del río Bayano, se utilizará el método presentado en el Atlas Nacional, porque solo requiere la elevación media para estimar la ETP media en cada subcuenca y la diferencia con Penman es de 15%, ese será el ajuste de reducción que se tendrá que aplicar al momento de realizar el balance hídrico en cada subcuenca.

6.10 Evapotranspiración Real

Una vez que se haya estimado la evapotranspiración potencial, a partir de ese valor y la precipitación media de la cuenca podemos tener un estimado de la evapotranspiración real. Holdridge introduce el término "Relación de evapotranspiración Potencial RE que se expresa como:

$$\mathbf{RE = \frac{ETP}{P(\text{media de la cuenca})}}$$

El cual se usa para calcular la ETR, entrando en la curva sobre "Movimientos de agua en asociaciones climáticas, rotulada por ETA, la cual representa una relación denominada Función de evapotranspiración, esto es:

$$\mathbf{F = \frac{ETR}{ETP}}$$

que es función de RE.

La función "F" (curva ETA en el diagrama), se ha representado en el papel aritmético. Se puede observar que F es aproximadamente una línea recta entre los valores de $0.45 < RE < 1.50$, con la ecuación:

$$F = 1.12 - 0.44 * RE$$

Mientras que es curva entre los valores de $0.0625 < RE < 0.45$, ajustada a un polinomio de tercer grado:

$$F = 7.46*(RE)^3 - 10.46*RE^2 + 4.63*RE + 0.273$$

$$ETR = F*ETP$$

De esta forma se obtiene un valor aproximado de la evapotranspiración real en base a la evapotranspiración potencial y a la precipitación media.

Las elevaciones medias de las subcuencas del río Bayano se calcularon utilizando el mapa topográfico 1:250,000 y mediante el método de las curvas hipsométricas.

7. Precipitación

Precipitación es el término general con que se define el agua procedente de la atmósfera que cae sobre la superficie del globo terrestre, en forma de lluvia, nieve o granizo. En los trópicos la precipitación atmosférica consiste casi en su totalidad de lluvia y constituye el elemento climático más variable de todos.

La precipitación es la única fuente de humedad que tiene el suelo y por eso conviene que su medida y cálculo se hagan con gran precisión, pues de ello depende, en gran manera, la exactitud de todos los cálculos del balance hídrico.

La mayoría de las lluvias que ocurren en el área son de origen convectivo u orográfico, y los eventos de intensas precipitaciones son originados generalmente por una combinación de estos dos tipos de precipitación.

7.1 Red Pluviométrica

El análisis e interpretación de la información de precipitación se inicia con la recopilación y revisión de los registros de lluvia de todas las estaciones disponibles en la cuenca del río Bayano y la cuenca del río Pacora, ambas cercanas a la cuenca de estudio, con el propósito de aprovechar al máximo todos los datos disponibles, para una mejor representación de la variabilidad espacial.

En la Tabla No. 8 se presenta el listado de las estaciones que forman parte de este estudio y las principales características de cada una de ellas, siendo estas: sus termino (nomenclatura), elevación, tipo, coordenadas, fecha de inicio, fecha de finalización y algunas observaciones de importancia para la presentación de esta información, con el propósito de dar a conocer los

procesos realizados durante la recopilación e interpretación para la determinación de este parámetro.

a) Resultado de la revisión de los registros de lluvia:

1. Los términos o la nomenclatura de las estaciones no siguen el orden cronológico de su instalación.
2. Los criterios utilizados en la numeración de las estaciones no se mantienen, estaciones instaladas en años anteriores tienen numeración reciente.
3. En ocho estaciones la fecha inicial coincide con la fecha final, como si se hubiese suspendido el mismo día que se instaló. En la plataforma Open Data de ETESA se presentan fechas distintas.
4. Hay casos donde las estaciones tienen el mismo nombre con diferentes nomenclaturas, el caso de Aguas Claras (3), Chepo (2), Piriá (2); Ipeti y Río Ipeti, Bayano (Campamento) y Bayano SP, tienen prácticamente las mismas coordenadas. Bayano (Campamento) aparece en el listado como vigente, sin embargo, en la plataforma tiene datos hasta el 2001. Si las estaciones están registrando en paralelo para verificar el equipo automático, se debe seleccionar uno de los dos registros y la estación debe mantener una sola nomenclatura.
5. En muchos casos el nombre de la estación según el listado no coincide con el de la plataforma Open Data de ETESA, se debe uniformar.
6. Varias estaciones que están en el listado no aparecen en la plataforma Open Data.
7. La mayoría de las estaciones que fueron instaladas después del año 2009, presentan una discontinuidad en sus registros en estos 8 años, solo dos (2) o tres (3) años de registros se encuentran completos, por lo que no se pudieron considerar en este estudio.
8. Según el listado oficial de precipitación de ETESA, cuarenta y tres (43) estaciones tienen registro disponible en la cuenca del río Bayano (N°148), de esas solo dieciséis (16) estaciones se pudieron utilizar en este estudio, y cuatro (4) de las siete (7) estaciones ubicadas en la cuenca del río Pacora (N°146). Siendo un total de veinte (20) estaciones analizadas.
9. En las estaciones de río Ipetí y Altos de Pacora se presentan valores registrados demasiado altos que requiere sean verificados.

Aprovechando la Plataforma "Open Data" lanzada por ETESA el 23 de marzo de este año, se recopiló toda la información disponible de lluvia en ambas cuencas, desde el inicio de registro de cada estación hasta el año 2015, debido a que pocas estaciones disponen del registro completo del año 2016.

De las veinte (20) estaciones de lluvia consideradas en este estudio, solo cinco (5) se mantienen vigentes de forma continua, tres (3) en la cuenca del río Bayano (Chepo, Piriá y Río Majé) y dos en la del río Pacora (Loma Bonita y Altos de Pacora).

Ante las inconsistencias detectadas por los especialistas, en los registros de la plataforma Open Data de ETESA, se coordinó una reunión el 19 de julio para aclarar cada uno de estos puntos. La reunión se llevó a cabo con representantes de la Gerencia de Hidrometeorología de ETESA. Durante la reunión se hizo hincapié en el uso de los resultados que se obtengan en este estudio, se formularon preguntas asociadas a las inconsistencias, se hicieron aclaraciones y recomendaciones. Estos puntos fueron enviados mediante nota el pasado 24 de julio a la Gerencia de Hidrometeorología para que sean verificados y se tomen los correctivos necesarios.

7.2 Periodo de Análisis

Para determinar el período de estudio del análisis de la información de todas las estaciones, se han preparado dos gráficos, el primero muestra, por año, la cantidad de datos de caudal disponibles (ver Figura 11) y el segundo, por año la cantidad de datos de precipitación disponible (ver Figura 12).

Tabla No. 14
Lista de estaciones de lluvia disponibles en las cuencas N°146 y N°148

No	Número	Estación	Tipo	Elevación m	Latitud	Longitud	Fecha inicio	Fecha final	Operada	Observaciones
1	146-001	Utivé	CC	80	9° 09'	79° 20'	01/12/1970	01/03/2000	ETESA	
2	146-002	Loma Bonita	CC	100	9° 10' 17"	79° 15' 40"	01/12/1974		ETESA	Con datos hasta abril de 2017
3	146-003	Altos de Pacora	CC	850	9° 14' 44"	79° 20' 59"	01/12/1974		ETESA	Con datos hasta abril de 2017
4	146-004	Ingenio Felipillo	BC	12	9° 04'	79° 18'	01/05/1975	01/08/1991	ETESA	
5	146-005	Boca de Pacora	CC	2	9° 02'	79° 17'	01/01/1976	01/07/1986	ETESA	
6	146-006	Carriazo	AA	60	9° 11' 51"	79° 14' 26"	01/06/2009	01/06/2009	ETESA	Fecha inicio = fecha final. No aparece esta estación en la plataforma Open Data.
7	146-007	La Chapa	CA	254	9° 15'	79° 13' 59"	01/09/2009		ETESA	No considerada. Discontinuidad en los datos, solo dos años completos.
8	148-001	Chepo	CM	30	9° 10'	79° 05'	01/05/1955		ETESA	
9	148-002	Cañita Isla de Pato	CC	200	9° 12'	78° 55'	01/10/1962	01/05/1971	ETESA	Tiene las mismas coordenadas que Cañita Pueblo Nuevo, pero con elevaciones diferentes.
10	148-003	Majé	BC	100	9° 07'	78° 49'	01/02/1958	01/04/1974	ETESA	
11	148-004	Piriá (Poblado)	CM	80	9° 07' 26"	78° 19' 31"	01/02/1963		ETESA	Registros disponibles hasta septiembre de 2016
12	148-005	Zanja Escondida	CC	75	9° 13'	78° 32'	01/11/1968	01/12/1976	ETESA	No considerada, solo tiene 2 años completos.
13	148-006	Loma del Naranjo	BC	100	9° 09'	78° 53'	01/08/1970	01/10/1975	ETESA	
14	148-008	Río Majé	CC	70	9° 01'	78° 44'	01/12/1970		ETESA	Registro de datos hasta abril de 2017
15	148-009	Cañita (Pueblo)	CC	29	9° 12'	78° 55'	01/10/1970	01/05/1974	ETESA	
16	148-010	Pueblo Nuevo (Bayano)	CC	46	9° 05'	78° 28'	01/05/1971	01/03/1984	ETESA	
17	148-011	Bayano (Campamento)	CA	70	9° 11'	78° 53' 12"	01/09/1971		ETESA	Aparece vigente, pero tiene registros de datos en la plataforma Open Data hasta 2001.
18	148-012	Río Ipetí	CC	60	8° 59'	78° 31'	01/12/1972	01/02/2001	ETESA	
19	148-013	Aguas Claras	CC	40	9° 14'	78° 43'	01/07/1973	01/03/2000	ETESA	
20	148-014	Tigrón	CM	5	9° 14'	78° 56'	01/10/1973	01/05/1975	ETESA	No considerada, solo tiene un año de registro.
21	148-015	Chararé	CC	100	9° 14'	79° 04'	01/12/1974	01/03/2000	ETESA	
22	148-016	Tanara	CC	15	9° 08'	79° 12'	01/05/1975	01/12/1998	ETESA	
23	148-017	San Antonio (Pacora)	CC	30	9° 05'	79° 13'	01/01/1976	01/08/1989	ETESA	No aparece en la plataforma Open Data.
24	148-018	Río Chico	CC	7	9° 02'	79° 12'	01/01/1976	01/12/1979	ETESA	No considerada, solo tiene un año completo.
25	148-019	Boca del Río Mamoní	CC	10	9° 07'	79° 04'	01/01/1976	01/11/1982	ETESA	No considerada, datos dudosos.
26	148-020	Cañita	BC	10	9° 13'	78° 50'	01/05/1976	01/12/1980	ETESA	No considerada, solo tiene registros de un año completo.
27	148-021	Isla de Majé	BC	60	9° 08'	78° 48'	01/02/1973	01/10/1978	-----	Operada por el Instituto Smithsonian
28	148-022	Río Cañazas	CC	50	8° 58'	78° 17'	01/05/1976	01/08/1979		No considerada, ningún año completo
29	148-023	Tortí	AA	100	8° 54' 57"	78° 23' 33"	01/08/1977		E-MIDA	Con datos hasta junio de 2017
30	148-024	Río Diablo	BA	120	9° 13' 12"	78° 30' 35"	01/11/1983		ETESA	En la plataforma, hay registros desde el 2010 hasta marzo de 2017. No considerada, solo tiene un año completo.
31	148-025	Aguas Claras	BA	64	9° 14'	78° 41'	01/07/1983	01/07/83	ETESA	Fecha de inicio igual a la final. No se encuentra en la plataforma.
32	148-026	Piriá	BA	65	9° 06'	78° 21'	01/08/1983	01/03/04	ETESA	En la plataforma inicia registro en el 2003 se interrumpe en el 2004, se reinicia en el 2014 hasta septiembre de 2016. Ningún año completo.
33	148-027	Presa	BA	65	9° 10'	78° 53'	01/02/1984	01/02/84	ETESA	Fecha de inicio igual a la final. No está en la plataforma con esa nomenclatura
34	148-028	Chichebre	BC	10	9° 08'	79° 08'	01/03/1981	01/12/95	ETESA	No está en la plataforma con esa nomenclatura
35	148-029	Viejo Pedr	CM	10	9° 14'	78° 49'	01/10/1990	01/10/90	ETESA	Fecha de inicio igual a la final. Tiene datos desde octubre del 90 y suspendida en feb 2000.
36	148-030	Alto Majé	CC	80	8° 58'	78° 42'	01/08/1991	31/12/95	ETESA	No está en la plataforma con esa nomenclatura
37	148-031	Majé TM	BA	80	9° 01'	78° 45'	14/03/2001	14/03/01	ETESA	Fecha de inicio igual a la final. No está en la plataforma con esa nomenclatura
38	148-032	Cañazas TM	BA	80	8° 58'	78° 17'	11/11/1996	11/11/96	ETESA	Fecha de inicio igual a la final. No está en la plataforma con esa nomenclatura. Existe otra estación con las mismas coordenadas.
39	148-033	El Llano Cartí	CA	423	9° 18' 30"	78° 59' 30"	05/06/2009		ETESA	Tiene registro a partir de enero de 2017, no coincide con la fecha inicial.
40	148-035	Charco Rico	CA	260	8° 50' 52"	78° 31' 29"	01/07/2010		ETESA	Datos intermitentes hasta mayo de 2017. Sólo dos años completos 2012 y 2014
41	148-036	Ipetí	CC	67	8° 58' 36"	78° 30' 20"	02/01/2010		ETESA	Datos intermitentes hasta mayo de 2017. Coordenadas muy similares a Río Ipetí.
42	148-037	Cañazas 2	CC	77	9° 02' 36"	78° 20' 29"	01/09/1969	01/09/69	ETESA	Registro desde el 2012 hasta marzo del 2015. Sólo tiene un año completo
43	148-038	Pigandí	AA	100	8° 57' 28"	78° 08' 12"	31/10/2010		ETESA	Con datos intermitentes hasta marzo de 2016. Sólo un año completo.
44	148-039	Río Indio Majé	AA	200	8° 58' 11"	78° 41' 49"	24/09/2010		ETESA	Con datos intermitentes hasta junio de 2017. Todos los años incompletos.
45	148-040	Ambroya	CA	163	8° 55' 52"	78° 33' 55"	08/06/2012		ETESA	Sólo el 2013 completo. Faltan los registros del 2015.
46	148-041	Aguas Claras 2	CA	110	9° 15' 36"	78° 41' 00"	21/09/2011		ETESA	Con datos hasta enero de 2016. Solo un año completo. Tres estaciones con el mismo nombre
47	148-042	Bayano Piriá	CA	95	9° 07' 26"	78° 23' 21"	01/01/2014		ETESA	Solo dispone de dos meses; dic2016 y enero 2017 con datos de lluvia horaria.
48	148-047	Bayano SP	CA	27	9° 10' 15"	78° 53' 25"			ETESA	Solo dispone de 5 días de registro, de septiembre de 2016.
49	148-048	Chepo 2	CA	26	9° 10' 12"	79° 06' 17"			ETESA	Dos estaciones con el mismo nombre y coordenadas muy parecidas. Datos hasta junio 2017
50	148-049	El Naranjal	AA	25	9° 07' 44"	79° 13' 47"	02/09/2016		ETESA	Datos hasta junio de 2017.

NOTA:

AC Estación Tipo A Convencional

BC Estación tipo B Convencional

BM Estación tipo B Mixta

AM Estación tipo A Mixta

BA Estación tipo B Automática

CA Estación tipo C Automática

CM Estación tipo C Mixta

CC Estación tipo C Convencional

AA Estación tipo A Automática

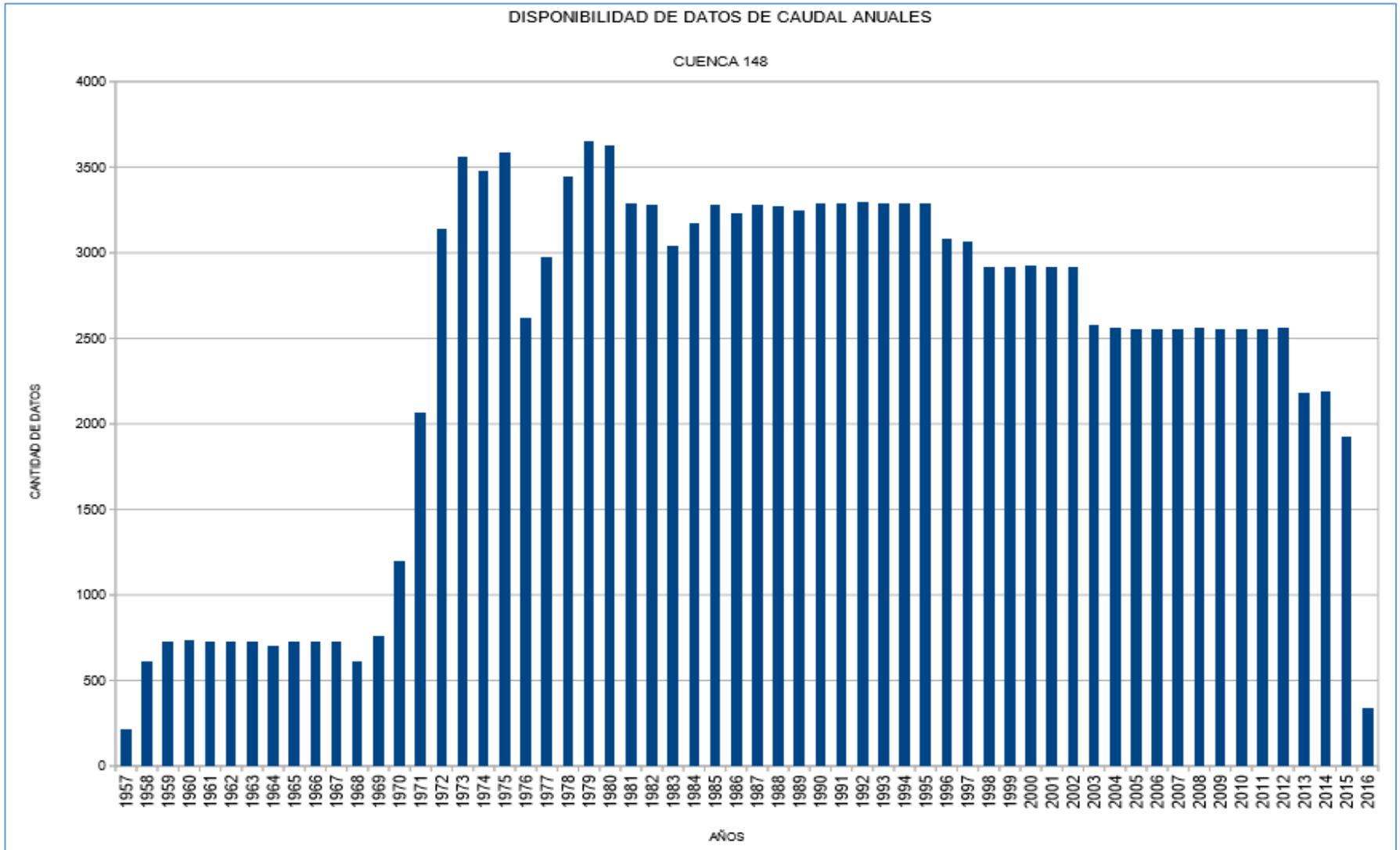


Figura 11. Disponibilidad de datos de caudales por año

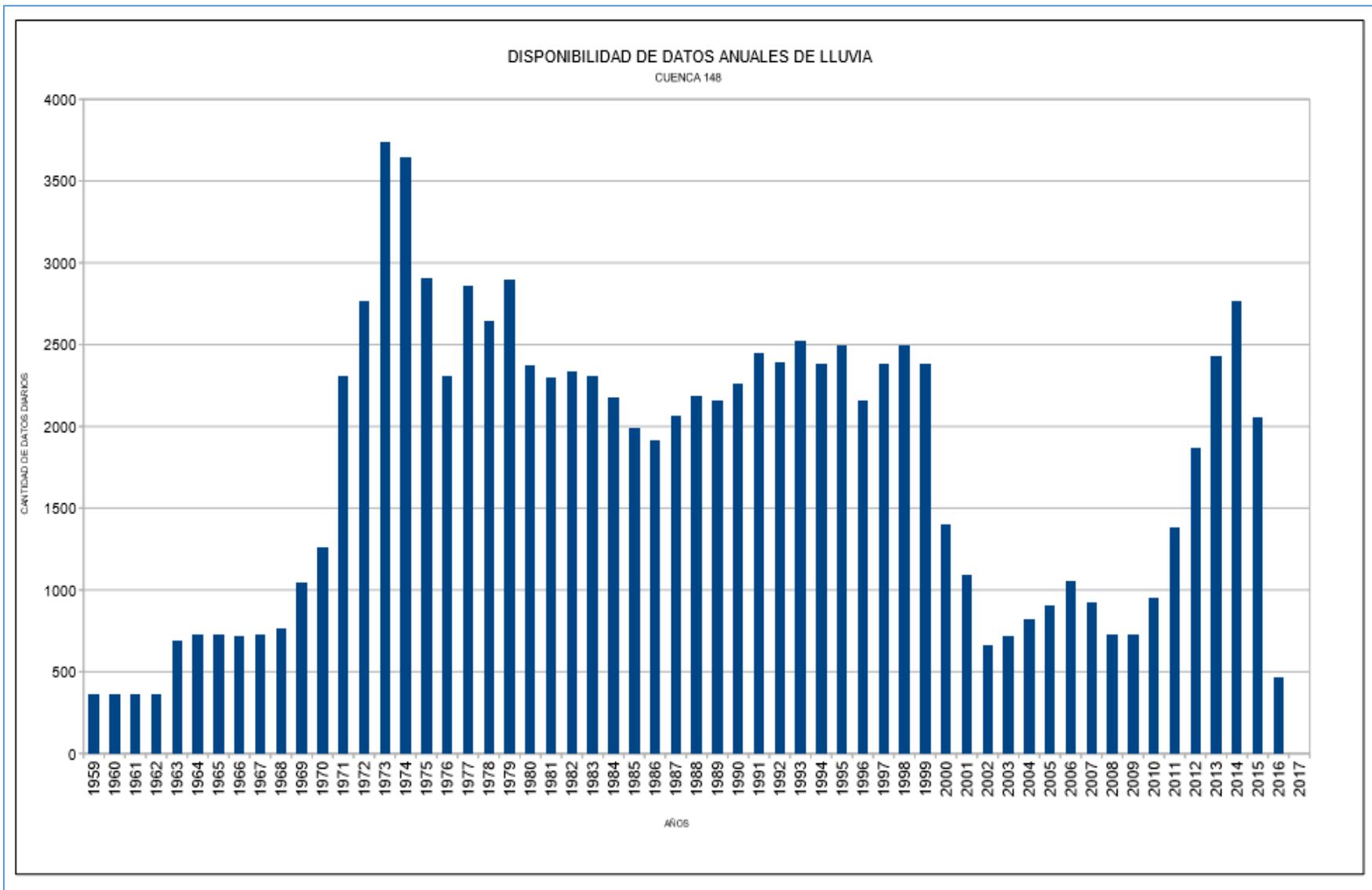


Figura 12. Disponibilidad de datos de lluvia, por año

En ambas graficas se observa que el periodo con mayor cantidad de registros es entre los años 1971-2001. De las veinte (20) estaciones de lluvia consideradas en el estudio, el 57% de los datos son registrados y el 43% fueron estimados. En el 2000 se eliminó un gran número de estaciones de lluvia, eso también se puede ver en el listado de las estaciones, en la columna de fecha final.

Para verificar si ese periodo es representativo de una serie larga, en la estación de Chepo con el más largo registro de lluvia, se compararon los promedios de lluvia de los periodos entre 1957-2015 y 1971-2001, resultando un promedio en estudio 3.5% por debajo del promedio de los 59 años. Por estos motivos, se decidió considerar como período de análisis, entre 1971-2001 siendo una serie representativa (31 años).

7.3 Verificación, corrección y estimación de datos faltantes

Los registros históricos disponibles en la mayoría de las estaciones son de registros heterogéneos, sin embargo, con la finalidad de evaluar la consistencia y homogeneidad de la información recopilada, se procedió a analizar, corregir y extenderlos hasta completar el periodo base de estudio, entre los años 1971-2001, mediante el método de proporción normal y dobles acumuladas.

A nivel mensual, se estimaron sólo aquellos meses correspondientes a los años incompletos con más de 6 meses de registros, la idea es no descartar esos registros mensuales disponibles.

7.3.1 Método de Proporción Normal

Con este método se ponderan las precipitaciones de las estaciones bases con las relaciones entre la precipitación anual normal de la estación en estudio con cada una de las estaciones utilizadas como referencia, lo que queda expresado en la siguiente fórmula:

$$P_x = \frac{1}{n \left(\left(\frac{N_x}{N_1} \right) * (N_1 * P_1) + \frac{N_x}{N_2} * P_2 + \dots + \frac{N_x}{N_n} * P_n \right)}$$

Donde:

P_x = Dato faltante de precipitación que se desea obtener

N_1, N_2, \dots, N_n = La precipitación anual normal de las estaciones base o índice.

P_1, P_2, \dots, P_n = La precipitación en las estaciones bases durante el mismo período del tiempo del dato faltante.

N_x = Precipitación anual normal de la estación en estudio.

n = número de estaciones base o índice

Una vez completada la serie de lluvia a nivel mensual se procedió a verificar su consistencia, extender los datos a nivel anual hasta completar el periodo de estudio, 1971-2001.

7.3.2 Método de Dobles Acumuladas

El Análisis de Doble Acumulación es una metodología que nos permite:

1. Identificar la inconsistencia de las observaciones,
2. Corregir datos malos,
3. Interpolar datos faltantes y
4. Extender la serie de datos

El método consiste en comparar los datos de la estación bajo estudio con aquellos de otra estación o grupo de estaciones que se toman como patrón. Para ello se hace un gráfico llevando sobre el eje de las "X" los valores acumulados de la estación base, sobre el eje de las "Y" los valores acumulados de la estación analizada. Si los datos se alinean en una recta significa que los datos estimados y los registrados son buenos. Por el contrario, si se produce un quiebre a partir de un determinado año, la estadística de la estación en estudio no es consistente y debe corregirse.

En este tipo de análisis, la pendiente de la recta del tramo correcto se utiliza para la interpolación o estimación de los datos faltantes. Un estimado de un dato faltante puede llevarse a cabo utilizando la siguiente ecuación:

$$P_x = M * P_A$$

Donde:

P_x = Valor de la precipitación a ser estimada

P_A = Valor de precipitación en la estación patrón o base para el período correspondiente a P_x .

M = Pendiente de la recta del tramo correcto.

Cuando se produce cambio de pendiente y ambos tramos tienen más de cinco valores significa que en ambos periodos existe proporcionalidad, sin embargo, uno de los dos debe corregirse. Para poder utilizar los datos medidos después del quiebre con los del período más reciente, por lo general, se ajusta el período más antiguo según la razón de las pendientes:

$$P_x = \frac{M_1}{M_2} * P_e$$

Donde,

P_x : Precipitación que se desea estimar

M_1 : Pendiente del tramo correcto

M_2 : Pendiente del tramo incorrecto

Pe: Precipitación de la estación en estudio (dato incorrecto).

Antes de hacer las correcciones es importante realizar mayores investigaciones, a fin de conocer la verdadera razón de la inconsistencia. Las inconsistencias de los datos pueden ser causadas, en su mayor parte, por la acción del hombre, la estación mal ubicada, cambio de la ubicación de la estación, error en las lecturas, alteración de sus condiciones de exposición y equipo defectuoso.

Para el cálculo de la precipitación media en cada una de las subcuencas que disponen de información de caudal y la subcuenca en estudio, se utilizó el método de Isoyetas. Este método consiste en trazar curvas de igual precipitación para un período elegido, en nuestro caso, se utilizó 31 años. Una vez trazadas las isoyetas, se calcula las áreas entre líneas limítrofes, y cada una de ellas se multiplica por el promedio de precipitación del área correspondiente. La precipitación media resulta de sumar todos los productos anteriores y dividirlos por el área total de la cuenca.

7.4 Determinación del Patrón de Precipitación Anual (PPA)

Para determinar la consistencia de una serie de datos, se debe contar con un patrón definido en base a los datos disponibles más confiables. Debido a que no se tienen antecedentes en los que se indique la calidad de los datos de cada una de las estaciones, se decidió considerar en un inicio como Patrón de Precipitaciones Anuales (PPA) al promedio de las cuatro estaciones con registro disponible en el periodo 1971-2001. Estas estaciones son: Loma Bonita, Chepo, Río Majé y Piriá.

En la Figura 13, se presenta las curvas dobles acumuladas en donde se compara el promedio de las cuatro (4) estaciones con largos registros disponibles, Promedio de Precipitación Acumulada (PPA), con cada una de ellas, presentando líneas sin cambio de pendiente. Se puede concluir que los datos de lluvia, en el periodo en estudio, de las estaciones Loma Bonita, Chepo, Río Majé y Piriá son confiables, por lo que, se utilizaron para revisar, rellenar, extender y corregir los datos de lluvia del resto de las demás estaciones.

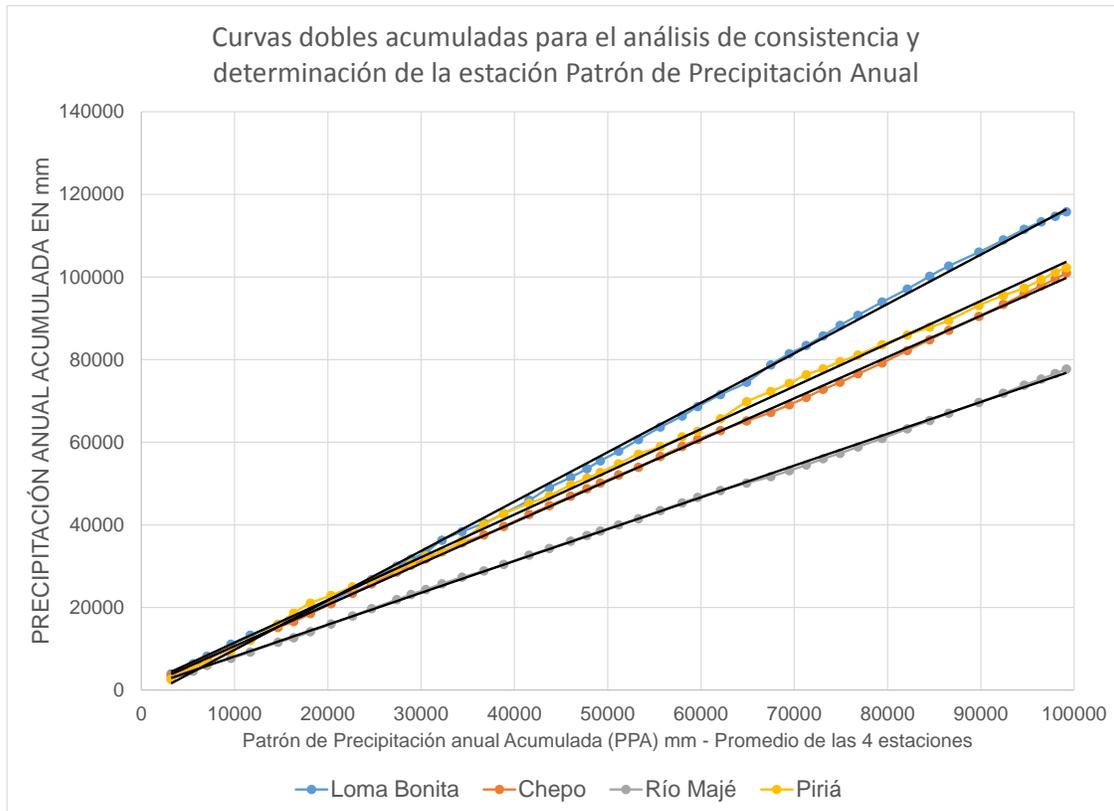


Figura 13. Curvas dobles acumuladas para el análisis de consistencia y determinación de la estación Patrón (PPA)

7.5 Consistencia de la información

Este análisis se realiza para comprobar si los datos con los que se cuenta, en este caso, valores anuales de precipitación, han sido bien observados, ya que pequeños cambios en la ubicación de la estación meteorológica, exposición e instrumentación pueden producir variaciones en la precipitación captada. Usando el PPA calculado en el apartado anterior se ha verificado, corregido, extendido y rellenado los datos de las dieciséis (16) estaciones restantes. En el Anexo A, Figuras A-1 hasta la A-14, se presentan los gráficos de las curvas dobles acumuladas que muestran la verificación y corrección de la información de precipitación.

Para corregir los datos se ha comparado este PPA acumulado con las precipitaciones anuales acumuladas de cada una de las estaciones. La acumulación se realiza del año más antiguo al más reciente. Si la línea obtenida de graficar estas variables tiene la misma pendiente, querrá decir que los datos son consistentes y por tanto no deben ser corregidos.

Sin embargo, si la línea presenta quiebres, los datos deben ser corregidos, para obtener un registro consistente y confiable. A manera de ejemplo, para ajustar la información de la estación de Altos de Pacora, se graficó (Figura 14) el Patrón de Precipitaciones Anuales Acumuladas, en el eje de las abscisas vs la precipitación anual acumulada de Altos de Pacora, en

las ordenadas. De este gráfico se puede observar que la línea presenta un quiebre en el año 1991, pudiendo determinarse que desde 1971 hasta 1991 los datos siguen una misma tendencia, que por ser la más larga será la que se usará para la corrección de los datos. En el período 1992 – 2001, fecha en que fue suspendida la estación, los datos siguen una tendencia diferente, se incrementa la pendiente de 1.24 a 1.59, por lo que se corrigieron tomando como base la ecuación de la recta definida por el periodo 1971-1991. En el 2010, cuando nuevamente se activa la estación, la pendiente cambia de 1.59 a 1.14. El periodo también se corrige tomando como bueno el primer periodo.

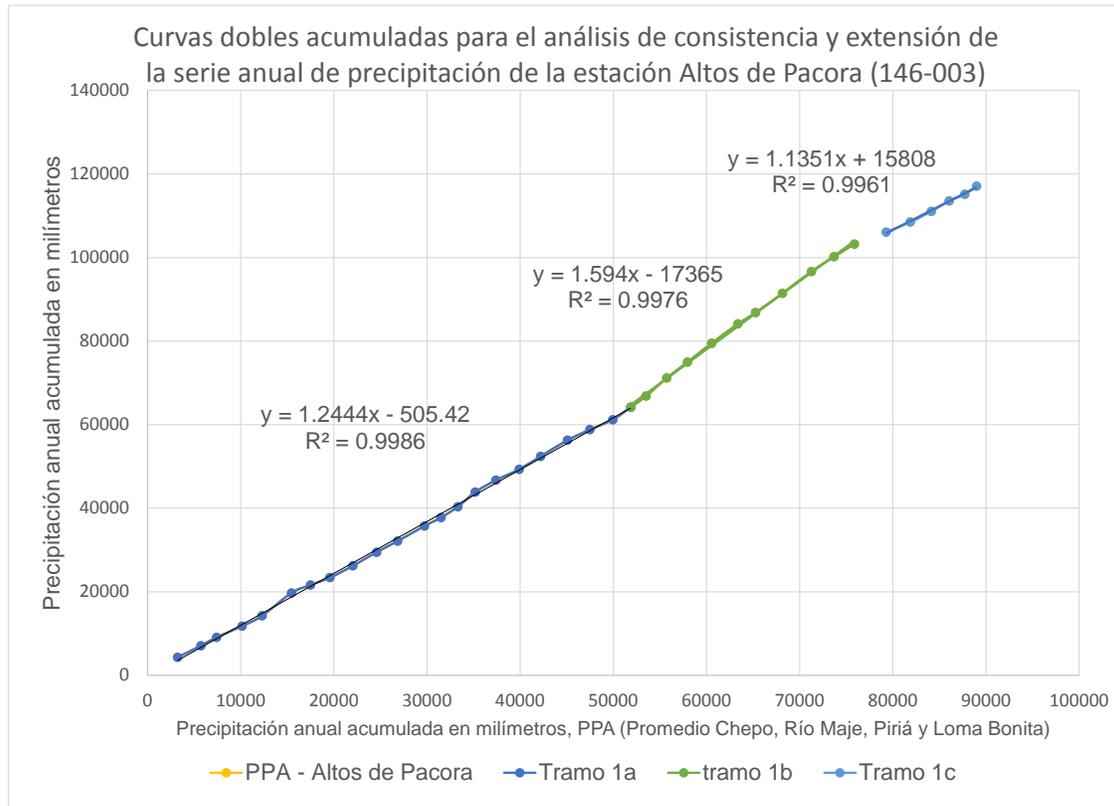


Figura 14. Curvas Dobles acumuladas para el análisis de consistencia y extensión de la serie anual de precipitación de la estación Altos de Pacora (146-003)

En la Tabla No. 15 se presentan los resultados del análisis de la información de 20 estaciones de lluvia disponible en la cuenca; solo cinco (5) estaciones mantienen datos actualizados hasta el 2016. Algunas de las estaciones no tenían el año 2016 completo, por lo que los datos se revisaron solo hasta el 2015. Los valores sombreados en color rosado tienen registro de más de seis meses y los meses que faltaban se estimaron mediante el método de proporción normal, los sombreados en color amarillo fueron estimados por el método de las dobles acumuladas.

En la mismo Tabla No. 15, también se presenta el promedio para el periodo 1971-2001, de los últimos 30 años. Se puede ver, especialmente aquellas estaciones con registros largos que están disponibles, que el promedio del periodo seleccionado se encuentra en un 3.5% por

debajo del promedio del más largo registro de la estación de Chepo (1957-2015). Por lo que se consideró que el periodo en estudio es representativo de la serie. También se comparó el promedio de los últimos 30 años con el periodo de todo el registro en la misma estación y la diferencia es de solo el 0.5%. No hay cambios significativos en los últimos 30 años en cuanto al régimen de precipitación. Además, se estimó que el periodo considerado corresponde a un 56% de los datos registrados y la diferencia, fueron estimados.

Tabla No. 15
Resumen de precipitaciones anuales en milímetros. Estaciones ubicadas en las cuencas N°146 y N°148

AÑO/ Elev (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	Utive 146 001 80	Loma Bonita 146 002 100	Altos de Pacora 146 003 400	Ingenio Felipillo 146 004 12	Chepo 148 001 30	Cañita Isla de Pato 148 002 200	Majé 148 003 100	Piriá 148 004 80	Loma del Naranjo 148 006 100	Río Majé 148 008 70	Cañita Nuevo 148 009 29	Pueblo Nuevo 148 010 46	Bayano Campamento 148 011 70	Río Ipeti 148 012 60	Aguas Claras 148 013 40	Chararé 148 015 100	Tanara 148 016 15	Isla de Majé 148 021 60	Tortí 148 023 100	Viejo Pedro 148 029 10	
1957					1681.9																
1958					1937.2																
1959					2008.5																
1960					2544.5																
1961					2392.0																
1962					1866.5																
1963					2026.5	2503.6		2116.5													
1964					2678.0	3176.0		1745.3													
1965					2083.0	2224.0		2011.5													
1966					2489.5	2811.0		2524.8													
1967					2299.0	2621.5		2481.5													
1968					1991.5	2631.5		2256.5													
1969					2210.4	3220.5		2472.3													
1970	4420.6	3929.0	4312.7	3115.4	3580.9	4123.4	2760.9	2535.6	2536.8	2895.1	2969.6	2039.0	2434.0	2763.6	2210.9	2295.0	3688.3	2283.0	2459.6	2230.2	
1971	2844.0	2454.2	2770.1	1946.0	2236.8	2575.7	1815.0	2931.0	1998.5	2333.1	1649.3	1716.8	2026.0	2300.3	1840.2	1910.2	2303.9	1900.2	2047.2	1393.1	
1972	2066.1	1823.1	2012.4	1445.6	1661.6	1913.3	1366.0	1079.6	1600.4	2183.3	1441.5	732.1	1456.3	1510.2	1208.1	1254.1	1711.4	1247.5	1344.1	1034.8	
1973	2764.9	2902.8	2693.0	2301.7	2645.6	3046.4	1736.3	3003.6	2166.4	2457.0	2140.5	1573.0	2395.5	1702.5	1988.7	2064.4	2725.0	1920.9	1515.2	1647.7	
1974	2516.8	2176.6	2451.4	1725.9	1983.8	2284.3	1529.5	2559.0	1741.6	1796.7	1645.2	1263.4	2287.6	1597.8	1688.6	1614.5	2043.3	1967.7	1422.0	1235.5	
1975	3688.9	2638.3	5470.5	2359.3	3051.9	3514.3	2353.0	3810.1	2849.4	3126.1	2530.9	1633.7	2707.6	2249	2324.4	2543.6	3143.5	2651.2	2001.6	1900.7	
1976	1747.0	1511.9	1916.6	1787.6	1422.3	1637.8	1096.6	2719.5	1785.0	2111.5	179.5	909.9	1454.1	2058.4	1400	1709.4	1465.0	1683.8	1832.0	885.8	
1977	1719.1	1404.2	1754.6	1023.7	1926.0	2217.8	1484.9	2410.3	1386.2	2601.9	1597.2	1136.4	1582.0	1878.9	1544.4	1766.9	1983.8	1189.2	1672.2	1199.5	
1978	2650.9	2728.0	2834.4	2150.3	2392.6	2755.1	1844.7	1845.7	2281.9	2868.0	1984.2	837.5	1840.1	2125	1897.8	1809.7	2464.4	1515.0	1410.4	1490.1	
1979	3473.2	2674.6	3252.9	1884.8	2528.7	2911.8	1949.6	2092.5	1784.6	2861.6	2097.1	1064.7	2602.2	2294.7	2200.2	1905.6	2604.6	1895.6	1807.7	1574.9	
1980	2366.5	2522.9	2664.0	1773.4	2299.4	2647.8	1772.8	1570.5	2811.7	2657.4	1906.9	1206.2	1775.2	2226.7	1565.1	1662.3	2139.6	1653.6	1908.7	1432.1	
1981	3642.4	3203.6	3600.1	2434.3	2849.5	3281.2	2197.0	2498.5	1889.5	2944.2	2363.1	2444.8	2076.2	2543.8	2481.5	2111.7	2894.3	2100.7	2411.6	1774.7	
1982	1973.9	1716.9	2042.1	1811.3	1627.0	1873.5	1254.4	1616.9	1953.1	2161.4	1349.3	878.6	1502.0	1594.4	1101.3	1499.8	1383.3	1369.3	1720.0	1013.3	
1983	1788.3	1719.7	2562.7	1700.2	1546.0	1780.2	1192.0	1799.0	2000.4	2114.2	1282.1	880.3	1747.1	1789	1450.2	1278.9	2082.8	1383.0	1393.1	962.8	
1984	2532.4	2879.1	3544.4	2385.5	1766.1	2033.7	1361.7	980.5	2106.4	1933.3	1464.6	1005.6	1654.5	1768.9	1661.1	1120.3	2549.2	1185.6	1654.8	1099.9	
1985	2261.0	2101.6	2818.2	1564.4	2112.2	2432.2	1628.5	2740.7	1837.4	1871.4	1751.6	1202.7	1786.7	2567.9	1591.9	1712.5	1655.1	1703.5	1799.3	1315.5	
1986	2153.8	2026.2	2625.6	1530.8	1942.4	2236.7	1497.6	3894.8	2334.3	2146.3	1610.8	1106.0	1530.3	2220.8	1574.9	2033.1	1704.9	2022.5	1514.3	1209.7	
1987	2513.6	2293.9	3079.0	1759.7	2024.0	2330.6	1560.5	2577.8	1521.6	2243.5	1678.5	1152.5	1928.2	2171	1556.9	1073.6	2313.6	1734.1	2002.5	1260.5	
1988	3132.7	3246.9	3867.8	2584.9	2903.7	3343.6	2238.8	2528.6	1536.8	2864.0	2408.0	1653.4	1849.4	2672.3	1429.2	1921.2	2518.3	2101.7	2024.4	1808.4	
1989	2544.7	3052.6	2545.2	1798.6	2142.5	2467.1	1651.9	1864.9	1317.4	2582.5	1776.8	1219.9	1644.6	1919.8	1209.7	1340.3	2533.8	1669.4	1592.4	1334.3	
1990	2697.9	2472.7	2375.8	1779.9	2275.8	2620.6	1754.6	2853.8	1892.9	2505.4	1887.3	1295.8	1732.5	2079.6	1805.9	1465.4	2344.1	1865.8	3449.3	1417.4	
1991	2291.3	2122.6	2993.3	1356.9	1797.7	2070.1	1386.0	1667.8	2247.4	2170.8	1490.8	1023.6	1453.3	1430.9	1501.4	1429.5	1851.6	1427.9	1146.7	1018.5	
1992	1788.3	1908.7	2662.3	1222.8	1405.5	1618.4	1083.6	1393.8	1927.0	1834.4	1165.6	800.3	1679.2	1749.2	1450.5	1692.0	1447.7	1173.9	1720.9	1270.2	
1993	2291.0	2318.8	4320.9	1673.4	1923.5	2214.9	1483.0	2094.7	2335.4	2540.5	1595.2	1095.2	1714.9	1917.7	2316.3	1714.2	1981.2	1661.5	1748.5	1072.6	
1994	2819.5	2781.1	3789.3	1651.8	1898.6	2186.2	1463.8	2321.2	1855.1	1866.8	1574.5	1081.1	1831.0	1977.1	2172.5	1854.8	1955.6	1541.9	2075.4	1114.2	
1995	3749.3	3047.6	4536.7	2256.9	2594.1	2987.1	2000.1	1798.6	2073.2	2917.8	2151.3	1477.1	2417.2	2241.9	2055.3	1861.7	2671.9	1852.0	1635.5	1316.0	
1996	3100.4	2685.4	4612.6	2109.8	2425.0	2792.4	1869.7	2377.5	1586.6	3821.1	2011.1	1380.8	2531.8	2989.3	1157.6	1879.7	2497.8	2184.6	2660.5	1651.4	
1997	1788.5	2274.1	2715.7	1488.6	1711.0	1970.2	1319.2	1334.4	1304.4	2260.4	1418.9	974.2	1358.8	2070.1	1177.3	1677.0	1762.3	1344.1	1842.4	1108.7	
1998	3012.9	2918.7	4631.3	1883.1	2164.5	2492.4	1668.8	3024.4	1846.3	3451.0	1795.0	1232.5	2201.0	2115.6	1807.7	2377.6	2229.4	2188.8	1882.9	1311.5	
1999	3330.4	3006.5	5200.6	2016.2	2317.5	2668.6	1786.8	4134.9	1713.4	2946.3	1921.9	1319.6	2291.7	2670.6	2305.7	3022.9	2387.0	2381.0	2376.8	2068.0	
2000	2548.0	4180.7	3555.0	1795.7	2064.0	2376.7	1591.3	2474.2	2057.9	2794.0	1711.7	1175.2	2070.3	2248.5	1798.8	1867.3	2125.9	1857.5	2001.2	1285.5	
2001	2285.2	2679.7	3003.8	1610.5	1851.1	2131.5	1427.2	1986.0	2427.5	2238.2	1535.1	1054.0	1331.0	1863.1	1490.5	1547.2	1906.6	1539.1	1658.2	1152.9	
2002	2225.7	2004.6	2171.3	1568.5	1802.9	2076.0	1390.0	2091.4	1493.6	1993.7	1495.1	1026.6	1590.3	1805.6	1444.5	1499.5	1857.0	1491.6	1607.0	1122.8	
2003	2384.8	2343.6	2326.6	1680.7	1931.8	2224.5	1489.4	1436.7	2432.1	2569.8	1602.0	1100.0	1603.9	1821.1	1456.9	1512.3	1989.8	1504.4	1620.8	1203.1	
2004	2092.5	2522.1	2041.4	1474.7	1695.0	1951.8	1306.8	1727.1	2645.7	3009.0	1405.7	965.1	1737.0	1972.2	1577.8	1637.8	1745.9	1629.2	1755.3	1055.6	
2005	2528.6	2436.3	2466.9	1782.0	2048.3	2358.6	1579.2	1599.3	2064.0	3073.8	1698.7	1166.3	1815.5	2061.2	1649.0	1711.7	2109.7	1702.8	1834.5	1275.7	
2006	3260.1	3208.4	3180.5	2297.5	2640.8	3040.9	2036.1	2486.1	1710.2	3117.1	2190.0	1503.7	2226.7	2528.2	2022.5	2099.5	2720.0	2088.5	2250.1	1644.7	
2007	3717.4	3155.4	3626.7	2619.8	3011.3	3467.5	2321.7	2330.6	1657.5	3061.2	2497.3	1714.6	2269.7	2577.0	2061.6	2140.0	3101.6	2128.8	2293.5	1875.4	
2008	3210.3	3098.1	3131.9	2262.4	2600.5	2994.5	2005.0	1912.3	1671.6	2801.5	2156.6	1480.7	1975.6	2243.1	1794.4	1862.7	2678.5	1853.0	1996.3	1619.6	
2009	2791.2	2481.6	2723.0	1967.1	2261.0	2603.5	1743.2	1666.0	1810.4	1850.6	1875.0	1287.4	1560.5	1771.8	1417.4	1471.4	2328.8	1463.7	1576.9	1408.2	
2010	4189.9	3360.7	2862.5	2952.8	3394.0	3908.2	2616.8	3601.2	1892.1	3230.8	2814.6	1932.5	2762.0	3136.0	2508.8	2604.2	3495.8	2590.6	2791.0	2113.8	
2011	3568.9	2937.2	2435.8	2515.2	2891.0	3329.0	2229.0	2405.2	2320.7	2185.0	2397.5	1646.1	2020.7	2294.2	1835.4	1905.2	2977.7	1895.2	2041.9	1800.5	
2012	3138.2	2583.0	2549.6	2211.6	2542.1	2927.2	1960.0	1829.1	2365.5	2001.9	2108.2	1447.5	1721.4	1954.4	1563.5	1623.0	2618.4	1614.5	1739.4	1583.2	
2013	2407.0	1799.8	2480.9	1696.3	1949.8	2245.2	1503.3	2047.4	2059.0												

7.6 Variación espacial de la precipitación - Mapa de Isoyetas

En este trabajo se realizó un análisis de isoyetas (son líneas trazadas en un plano que representan puntos con iguales magnitudes de precipitación) para la cuenca en estudio considerando los datos de precipitación media de cada una de las estaciones. El mapa de isoyetas anuales correspondiente al período 1971-2001, se elaboró considerando las veinte (20) estaciones de precipitación antes mencionadas.

En primer lugar se hizo un trazado preliminar de las isoyetas anuales considerando los valores de cada una de las estaciones y la topografía del lugar, luego las líneas se fueron modificando hasta que el error en el balance hídrico fuese menor del 15%. Se dio este margen de error porque existe incertidumbre en la medición del área de drenaje debido a que no se dispone de mapas topográficos a 1:50,000, se trabajó con mapas 1:250,000.

En este análisis se asume que en una cuenca el caudal es el componente del balance hídrico que se mide con más exactitud porque es una medida integral y su medición está sujeta a menores errores, sin embargo, en todo momento se respetó los valores de lluvia de las estaciones consideradas.

En la Tabla No. 16 se presentan los promedios de las precipitaciones totales anuales, por cada estación, los cuales fueron considerados para el trazado de las isoyetas. En la Figura 15 se muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas en la cuenca del río Bayano y la cuenca del río Pacora, las isoyetas anuales (1971-2001), y en la Figura 16, se presentan las isoyetas anuales el área en estudio correspondiente al mismo periodo.

Para el cálculo de la precipitación media anual en cada una de las subcuencas se utilizó el método de Isoyetas mediante la expresión:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m \left[\frac{(P_j + P_{j+1})}{2} \right] * A_j}{\sum_{j=1}^m A_j}$$

Donde:

P_j = Valor de la precipitación de la isoyeta j.

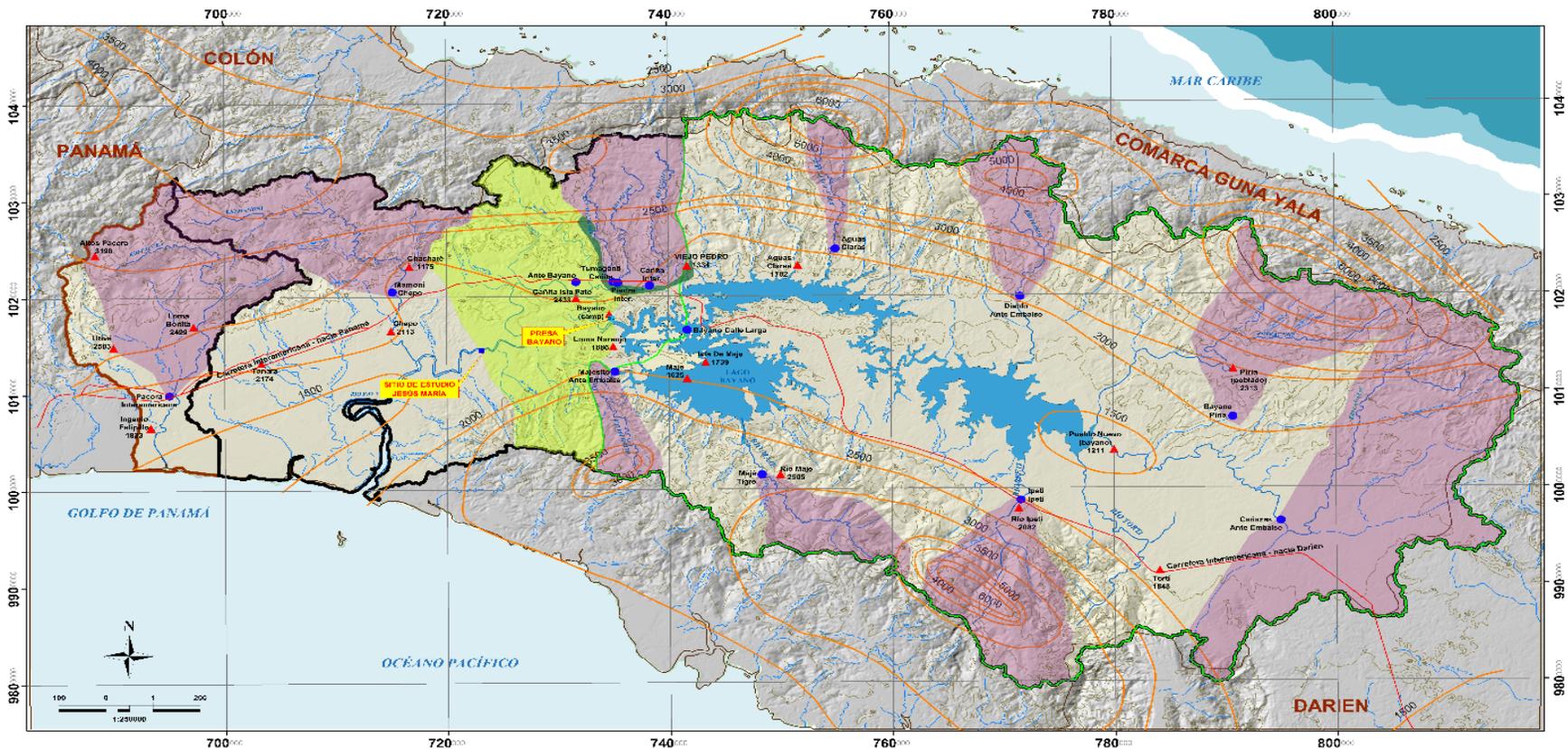
A_j = Área incluida entre dos isoyetas consecutivas (j y j+1)

M = Número total de isoyetas.

Tabla No. 16
Precipitación promedio anual correspondiente al periodo 1971-2000. Cuencas de los ríos Pacora y Bayano

No.	Estaciones de Precipitación	NÚMERO	Elevación en msnm	Coordenadas		P ANUAL EN mm
				LATITUD	LONGITUD	
Cuenca 146						
1	Utive	146 001	80	9° 09'	79° 20'	2583
2	Loma Bonita	146 002	100	9° 10' 17"	79° 15' 40"	2499
3	Altos de Pacora	146 003	850	9° 14' 44"	79° 20' 59"	3190
4	Ingenio Felipillo	146 004	12	9° 04'	79° 18'	1833
Cuenca 148						
5	Chepo	148 001	30	9° 10'	79° 05'	2113
6	Cañita Isla de Pato	148 002	200	9° 12'	78° 55'	2433
7	Majé	148 003	100	9° 07'	78° 49'	1625
8	Piriá (Poblado)	148 004	80	9° 07' 26"	78° 19' 31"	2313
9	Loma del Naranja	148 006	100	9° 09'	78° 53'	1951
10	Río Majé	148 008	70	9° 01'	78° 44'	2505
11	Cañita (Pueblo Nuevo)	148 009	29	9° 12'	78° 55'	1746
12	Pueblo Nuevo (Bayano)	148 010	46	9° 05'	78° 28'	1211
13	Bayano (Campamento)	148 011	70	9° 11'	78° 53' 12"	1886
14	Río Ipeti	148 012	60	8° 59'	78° 31'	2082
15	Aguas Claras	148 013	40	9° 14'	78° 43'	1702
16	Chararé	148 015	100	9° 14'	79° 04'	1765
17	Tanara	148 016	15	9° 08'	79° 12'	2174
18	Isla de Majé	148 021	60	9° 08'	78° 48'	1739
19	Tortí	148 023	100	8° 54' 57"	78° 23' 33"	1848
20	Viejo Pedro	148 029	10	9° 14'	78° 49'	1334

MAPA DE ISOYETAS MEDIAS ANUALES EN mm PERÍODO 1971 - 2001 - CUENCA DEL RÍO BAYANO Y PACORA



LOCALIZACIÓN



LEYENDA

- RÍOS PRINCIPALES
- ISOYETAS
- CURVAS DE NIVEL
- CARRETERA INTERAMERICANA
- ▲ ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN
- ESTACIONES DE CAUDAL
- SITIO DE ESTUDIO
- PRESA
- CUENCA DE ESTUDIO
- CAÑITA ANTE BAYANO
- SUBCUENCAS
- BAYANO CALLE LARGA
- CUENCA 146
- CUENCA 148

ARHSA ARAMOS HIDRO, S.A.		ESTUDIO HIDROLÓGICOS DEL RÍO BAYANO
DISEÑO: E. SERRANO	FECHA: 2008/04	PROPIETARIO:
DIBUJO Y DESARROLLO: M. DELEN	ESCALA: NORTE	
REVISADO/APROBADO: M. PARRA		

Figura 15. Precipitación promedio anual correspondiente al periodo 1971-2001. Cuencas de los ríos Pacora y Bayano.

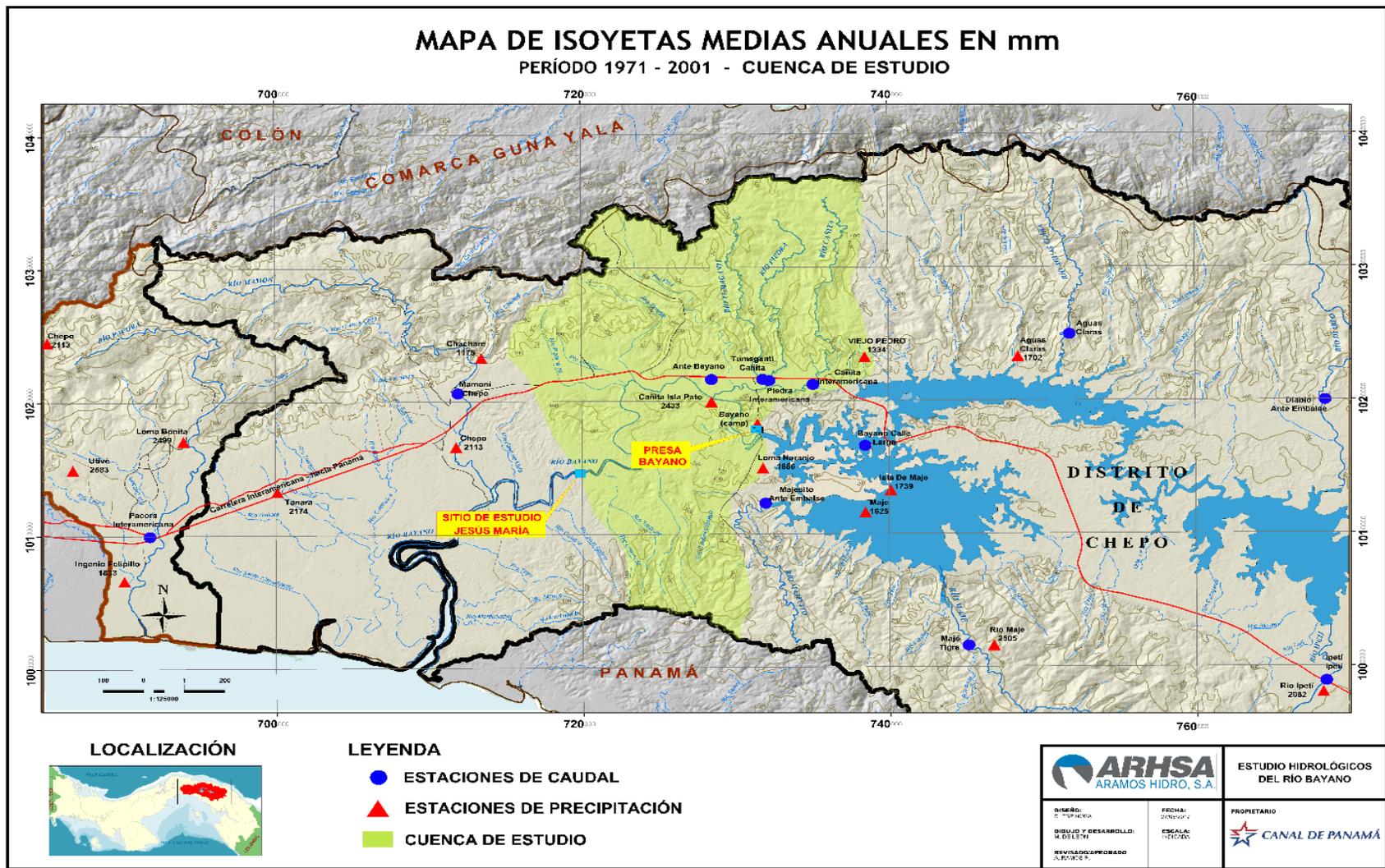


Figura 16. Isoyetas medias anuales (mm) en la cuenca de la cuenca en estudio (1971-2001).

7.7 Análisis de la distribución espacial y temporal de la precipitación

En el mapa de isoyetas de las cuencas N°146 y N°148, se puede observar que a nivel espacial existe una gran variabilidad en la precipitación causada por la pronunciada orografía. La precipitación varía entre 1200 mm cerca de la cola del lago Bayano, específicamente en la estación Pueblo Nuevo (Bayano), hasta los 6000 mm en cordillera central, parte alta de la cuenca del río Bayano y en la Serranía de Majé, parte alta del río Ipetí.

En la Tabla No. 17 se presentan las precipitaciones medias correspondientes a las subcuencas que cuentan con estaciones hidrométricas (aforos) y la de la cuenca en estudio.

La precipitación media de la cuenca en estudio, comprendida entre el Sitio de Presa Bayano y el Sitio de Estudio en el río Bayano, sitio conocido como en Jesús María, es de 2388 mm.

7.8 Distribución mensual de la precipitación

En la Figura 17 se presenta la distribución mensual de la precipitación para los regímenes más representativos de las cuencas en estudio. Para el lado central y Oeste de la Cuenca N°148, se puede observar dos registros mínimos de precipitación bien definidos, uno que comprende los meses de febrero y marzo y el otro en el mes de julio, presentándose febrero con menor precipitación. La máxima precipitación se registra durante el mes de octubre con otro máximo secundario durante el mes de junio. Para la región más lluviosa de la cuenca del río Bayano, el lado Este de la cuenca, la situación es diferente, específicamente en las estaciones Piriá Campamento (148 004) e Ipetí (148 0012), se observa una distribución mucho más homogénea de las precipitaciones durante el año, con un solo periodo mínimo bien definido, de enero a marzo, y las lluvias máximas se registran durante los meses de octubre y noviembre, comportamiento muy característico del régimen del atlántico, no se aprecia el periodo seco en el mes de julio.

Tabla No. 17
Precipitación media en las subcuencas de las estaciones hidrométricas Cuencas de los ríos Pacora y Bayano

Cuenca	Isoyetas	P	Área (km ²)	P*A	Pmedia	Cuenca	Isoyetas	P	Área (km ²)	P*A	Pmedia	
Cañita ante Bayano	1500-2000	1750	22	39169	3050	Majé Tigre	2500-3000	2750	38	104557	3116	
	2000-2500	2250	54	122201			3000-3500	3250	104	337037		
	2500-3000	2750	13	34860					142	441594		
	3000-3500	3250	2	5979			Majesito ante embalse	1500-2000	1750	0.4	690	2922
	3500-4000	3750	108	406619				2000-2500	2250	13	28367	
		200	608827	2500-3000	2750	18		48394				
Bayano Calle Larga	1500-2000	1750	1473	2578197	2580	3000-3500		3250	10	32760		
	2000-2500	2250	669	1505694		3500-4000		3750	10	39129		
	2500-3000	2750	506	1392106				51	149340			
	3000-3500	3250	406	1318970		Mamoní Chepo	1500-2000	1750	7	11390	3327	
	3500-4000	3750	379	1422309			2000-2500	2250	17	38266		
	4000-5000	4500	110	492792			2500-3000	2750	21	57553		
	5000-6000	5500	85	467821			3000-3500	3250	75	243635		
	6000-7000	6500	47	302757			3500-4000	3750	110	411667		
		3675	9480647									
Cañazas ante embalse	1500-2000	1750	359	628181	2162	Pacora interamericana	1500-2000	1750	6	10227	2828	
	2000-2500	2250	175	393040			2000-2500	2250	32	71008		
	2500-3000	2750	28	77932			2500-3000	2750	153	421935		
	3000-3500	3250	42	135679			3000-3500	3250	87	281938		
	3500-4000	3750	19	71261					278	785107		
	4000-5000	4500	11	47789		Piedra interamericana	1500-2000	1750	0	348	2972	
	5000-6000	5500	5	24918			2000-2500	2250	11	25831		
	6000-7000	6500	0.03	185			2500-3000	2750	3	7054		
		637.91	1378985.19					33	106238			
Cañita interamericana	1500-2000	1750	10	18054	2758	3000-3500	3250	33	106238			
	2000-2500	2250	16	36545				47	139470			
	2500-3000	2750	4	11213		Tumaganti Cañita	2000-2500	2250	11	25652	3013	
	3000-3500	3250	38	123532			2500-3000	2750	6	16046		
		69	189343		3000-3500	3250	38	121996				
Aguas Claras	2000-2500	2250	6	12409	4399	3500-4000	3750	2	6898			
	2500-3000	2750	5	13840				57	170593			
	3000-3500	3250	10	31576		Cuenca de estudio	1500-2000	1750	201	351245	2388	
	3500-4000	3750	14	53959			2000-2500	2250	152	342648		
	4000-5000	4500	11	50931			2500-3000	2750	54	147373		
	5000-6000	5500	9	51839			3000-3500	3250	147	478510		
	6000-7000	6500	14	90107			3500-4000	3750	2	7637		
		69	304663			556	1327412					
Bayano Piria	2000-2500	2250	15	34780	4250	Ipetí Ipetí	2000-2500	2250	16	35372	3722	
	2500-3000	2750	19	51200			2500-3000	2750	40	108964		
	3000-3500	3250	30	96645			3000-3500	3250	24	76522		
	3500-4000	3750	51	190288			3500-4000	3750	1	1912		
	4000-5000	4500	33	150381			4000-5000	4500	43	192997		
	5000-6000	5500	27	147963			5000-6000	5500	22	121702		
	6000-7000	6500	32	207666					144	537468		
			207	878922								
Diablo	2000-2500	2250	3	6817	3911							
	2500-3000	2750	11	29305								
	3000-3500	3250	17	55579								
	3500-4000	3750	40	151729								
	4000-5000	4500	27	119638								
	5000-6000	5500	12	67785								
		110	430853									

7.9 Anomalías en la Precipitación

Este indicador expresa el comportamiento pluviométrico de un año en relación con el que se considera normal para la estación. La anomalía pluviométrica anual resulta de restarle a la precipitación del año la precipitación media anual para el periodo 1971-2001.

Valores positivos del indicador denotan precipitaciones superiores a las normales en ese año mientras que valores negativos reflejan lluvias inferiores a la normal.

Cálculo:

$$AP_i = P_i - \bar{P}_i$$

Donde:

AP_i = Anomalía pluviométrica del año i

P_i = Precipitación del año i

\bar{P}_i = Precipitación media en el periodo 1971-2001

En la Figura 18 se presenta el comportamiento de la precipitación anual de cada año del período 1971-2001 con respecto al promedio de ese mismo período de aquellas estaciones de lluvia con el registro más completo. Se observa que en la estación Utivé (N°146 001), ubicada en la cuenca del río Pacora a una elevación de 80 msnm, en el período 1971-2001, las desviaciones anuales de la lluvia muestran que los años 1975, 1981 y 1995 se presentan con desviaciones entre un 34% y 45% por encima del promedio. Los años 1972, 1976, 1977, 1982, 1983, 1992 y 1997 se presentan con desviaciones entre 20% y 33% por debajo del promedio.

En la estación Bayano Campamento (N°148 011), ubicada ceca de la presa Bayano, a una elevación de 70 msnm, los años 1975, 1979, 1995 y 1996 presentan desviaciones entre 28% y 44% sobre el promedio. Los años 1972, 1976, 1977, 1982, 1986, 1991, 1997 y 2001 presentan desviaciones entre 16% y 29% por debajo del promedio.

Para la estación Piriá (148 004), ubicada en el poblado de Piriá, a una elevación de 80 msnm, los años 1975, 1979 y 1986 y 1999 presentan desviaciones entre 65% y 79% sobre el promedio. Los años 1972, 1984, 1992 y 1997 presentan desviaciones del orden de 40% y 58% por debajo del promedio.

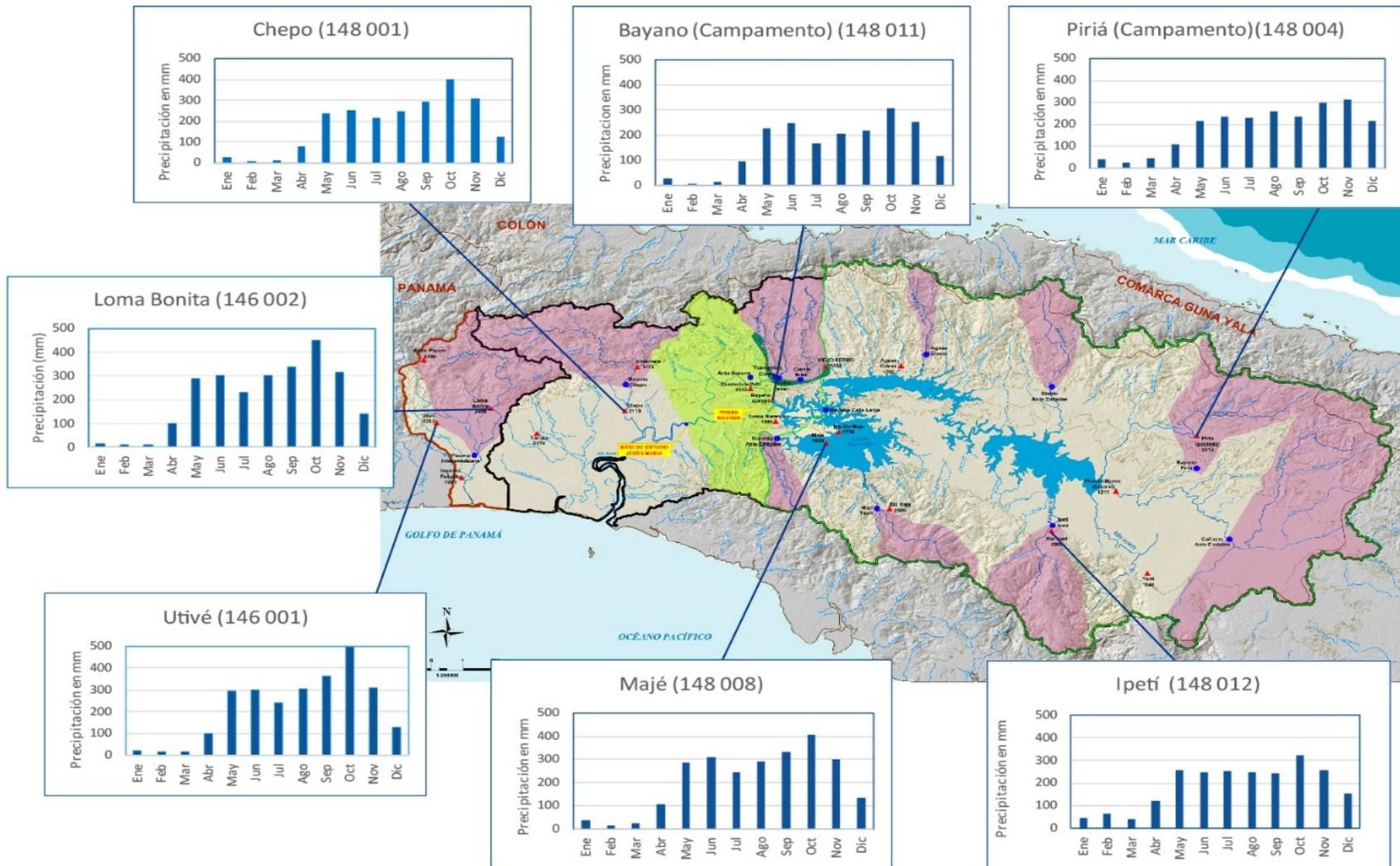


Figura 17. Distribución mensual de la precipitación para los regímenes más representativos de las cuencas en estudio.

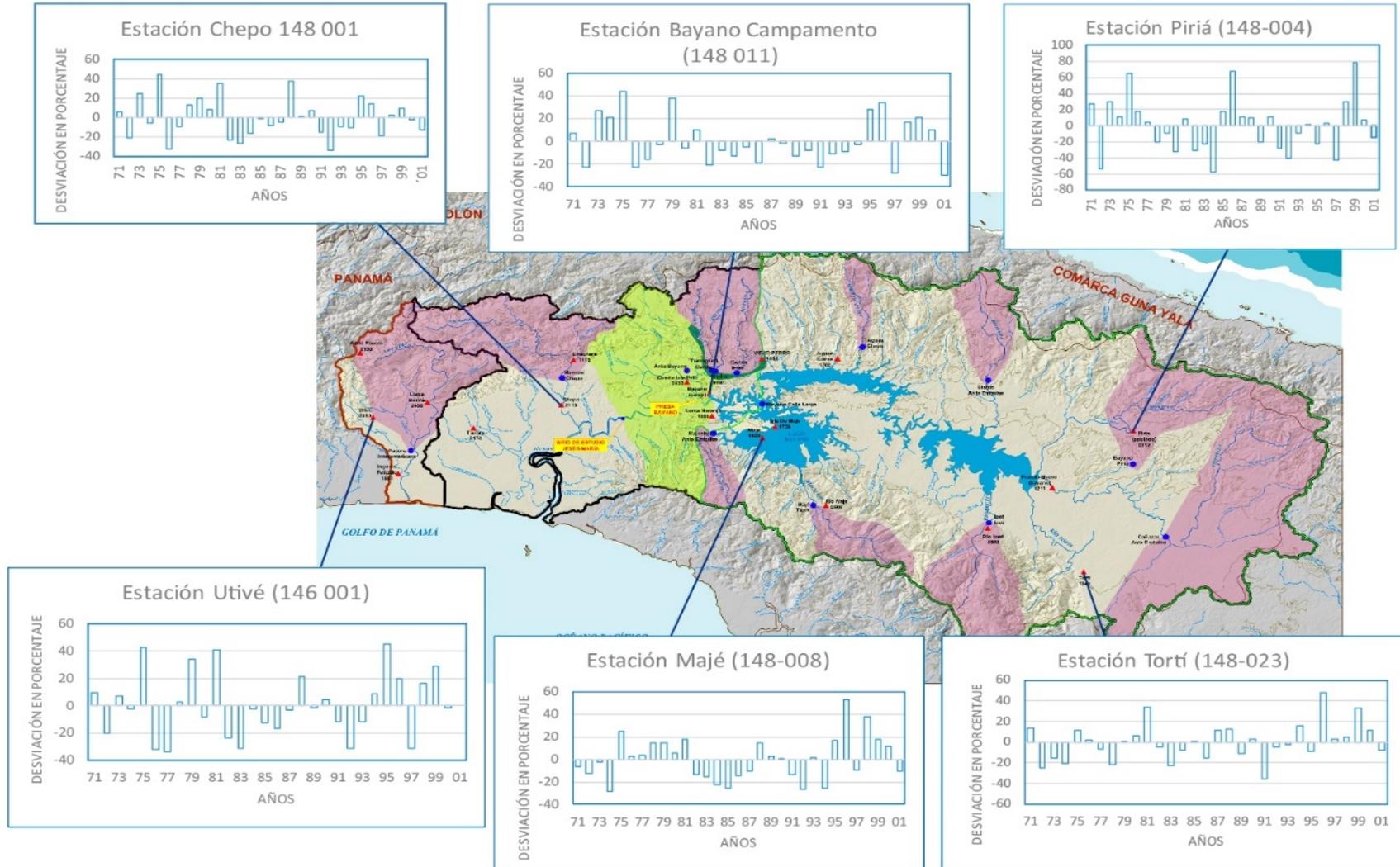


Figura 18. Desviaciones anuales de la precipitación con respecto al promedio 1971-2001.

8. Caudal

8.1 Análisis de la Información de caudal

El régimen de caudales de una corriente de agua durante un período determinado es el único parámetro del balance hidrológico de una cuenca que puede ser medido directamente con una buena precisión. Los demás parámetros, como las precipitaciones, la evaporación, etc, no pueden ser sino estimados a partir de mediciones observadas en distintos puntos de la cuenca o deducidos mediante fórmulas hidrológicas, las cuales son siempre estimadas y muy aproximadas.

8.1.1 Red de estaciones de caudal

En la elaboración del balance hídrico superficial y el mapa de caudales específicos de la cuenca del río Pacora y cuenca del río Bayano, se utilizaron catorce (14) estaciones que se encuentran distribuidas en ambas cuencas. En la Tabla No. 18 se presenta la lista de estaciones hidrológicas utilizadas en este estudio y las características de cada una de ellas, nombre, nomenclatura, tipo de estación, elevación, área de drenaje, coordenadas geográficas, fecha que inicia a registrar y fecha de suspensión de la estación.

Tabla No. 18									
Lista de estaciones de caudal consideradas en este estudio de balance hídrico. Ubicadas en las cuencas de los ríos Pacora (N°146) y Bayano (N°148)									
No.	Nombre	Nomenclatura	Tipo de estación	Elevación en msnm	Área de drenaje en km2	Coordenadas		Fecha Inicio	Fecha Final
				LATITUD	LONGITUD				
Cuenca 146									
1	Pacora Interamericana	146 01 02	Cv	14	278	9° 06'	79° 17'	mar-74	feb-78
Cuenca 148									
2	Bayano Calle Larga	148 01 02	Cv	11	3612	9° 10'	78° 49'	may-58	mar-76
3	Bayano Piriá	148 01 07	At	65	225	9° 06'	78° 21'	jul-78	
4	Mamoní Chepo	148 02 01	At	20	230	9° 12'	79° 04'	jun-57	
5	Majecito Ante Embalse	148 03 01	Cv	60	47.2	9° 07'	78° 52'	jun-70	oct-76
6	Majé Tigre	148 04 02	Mx	80	136	9° 01'	78° 45'	mar-77	oct-02
7	Cañazas Ante Embalse	148 05 01	At	80	726	8° 58'	78° 17'	sep-69	
8	Diablo Ante Embalse	148 07 01	Mx	70	103	9° 12'	78° 31'	abr-71	
9	Cañita Ante Bayano	148 08 01	At	6	202	9° 13'	78° 55'	abr-72	
10	Cañita Interamericana	148 08 02	Cv	10	68.8	9° 13'	78° 50'	may-72	dic-80
11	Tumagantí Cañita	148 09 01	Cv	10	55.6	9° 13'	78° 53'	sep-72	ene-81
12	Piedra Interamericana	148 10 01	Cv	10	50.3	9° 13'	78° 52'	may-72	ene-81
13	Aguas Claras Aguas Claras	148 11 01	At	64	72.8	9° 15'	78° 40' 59"	ago-77	
14	Ipeti Ipeti	148 12 01	At	64	150	8° 59'	78° 30'	jul-77	
Tipo de Estación									
Cv: Estación hidrológica Convencional									
At: Estación Hidrológica Automática									

8.1.2 Condición de las estaciones

- Pacora Interamericana

Esta estación tiene 4 años de registros (1974-1978), se encontraba localizada a unos 30 metros aproximadamente aguas arriba del puente en la carretera Interamericana sobre el río Pacora. La estación estaba equipada con un limnógrafo tipo Stevens A-35.

- Bayano Calle Larga

Se encontraba ubicada sobre el río Bayano en el lugar conocido como Calle Larga, a unos 7 km aproximadamente aguas arriba de la actual Presa Bayano. La estación estaba equipada con un limnógrafo tipo Stevens A-35. Su instalación se efectuó en mayo de 1958 y fue suspendida en marzo de 1976 al iniciarse el llenado del embalse del lago Bayano. Esta estación sirvió de base para los estudios hidrológicos de la Central Hidroeléctrica Ascanio Villaláz (Bayano). El área de drenaje hasta la estación cubría unos 3612 km² y, hasta el Sitio de Presa unos 3650 km². Para poder darle continuidad a la serie de caudales registrados por la estación Calle Larga del presente estudio, fue necesario utilizar los caudales estimados en el Sitio de Presa Bayano mediante balance hídrico y trasladarlos a la estación Calle Larga, mediante relación de áreas.

- Bayano Piriá

Se localiza en el margen izquierdo del río Bayano, a unos 2 Km aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Tiguarcigua, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita, En julio de 1978, fue equipada con un limnógrafo Stevens A-35. En enero de 1996, se instaló un equipo automático.

- Mamoní Chepo

Se localiza sobre el río Mamoní, a 100 m aproximadamente, aguas arriba del puente, entre el tramo Chepo hacia el Llano, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Chepo, En junio de 1957, la estación fue equipada con un limnógrafo Stevens A-35. En julio de 1997, se instaló un equipo automático.

- Majecito Ante Embalse

Se encontraba ubicada a unos 32 km aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Majé, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita. La estación estaba equipada con un limnógrafo Neyrpic. Fue suspendida en octubre de 1976.

- Majé Tigre

Se encontraba ubicada a unos 2.5 km aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Bayano, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita. La estación estaba equipada con un limnógrafo Stevens A-35. Fue suspendida en octubre de 2002.

- Cañazas Ante Embalse

Se localiza sobre el río Cañazas a unos 30 Km aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Bayano, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de El Llano, En septiembre de 1969, fue equipada con un limnógrafo Stevens A-35. En noviembre de 1996, se instaló un equipo automático.

- Diablos Ante Embalse

Se localiza a unos 25 km aproximadamente, aguas arriba de la confluencia con el río Bayano, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita. En abril de 1971, fue equipada con un limnógrafo Stevens A-35. En febrero de 1996, se instaló un equipo automático.

- Cañita Ante Bayano

Se localiza entre el tramo de la carretera de Cañita y el campamento Bayano, a unos 300 m aproximadamente, aguas arriba del puente que cruza el río, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita. En abril de 1972, fue equipada con un limnógrafo Stevens A-35. En abril de 1997, se instaló un equipo automático.

- Cañita Interamericana

Se encontraba ubicada a unos 150 m a aproximadamente, aguas arriba del puente sobre el río Cañita en la carretera Interamericana, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita. La estación estaba equipada con un juego de reglas que permitía leer los niveles de agua de 0 a 4 metros. Fue suspendida en octubre de 1980.

- Tumagantí Cañita

Se encontraba ubicada a unos 400 m aproximadamente, aguas arriba del puente sobre el río Cañita en la carretera Interamericana, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita. La estación estaba equipada con un juego de reglas que permitía leer los niveles de agua de 0 a 4 metros. Fue suspendida en enero de 1981.

- Piedra Interamericana

Se encontraba ubicada a unos 500 m aproximadamente, aguas arriba del puente sobre el río Piedra en la carretera Interamericana, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita. La estación estaba equipada con un juego de reglas que permitía leer los niveles de agua de 0 a 3 metros. Fue suspendida en enero de 1981.

- Aguas Claras, Aguas Claras

Se localiza a unos 3.5 km aproximadamente, aguas arriba del caserío Kuna de Aguas Claras, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de Cañita. En agosto de 1977, la estación fue equipada con un limnógrafo Stevens A-35. En marzo de 1996, se instaló un equipo automático.

- Ipetí, Ipetí

Localizada en el poblado Kuna de Ipetí, a unos 500 m aproximadamente aguas abajo del puente de la carretera Interamericana, en la provincia de Panamá, distrito de Chepo, corregimiento de

El Llano. En julio de 1977, la estación fue equipada con un limnógrafo Stevens A-35. En febrero de 1996, se instaló un equipo automático.

8.2 Análisis de calidad, relleno y extensión de registros de caudal mensual y anual Aprovechando la información disponible de caudal de las estaciones cercanas, se estimaron los datos faltantes mediante correlación (lineal potencial) en aquellas estaciones que por año tenían más de 7 meses de registros. En general se obtuvieron coeficientes de correlación, R^2 , superiores a 0.60.

Por ejemplo, en la Figura 19, se presenta una correlación lineal entre los caudales del mes de febrero de las estaciones Ipetí y Cañazas, con el propósito de estimar datos faltantes en Cañazas correspondientes al mes de febrero, obteniendo un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.867$.

En la Figura 20, se muestra la correlación lineal entre los caudales del mes de marzo de las estaciones Aguas Claras y Diablo, para estimar caudales de marzo en la estación Aguas Claras, obteniendo un coeficiente de correlación de $R^2 = 0.913$.

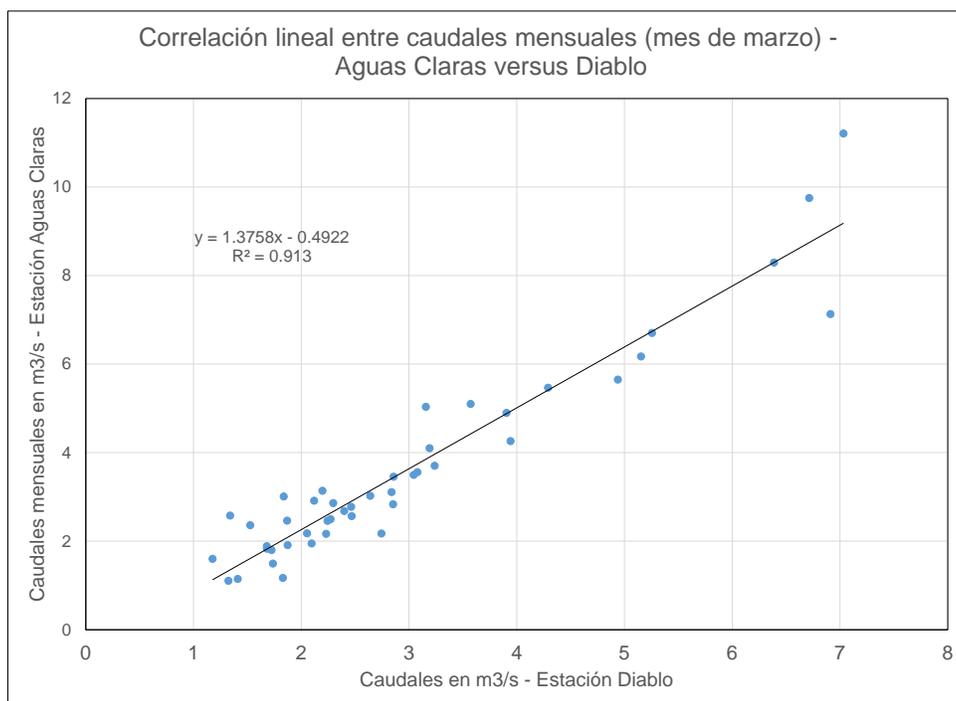


Figura 19. Correlación entre caudales mensuales (mes de febrero) entre Cañazas e Ipetí

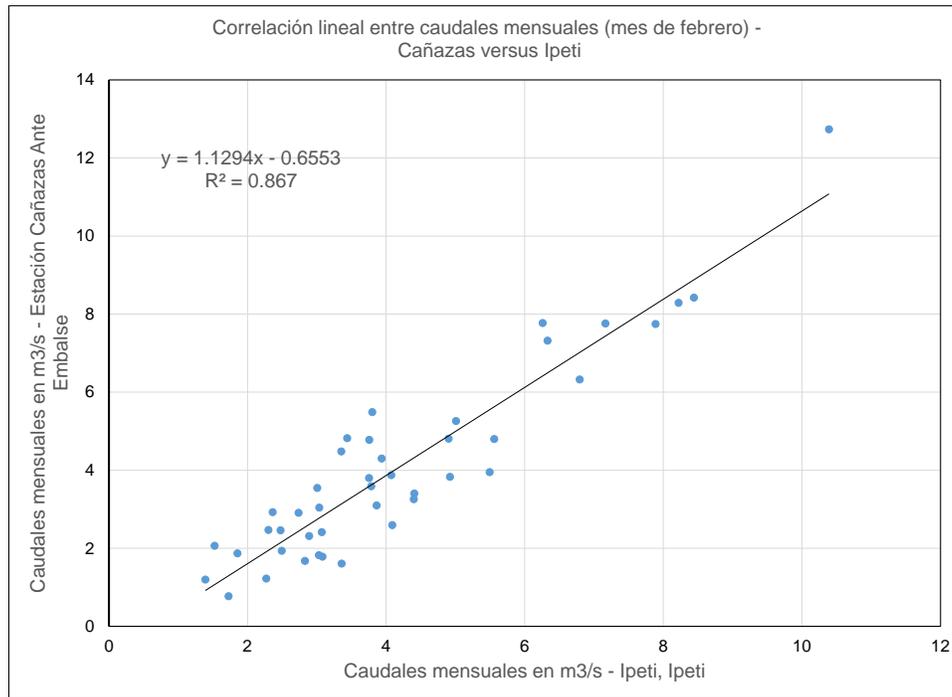


Figura 20. Correlación lineal entre caudales mensuales (mes de marzo). Aguas Claras versus Diablo

Una vez completado los caudales faltantes de las estaciones en estudio, del período 1971-2001, por el método de correlación lineal, se procede a hacer el análisis de consistencia donde se verifica la información anual por el método de las curvas de doble masa, extendiendo, rellenando y corrigiendo mediante métodos estadísticos, que presentará saltos significativos.

En el caso de caudales, para verificar que los datos registrados, corregidos y estimados son buenos, se utiliza el método de dobles acumuladas, ver Figura 21, en donde se compara la suma de los 7 afluentes principales (Diablo, Cañazas, Aguas Claras, Majecito, Majé Tigre, Ipetí y Bayano Piriá) con cada una de las estaciones, se observa que todos los puntos quedan alineados, no hay cambio de pendiente, por lo que podemos concluir que, tanto los caudales registrados, corregidos y estimados, correspondientes al período 1971-2001, son confiables.

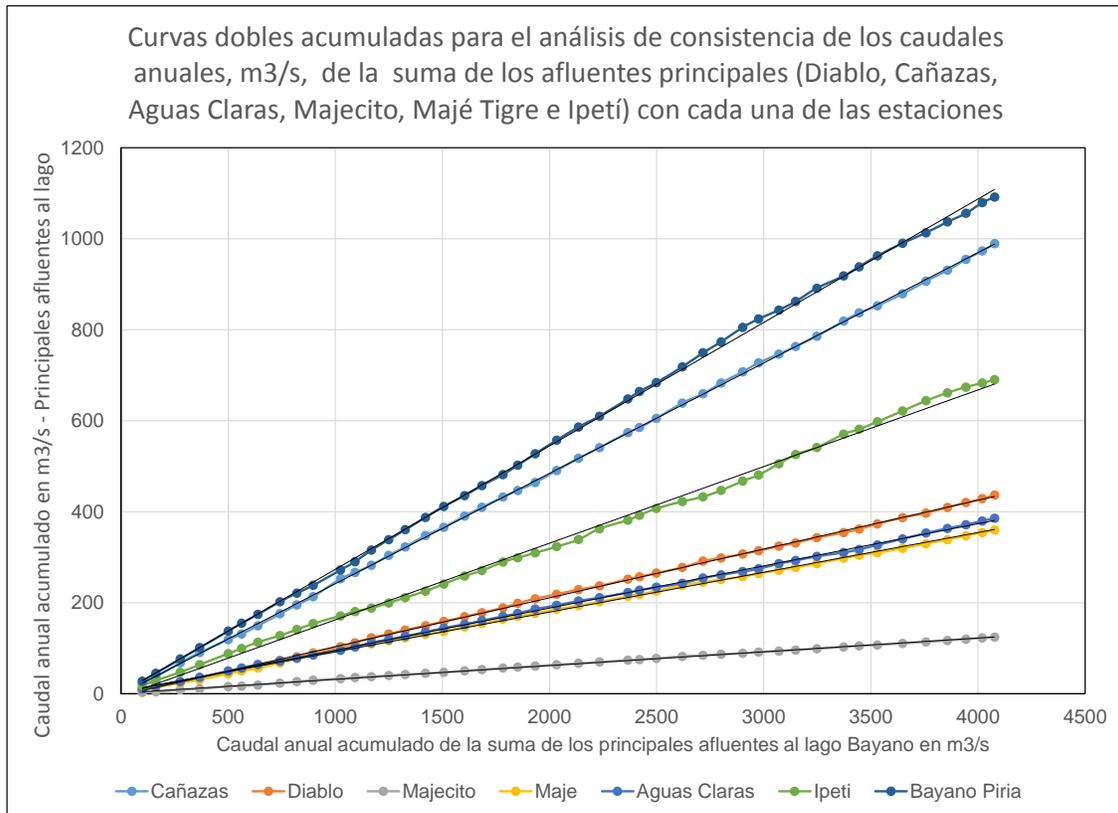


Figura 21. Curvas dobles acumuladas para verificar la consistencia de los registros en las estaciones afluentes al lago Bayano

En otro caso, la Figura 22, analiza los datos de la estación Bayano Piriá, y se observa que a partir del 2006 hay un salto muy brusco de la pendiente, de 0.395 a 0.506, luego en el 2011, nuevamente ocurre otro salto de pendiente, de 0.506 a 0.768. Se realizó el ajuste de los datos y en la misma grafica se observa que los valores ajustados se alinean sin saltos de pendientes. Sin embargo, es necesario, verificar en el campo el motivo de esa inestabilidad en los registros.

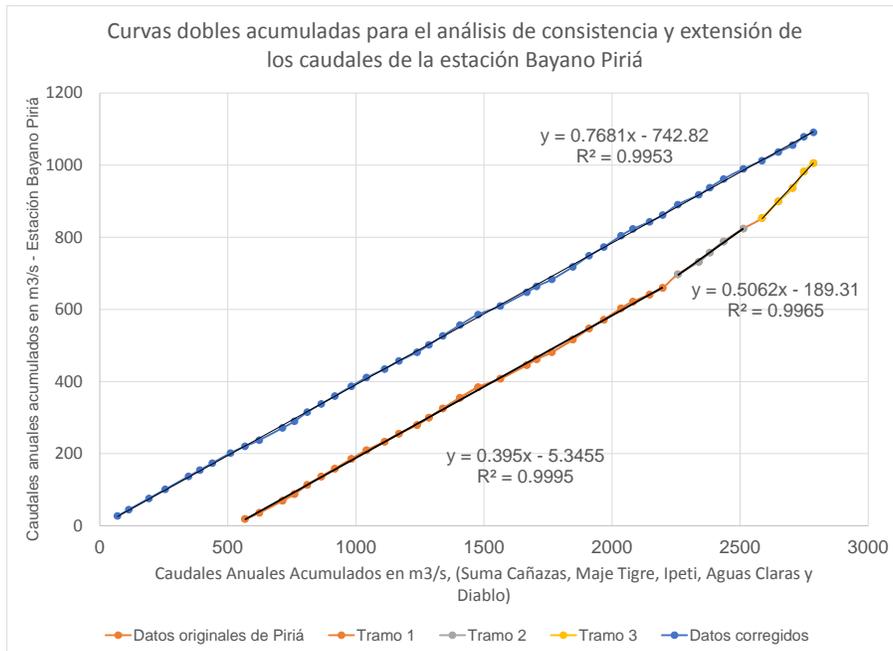


Figura 22. Curvas dobles acumuladas para el análisis de consistencia y extensión de los caudales de la estación Bayano Piriá

En la Figura 23 se muestra el análisis de las curvas dobles masas de los caudales registrados y estimados en la estación Bayano Calle Larga, con la suma de los caudales afluentes. Se observa que el valor estimado en el 2010, mediante balance hídrico diario por ETESA, no guarda relación con los registrados en las estaciones ubicadas en los principales afluentes al lago.

Los caudales de la estación Bayano Calle Larga, que quedó inundada con el Lago, fueron trasladados al Sitio de la Presa Bayano por relación de área, para tener una sola serie, luego se comparó con la suma de los principales afluentes, se observa un saltó brusco en el 2010, en donde aparentemente el valor estimado por balance hídrico para ese año (338 m³/s), no es correcto, en ese año se registra un aumento desproporcionado del caudal, si lo comparamos con los registros de las estaciones cercanas.

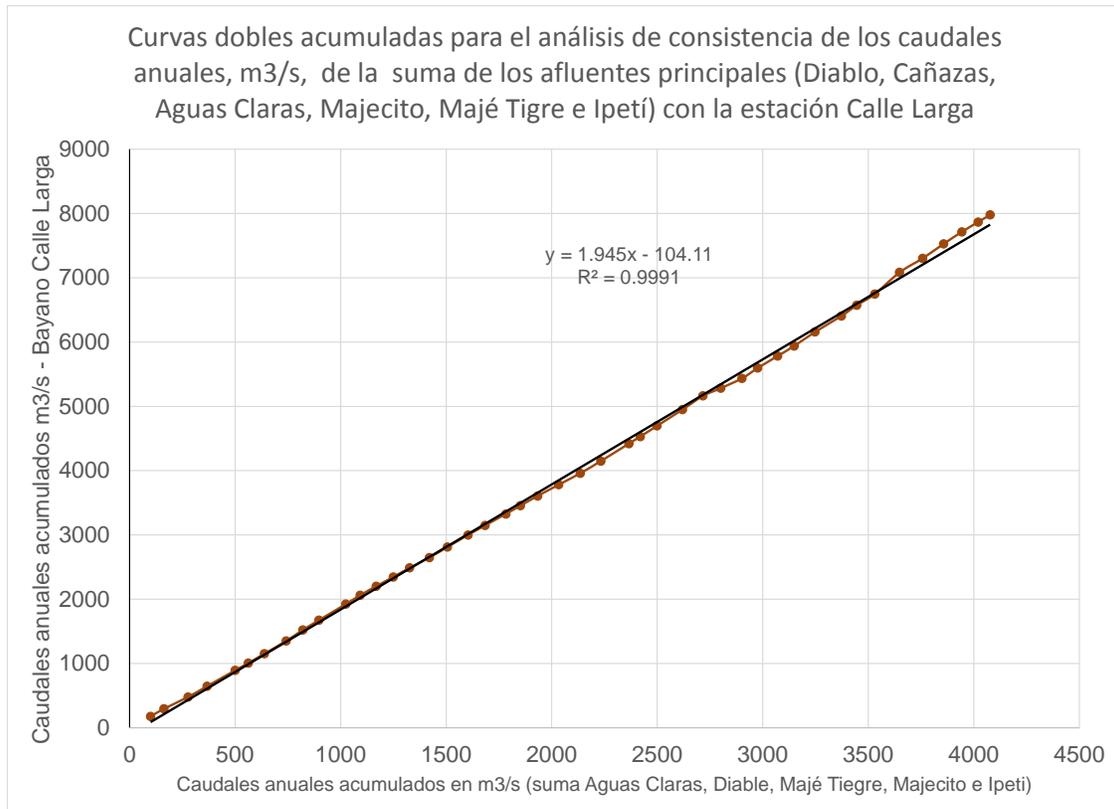


Figura 23. Curvas dobles acumuladas para el análisis de consistencia de los caudales registrados y estimados en Calle Larga

En la Tabla No. 19 se presentan los resultados finales del análisis de las catorce (14) estaciones hidrológicas considerada en este estudio. Se muestra el promedio de los caudales para el periodo en estudio 1971-2001, el promedio de todo el registro y el promedio de los últimos 30 años. La diferencia es menor del 5% en todos los casos, especialmente en aquellas estaciones con más de 50 años de registro (Mamoní y Calle Larga), En el caso de Mamoní, con 57 años de registro, el promedio del periodo 1971-2001, difiere 0.8% del promedio del registro. Significa que el periodo seleccionado es representativo del comportamiento normal de los caudales en el área en estudio.

Tabla No. 19
Resumen de caudales promedios anuales en m³/s

RESUMEN DE CAUDALES PROMEDIOS ANUALES ANUALES EN m ³ /s														
ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN UBICADAS EN LAS CUENCAS DEL RÍO BAYANO (148) Y DEL RÍO PACORA (146).														
AÑO/ Elev (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Bayano Calle Larga 148 01 02 148 01 07	Bayano Piríá 148 01 07	Mamoni Chepo 148 02 01	Majecito Ante Embalse 148 03 01	Maje Tigre y Ajustado 148 04 02	Cañazas Ante Embalse 148 05 01	Diablo Ante Embalse 148 07 01	ABayano ajustados y extendido 148 08 01	Cañita Interamer icana 148 08 02	Tumagan Cañita 148 09 01	Piedra Interamer icana 148 10 01	Aguas Claras Aguas Claras 148 11 01	Ipeti Ipeti 148 12 01	Pacora Interamerica na 146 01 02
1958			9.24											
1959	140		9.70											
1960	202		18.0											
1961	146		12.6											
1962	167		13.2											
1963	169		16.8											
1964	147		11.9											
1965	162		14.5											
1966	203		14.7											
1967	213		15.4											
1968	159		11.0											
1969	178		13.5											
1970	265		23.8			41.7	14.4							
1971	176	27.3	13.1	2.91	8.67	23.4	9.67	12.1	3.42	3.43	2.52	9.8	17.4	10.8
1972	118	17.5	8.4	1.44	5.06	13.4	7.35	9.21	2.60	2.61	1.91	6.62	11.7	6.93
1973	184	31.4	16.2	3.79	9.90	31.4	9.38	13.3	3.25	3.68	2.75	10.3	18.1	13.4
1974	169	25.1	11.8	2.73	6.97	22.2	7.82	11.6	3.00	3.62	2.40	9.45	16.7	9.75
1975	245	36.2	17.2	4.70	13.6	28.4	11.4	16.9	4.93	5.14	3.52	13.7	24.2	16.9
1976	114	17.4	7.56	1.23	5.64	12.5	8.34	7.94	2.24	2.48	1.65	6.4	11.3	6.53
1977	144	19.3	9.41	2.28	6.57	18.0	8.13	11.0	3.05	2.78	2.56	7.8	13.8	7.14
1978	199	28.0	15.0	3.99	11.5	26.2	11.0	12.9	3.93	3.58	2.94	7.53	14.7	13.0
1979	170	18.9	14.0	3.42	9.85	19.7	7.78	11.8	3.11	2.90	2.19	6.24	13.1	11.6
1980	152	17.0	12.8	3.13	9.01	18.2	8.80	9.45	2.59	2.90	1.54	7.13	13.1	10.6
1981	251	33.8	19.8	3.69	10.6	39.0	13.3	19.4	5.48	5.49	4.03	10.3	17.1	16.4
1982	137	18.3	9.49	2.38	6.86	13.8	8.98	8.44	2.39	2.39	1.75	7.46	9.51	7.86
1983	142	25.3	10.0	1.84	5.31	16.3	10.9	7.22	2.04	2.04	1.50	9.47	7.62	8.24
1984	142	23.0	12.2	2.39	6.89	21.5	8.29	9.72	2.74	2.75	2.02	7.07	11.3	10.1
1985	142	21.8	9.65	2.37	6.82	18.7	8.87	9.08	2.57	2.57	1.89	7.11	11.7	7.99
1986	161	27.1	11.2	2.48	7.14	24.9	9.42	11.4	3.22	3.22	2.37	9.08	14.1	9.29
1987	163	24.1	12.8	2.31	6.65	18.2	9.52	14.8	4.18	4.18	3.07	8.83	15.7	10.6
1988	187	23.6	15.8	3.44	9.90	24.7	10.1	12.4	3.51	3.52	2.58	8.22	17.6	13.1
1989	149	22.3	12.3	2.59	7.47	19.3	8.99	11.1	3.13	3.13	2.30	8.16	12.1	10.1
1990	178	24.2	15.4	3.29	9.48	22.6	10.7	11.2	3.16	3.16	2.32	9.24	18.7	12.8
1991	129	20.5	12.6	2.20	6.35	14.2	9.83	12.9	3.65	3.66	2.68	6.61	9.34	10.4
1992	151	25.1	14.1	2.19	6.30	17.7	10.0	11.2	3.17	3.18	2.33	9.46	10.8	11.7
1993	175	29.9	19.2	3.17	9.14	26.4	9.79	10.8	3.04	3.04	2.23	8.18	13.6	15.9
1994	178	28.9	17.3	2.75	7.92	26.7	10.6	12.7	3.58	3.58	2.63	9.70	15.6	14.3
1995	189	23.8	21.6	2.95	8.51	23.4	7.89	13.0	3.67	3.68	2.70	7.27	23.7	17.9
1996	272	38.1	27.4	4.22	12.1	33.4	14.9	14.1	3.98	3.99	2.93	11.2	19.0	22.7
1997	108	16.2	9.4	1.39	4.00	11.0	5.27	10.6	3.00	3.00	2.20	5.06	10.6	7.79
1998	167	19.6	13.1	2.56	7.38	20.3	8.05	11.6	3.28	3.28	2.41	6.48	15.0	10.9
1999	254	34.6	21.5	4.26	12.3	33.7	12.4	19.1	5.40	5.41	3.97	8.79	15.2	17.8
2000	212	30.8	22.6	2.52	7.27	20.0	13.7	19.2	5.43	5.44	4.00	11.5	10.6	18.7
2001	120	24.0	14.6	2.11	6.09	23.9	7.23	12.6	3.55	3.55	2.61	7.06	13.8	12.1
2002	153	31.9	13.3	2.06	5.93	24.6	8.40	11.6	3.28	3.29	2.41	7.35	20.6	11.0
2003	160	18.5	10.6	2.50	7.20	19.8	7.26	9.03	2.55	2.56	1.88	5.89	13.3	8.8
2004	187	19.6	12.3	2.43	6.99	19.2	9.94	12.6	3.56	3.57	2.62	11.5	24.8	10.2
2005	155	18.9	12.5	2.14	6.18	17.0	7.27	8.57	2.42	2.42	1.78	6.65	20.1	10.4
2006	219	29.0	12.4	2.84	8.18	22.5	11.4	12.0	3.38	3.38	2.48	9.22	15.7	10.2
2007	250	27.1	26.2	4.20	12.1	33.3	11.1	16.9	4.76	4.77	3.50	8.53	29.0	21.7
2008	166	20.0	15.7	2.26	6.50	17.9	7.86	9.64	2.72	2.73	2.00	6.74	10.9	13.0
2009	173	24.0	15.4	2.00	5.77	15.8	11.3	9.87	2.79	2.79	2.05	9.84	16.6	12.7
2010	338	27.9	22.0	3.31	9.54	26.2	13.9	15.8	4.46	4.46	3.28	13.5	23.6	18.2
2011	217	22.8	15.0	3.49	10.1	27.6	9.89	12.2	3.44	3.45	2.53	12.6	22.4	12.4
2012	227	23.9	12.0	3.05	8.80	24.2	12.7	15.9	4.50	4.51	3.31	10.2	17.4	10.0
2013	187	19.1	17.4	3.03	8.73	24.0	10.5	13.2	3.72	3.73	2.73	8.30	12.8	14.4
2014	152	23.3	13.5	2.35	6.76	18.6	8.70	10.9	3.08	3.08	2.26	8.14	8.73	11.2
2015	111	12.2	5.20	1.98	5.70	15.6	8.03	10.1	2.84	2.85	2.09	6.14	7.67	4.30
2016	173		9.47											
A PM 71-2001	170	24.9	14.4	2.80	8.10	22.0	9.63	12.2	3.43	3.46	2.53	8.43	14.4	12.0
B PM Registro	178	24.3	14.3	2.76	7.99	22.4	9.81	12.2	3.42	3.44	2.52	8.57	15.3	12.0
C PM Ultimos30 años	183	24.4	15.3	2.74	7.88	22.2	9.89	12.6	3.55	3.55	2.61	8.65	16.0	12.8
DIF % (A-B)	-4.1	2.8	0.8	1.2	1.40	-1.69	-1.83	0.53	0.33	0.59	0.46	-1.71	-6.06	0.02
DIF % ultimos 30 años (-2.9	-0.5	-6.8	1.0	1.39	0.88	-0.84	-3.35	-3.81	-3.20	-3.49	-0.85	-4.09	-6.46
		Estimado Bhidrico			Relación de Área Maje AE				Estimado mediante el metodo de dobles acumuladas					

9. Balance Hídrico Superficial

En áreas relativamente extensas y periodos largos de tiempo (más de 30 años), en donde los almacenamientos se minimizan, el balance hídrico en una cuenca se calculó mediante la siguiente relación:

$$\langle P \rangle - \langle R \rangle = \langle ETR \rangle \pm \Delta S + n$$

Donde:

- <P> = Precipitación media de la cuenca del periodo en estudio (mm)
- <R> = Caudal medio o escurrimiento en altura media de agua sobre la
- <ETR> = Evapotranspiración media de la cuenca del periodo en estudio (mm)
- ΔS = Cambio de almacenamiento igual a cero, para áreas extensas y periodos largos
- η = Término de discrepancia o error.

El símbolo < > indica promedio espacial horizontal y temporal. En este caso asumimos que los cambios de almacenamientos en un periodo largo de tiempo y en áreas extensas tienden a minimizarse y se supone nulo.

Para estimar el caudal medio anual en la cuenca de interés se utilizó el método del balance hídrico superficial.

El análisis de balance hídrico nos permite conocer la disponibilidad del recurso hídrico en el área de estudio. Se analizaron los tres principales componentes del ciclo hidrológico, tales como: la precipitación, la evapotranspiración y el caudal. Se hizo el balance en forma anual, considerando despreciable las variables de almacenamiento en la cuenca.

Para la determinación de los principales componentes del balance hídrico se analizaron treinta y un (31) años (1971-2001) de información de las veinte (20) estaciones de precipitación y las catorce (14) estaciones de caudal disponibles en el área en estudio. Los registros de los caudales se utilizaron para verificar la consistencia del mapa de isoyetas.

El cálculo del balance se realizó para cada una de las catorce (14) subcuencas principales distribuidas en la cuenca del río Pacora y la cuenca del río Bayano. En la Tabla No. 14 se presentan las catorce (14) estaciones hidrológicas consideradas en este estudio, su área de drenaje, caudal promedio correspondiente al periodo 1971-2001, el caudal específico (l/s/km²), calculado con el caudal medido, la precipitación media de la cuenca calculada utilizando las isoyetas anuales correspondientes al periodo 1971-2001, la elevación media de la cuenca utilizando el método de las curvas hipsométricas. En la misma tabla también se incluye la biotemperatura, que se utiliza para calcular la evapotranspiración potencial utilizando el método de Holdridge, la misma fue calculada utilizando la elevación media y las ecuaciones

altotérmicas elaboradas por ETESA y presentadas en el Atlas nacional del 2007. Como vimos en el caso de la estación Tocumen, se calculó Holdridge y Penman con los datos meteorológicos registrados en la estación, se determinó que Holdridge sobreestima la ETP en un 16%, por consiguiente, la ETP estimada con Holdridge se redujo en ese mismo porcentaje.

En la misma tabla también se muestra la evapotranspiración potencial (ETP) y la evapotranspiración real (ETR) calculada con las fórmulas que se presentan en el Atlas Nacional de Panamá 2007, los valores de ETP son muy similares a los estimados con Holdridge. En cuanto a la ETR las diferencias varían entre 4 y 10%, debido a la reducción que se le hizo a la ETP de Holdridge para que fuese comparable con los valores estimados con Penman en la estación Tocumen.

Prácticamente no hay variación entre la ETR calculada para cada subcuenca, porque la variación de las elevaciones medias de las subcuencas es muy baja, entre 153 msnm a 377 msnm, La ETR varía entre 1114 mm a 1118 mm.

Tabla No. 20																
Balance Hídrico Superficial en las cuencas de los ríos Pacora y Bayano periodo 1971-2001																
Estaciones de Caudal	Área de drenajes en km ²	Q Anual medido m ³ /s	Caudal Especifico q (l/s/km ²)	P media anual (mm)	Elev Media msnm	Método de Holdridge		Atlas Nacional 2007 ETP (mm)	ETP (mm) Holdridge		ETR mm (Holdridge)	ETR mm (Atlas)	Escorrentía (R), mm	Q (Balance)		
						Biotem °C	ETP (mm)		ajustado x0.84	RE = ETP/P				F	m ³ /s	%
Cuenca 146																
Pacora Interamericana	278	12.0	43	2828	312	24.8	1462	1500	1228	0.43	0.92	1132	1189	1696	14.9	-25
Cuenca 148																
Bayano Calle Larga	3612	170	47	2580	164	24.7	1458	1456	1225	0.47	0.91	1114	1236	1466	168	1
Bayano Piriá	225	24.9	111	4250	253	24.8	1463	1483	1229	0.29	0.92	1118	1208	3132	22.3	10
Mamoni Chepo	230	14.4	63	3162	289	24.8	1463	1493	1229	0.39	0.93	1118	1197	2044	14.9	-4
Majecito Ante Embalse	47.2	2.80	59	2922	162	24.7	1458	1456	1225	0.42	0.93	1114	1237	1808	2.71	3
Majé Tigre	136	8.10	60	3116	253	24.8	1463	1483	1229	0.39	0.93	1118	1208	1998	8.62	-6
Cañazas Ante Embalse	726	22.0	30	2102	155	24.7	1457	1454	1224	0.58	0.86	1114	1239	988	22.8	-3
Diablo Ante Embalse	103	9.63	93	3911	299	24.8	1462	1496	1228	0.31	0.93	1118	1194	2793	9.12	5
Cañita Ante Bayano	202	12.2	60	3050	332	24.8	1460	1506	1226	0.40	0.93	1116	1183	1934	12.4	-2
Cañita Interamericana	68.8	3.43	50	2758	332	24.8	1460	1506	1226	0.44	0.92	1116	1183	1642	3.58	-4
Turnagantí Cañita	55.6	3.46	62	3013	323	24.8	1461	1503	1227	0.41	0.93	1117	1186	1896	3.34	3
Piedra Interamericana	50.3	2.53	50	2972	377	24.7	1456	1519	1223	0.41	0.93	1113	1169	1859	2.97	-17
Aguas Claras Aguas Claras	72.8	8.43	116	4399	302	24.8	1462	1497	1228	0.28	0.91	1118	1193	3281	7.58	10
Ipeti Ipeti	150	14.4	96	3915	312	24.8	1462	1500	1228	0.31	0.93	1118	1189	2797	13.3	8
Cuenca en estudio	552		40	2388	153	24.7	1457	1453	1224	0.51	0.89	1114	1240	1274	22.3	-1.4

9.1 Análisis de los resultados

El desarrollo del procedimiento nos permitió presentar un análisis más detallado de la precipitación y la escorrentía, considerando que para el registro y proceso de los caudales en las estaciones hidrológicas se le aplican controles más eficaces, en consecuencia, se utilizó la estadística hidrológica para ajustar el mapa de isoyetas, con ayuda del programa ArcGIS.

El ajuste de la lluvia promedio en cada subcuenca, utilizando la escorrentía registrada en las estaciones hidrométricas se realizó hasta obtener una desviación de más o menos 10%, sin embargo, en algunas estaciones hidrométricas no se alcanzó este objetivo, tales como: en Pacora Interamericana (-25%) y en Piedra Interamericana (-17%), por lo tanto, no fueron consideradas en el análisis del balance hídrico de este estudio.

La UNESCO, conjuntamente con ETESA, desarrolló el “Balance Hídrico Superficial de Panamá, período 1971-2002”, Documentos Técnicos del PHI-LAC, que se realizó a nivel nacional. Cabe destacar que el objetivo principal del presente estudio es realizar un Balance Hídrico Superficial actualizado utilizando información hidrometeorológica.

El Balance de este estudio se realizó específicamente para la cuenca del río Bayano con el análisis, revisión, corrección y extensión de los datos hasta completar el periodo 1971-2015; la información utilizada contiene mayores detalles de los datos de las estaciones de lluvia y caudal. Es preciso mencionar que la metodología utilizada para el cálculo de las pérdidas por evapotranspiración es distinta a la utilizado en el “Balance Hídrico Superficial de Panamá, período 1971-2002”, sin embargo, las diferencias no son significativas. En la sección 4.4 del presente documento, que se titula “Hallazgos de la información suministrada por ETESA”, se encuentra la explicación detallada del manejo de la información de las estaciones de lluvia y caudal.

9.1.1 Distribución espacial y temporal del caudal

En la Figura 24 se presenta la distribución espacial de la esorrentía mediante el mapa de caudales específicos en l/s/km² para la cuenca del río Pacora y la cuenca del río Bayano, correspondiente al periodo 1971-2001.

En la figura se puede observar que la parte central de la cuenca del río Bayano, en donde se ubica el lago Bayano hasta la cuenca del río Cañazas se registra los más bajos caudales específicos, entre 30 y 40 l/s/km². La cuenca del río Aguas Claras es la que tiene el más alto caudal específico con 116 l/s/km², le sigue la cuenca alta del río Bayano con 111 l/s/km².

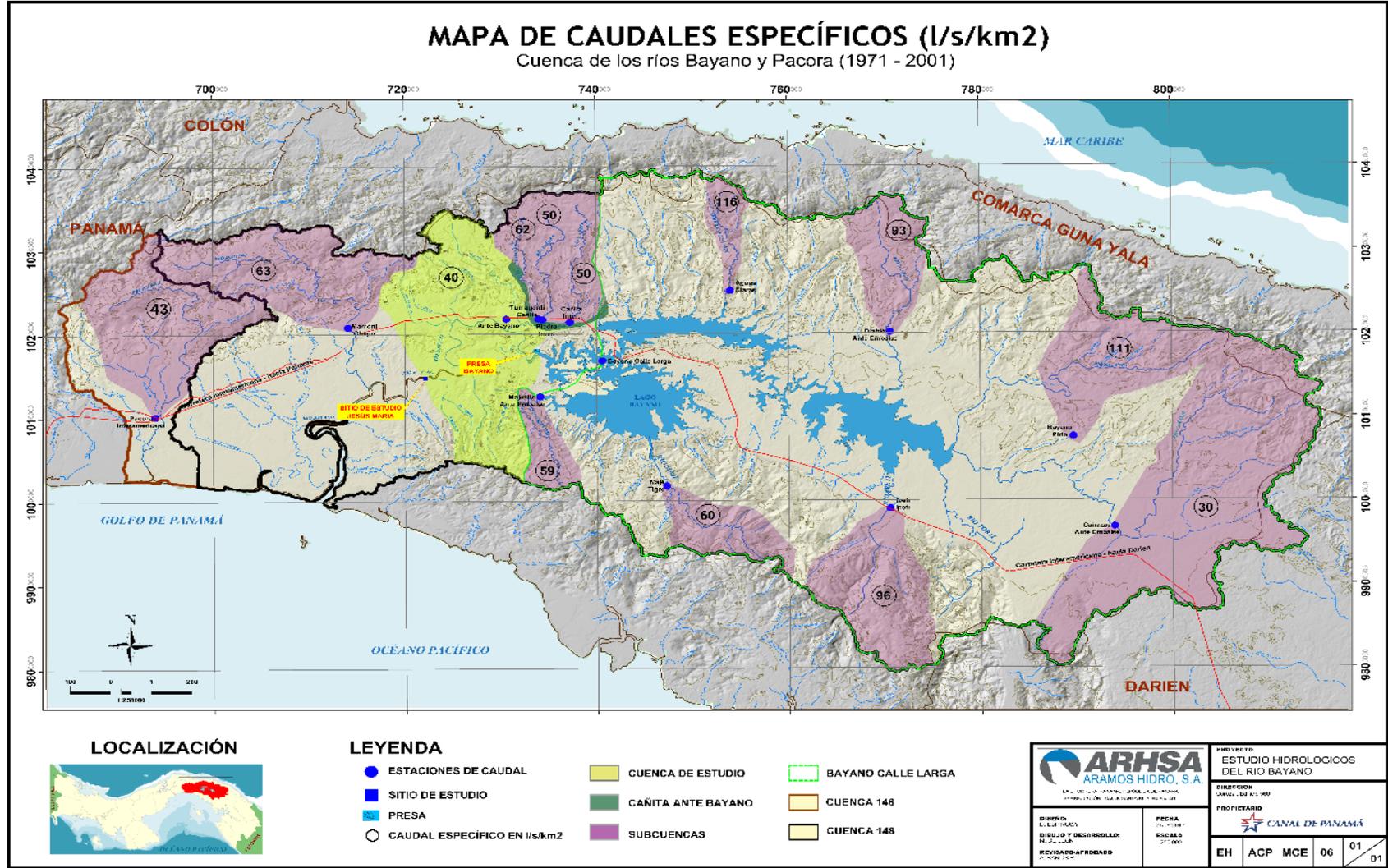


Figura 24. Mapa de caudales específicos (l/s/km²). Cuenca del río Pacora (N°146) y cuenca del río Bayano (N°148). Periodo 1971-2001

En la Figura 25 se presenta la distribución mensual de la escorrentía en mm y los caudales en m^3/s en la cuenca del río Bayano, tomando como base las principales estaciones hidrológicas disponibles dentro de la cuenca. En cuanto a la distribución mensual de los caudales se observan dos comportamientos muy diferentes, en la zona noreste de la cuenca, específicamente en las estaciones Aguas Claras, Diablo y Bayano Piriá, presentan una mejor regulación natural de los caudales, característica del régimen del Atlántico, con 30% a 40% del caudal anual en el periodo seco y 60% y 70% del escurrimiento en la estación lluviosa, el valor mínimo se registra en el mes de marzo y el valor máximo en los meses de noviembre y diciembre en las tres estaciones. En las zonas sur y noroeste de la cuenca, específicamente en las estaciones Ipetí, Majé Tigre, Mamóni y Cañita Ante Bayano, la distribución mensual de los caudales tiene una menor regulación natural, en el periodo seco se registra entre el 8% y 20% del caudal anual, con un solo valor máximo en el mes de octubre.

9.1.2 Caudal medio anual, diario y mensual estimado en la Subcuenca en estudio

La subcuenca en estudio está comprendida entre la Presa Bayano y el sitio conocido como Jesús María, tiene un área de drenaje de 522 km^2 . Con el mapa de isoyeta ya calibrado, se determina que la precipitación media en la cuenca en estudio es de 2388 mm y la pérdida anual por evapotranspiración es de aproximadamente 1114 mm , resultando un caudal medio anual de $22.3 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que representa un caudal específico de 40 l/s/km^2 .

Para estimar los caudales diarios del río Bayano en el sitio Jesús María, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Se selecciona la estación Cañita Ante Bayano como la estación base para estimar los caudales diarios. La subcuenca de esta estación Cañita Ante Bayano forma parte de la cuenca en estudio, el área de drenaje es de 202 km^2 , dispone de caudales diarios desde 1971 hasta 2013, estos caudales fueron revisados, los caudales diarios faltantes fueron estimados con las estaciones Mamóni y Aguas Claras, mediante relación de área considerando la precipitación media. En la Figura 26 se muestra el hidrograma de los caudales diarios de la estación Cañita Ante Bayano, se observa que en los años 2012 y 2013 se registraron dos caudales promedios diarios de aproximadamente $800 \text{ m}^3/\text{s}$, específicamente el 11 de septiembre del 2012 y el 23 de noviembre de 2013, fuera de la tendencia de lo registrado en esas fechas, en las estaciones cercanas. Por ejemplo, en Aguas Claras en esas fechas se registró $26.8 \text{ m}^3/\text{s}$ y $37.9 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. Por esta razón, en el sitio en estudio, se estimarán los caudales diarios para el periodo 1977-2011, considerando los caudales turbinados y vertidos en la presa Bayano.
2. Una vez completada la serie de caudales diarios en Cañita Ante Bayano, se procedió a distribuir diariamente el caudal medio anual estimado mediante el balance hídrico en el río Bayano, sitio en estudio Jesús María. Se mantuvo el caudal medio anual estimado mediante balance hídrico en el Sitio en estudio ($22.3 \text{ m}^3/\text{s}$), luego se asumió que, la subcuenca Presa Bayano - Sitio en estudio Jesús María mantienen la misma distribución

de caudales diarios que la estación Cañita Ante Bayano. De los caudales promedios diarios se calcularon los caudales promedios mensuales, ver Tabla No. 21.

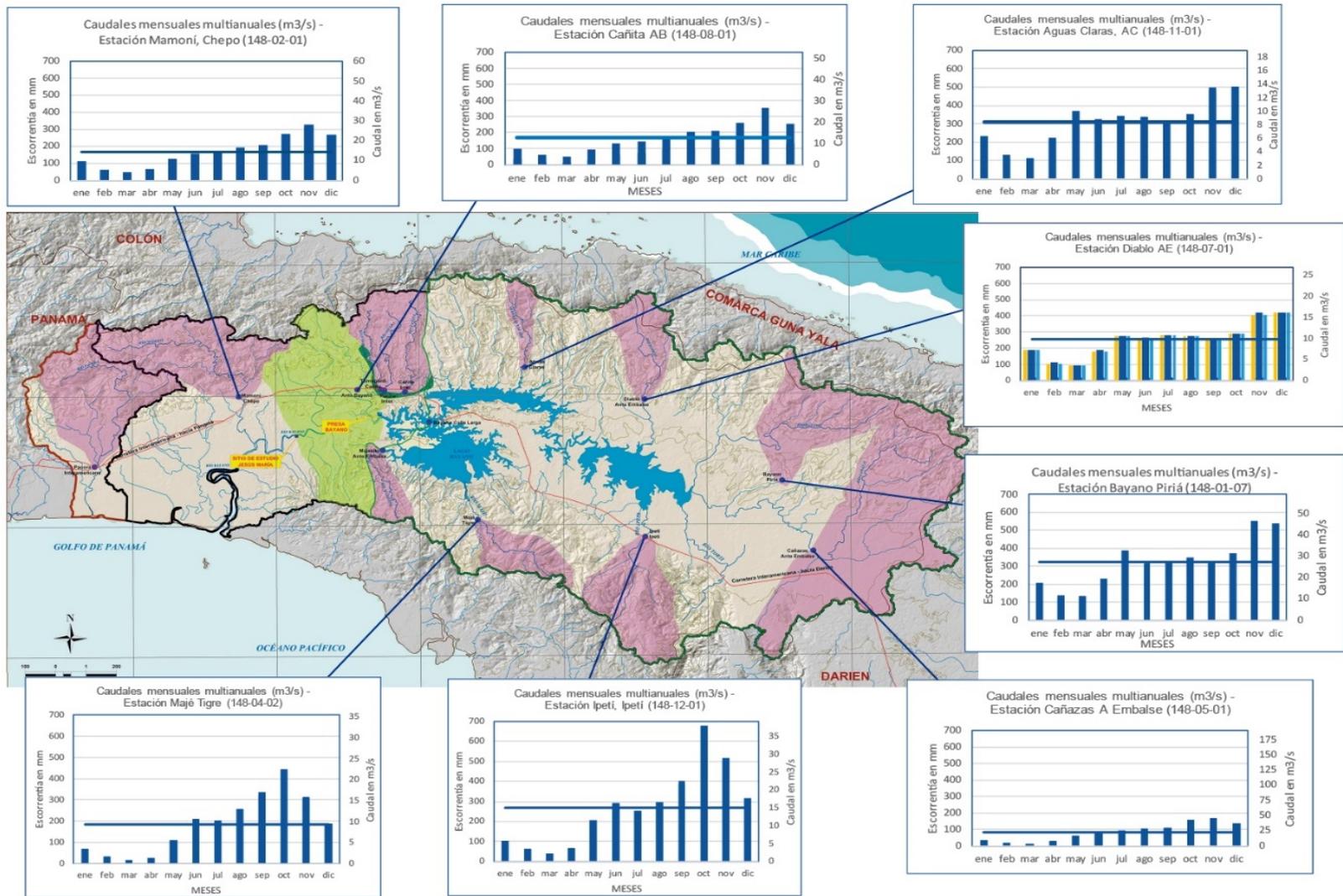


Figura 25. Distribución mensual de la escorrentía en mm y los caudales en m³/s en la cuenca del río Bayano (N°148)

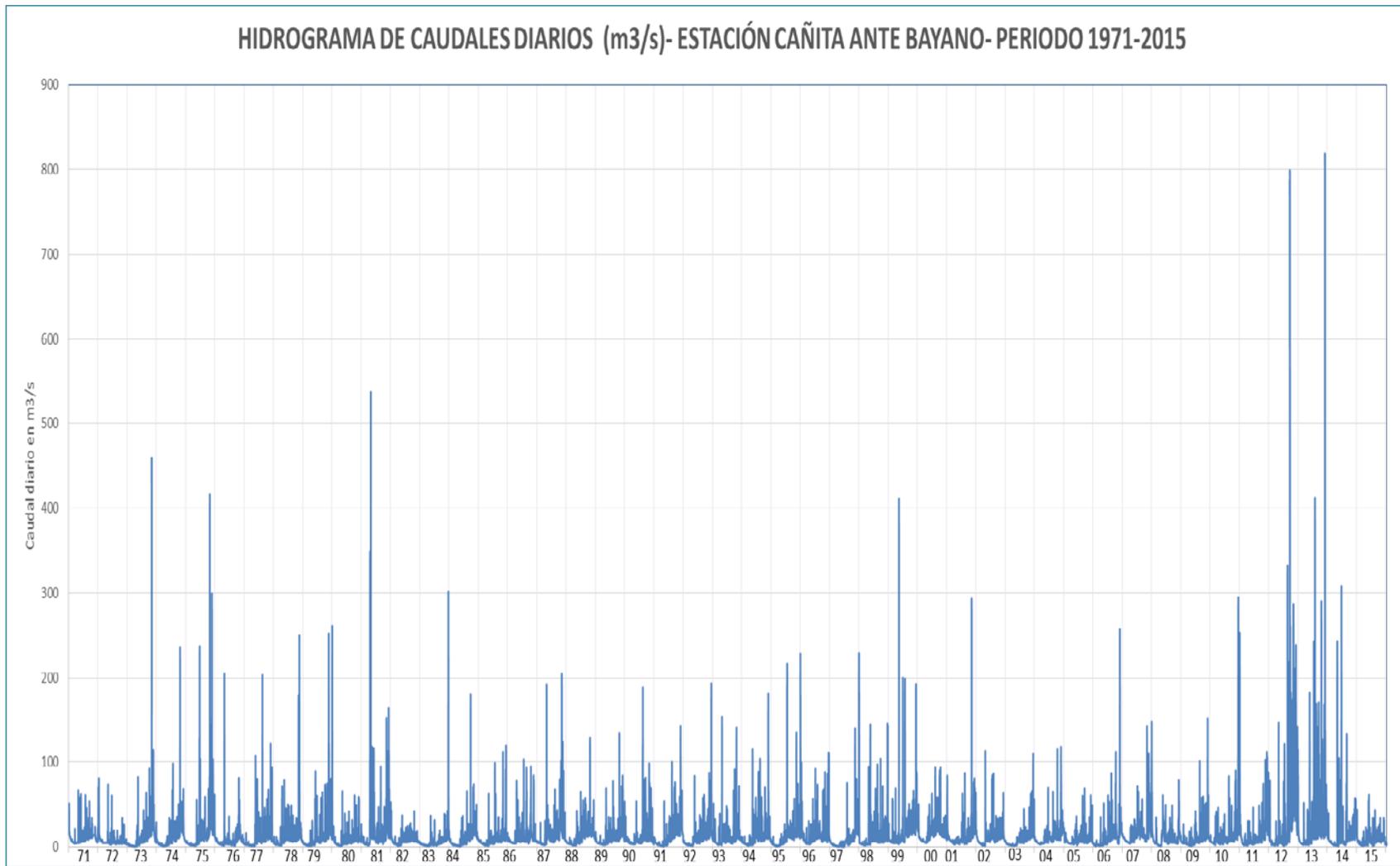


Figura 26. Hidrograma de caudales diarios en (m³/s) – Estación Cañita Ante Bayano. Periodo 1971-2015

Tabla No. 21
Resumen de caudales promedios mensuales, 1971-2011

RÍO BAYANO SITIO DE PRESA JESÚS MARÍA

Resumen de caudales promedios mensuales en m³/s
1971-2011

Año	Área de drenaje 552 km ² Elevación 10 msnm												AÑO
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1971	27.6	12.5	10.3	8.97	23.3	23.1	22.5	27.4	30.0	28.7	25.8	15.3	21.3
1972	36.8	13.4	9.12	9.12	16.2	16.6	12.8	9.16	9.42	13.6	14.8	8.92	14.2
1973	4.94	3.13	2.09	2.33	16.1	14.7	16.5	33.4	25.9	50.8	101.9	22.7	24.5
1974	10.4	5.67	3.55	3.49	9.17	17.5	29.3	23.4	30.1	50.8	48.7	24.4	21.4
1975	9.28	5.84	4.91	3.94	14.4	45.9	23.1	31.8	21.5	73.9	96.5	45.1	31.3
1976	15.5	8.31	6.77	23.0	11.1	13.7	7.33	6.77	14.3	34.6	23.7	11.1	14.7
1977	7.38	5.61	3.45	3.03	19.9	24.5	17.1	33.4	23.9	40.1	45.4	20.9	20.4
1978	7.97	7.80	6.38	22.5	28.7	29.6	30.4	26.9	20.2	24.2	64.6	18.2	24.0
1979	7.13	4.58	3.77	11.5	7.17	30.6	14.6	20.4	22.3	37.6	67.1	35.2	21.8
1980	39.8	8.71	4.65	4.93	15.0	14.1	17.9	13.9	17.6	27.2	24.4	21.6	17.5
1981	14.4	7.58	6.81	102.4	42.4	39.2	16.5	29.2	18.5	23.5	76.3	54.4	35.9
1982	25.4	9.45	5.34	7.62	19.5	14.3	16.7	18.6	22.4	22.7	15.5	10.0	15.6
1983	6.53	4.85	3.45	3.30	11.7	8.78	7.18	9.36	12.0	16.9	22.2	54.2	13.4
1984	11.7	5.32	4.14	2.79	5.89	15.8	9.51	27.5	33.4	35.5	41.8	22.4	18.0
1985	12.5	7.83	5.53	5.29	15.2	13.0	23.3	16.7	19.5	25.6	19.7	37.7	16.8
1986	12.8	9.75	9.76	23.8	23.8	18.6	23.8	29.6	17.1	42.0	28.3	13.7	21.1
1987	9.52	9.58	5.50	25.0	30.9	17.8	18.5	30.1	29.4	70.0	61.7	20.4	27.4
1988	8.68	8.34	5.32	5.76	18.4	15.7	30.8	35.5	38.1	48.6	34.3	26.6	23.0
1989	10.8	9.70	6.55	6.12	16.4	20.4	20.1	29.1	20.5	32.3	38.0	35.8	20.5
1990	18.8	11.0	7.91	8.01	17.4	11.3	11.5	44.4	24.8	34.2	43.9	15.2	20.7
1991	10.6	5.79	3.92	2.69	12.2	13.9	18.2	34.8	44.6	45.2	59.3	35.8	23.9
1992	8.33	5.19	4.69	4.48	26.2	12.8	16.7	24.6	35.1	30.0	42.9	38.5	20.8
1993	21.7	8.07	10.6	20.3	19.1	23.7	16.6	11.1	29.5	35.9	26.9	15.5	19.9
1994	9.76	6.42	5.79	8.43	26.6	31.4	30.1	40.2	22.6	30.0	51.3	18.8	23.5
1995	8.34	3.25	2.44	5.64	10.8	17.6	49.2	30.1	25.3	32.0	47.0	57.0	24.1
1996	41.8	15.1	10.0	10.9	22.3	25.4	35.3	29.8	18.9	35.1	30.7	37.3	26.1
1997	8.07	4.37	2.35	2.01	6.28	7.35	16.8	12.8	14.6	19.1	53.4	64.2	17.6
1998	7.49	5.78	6.27	15.4	21.5	20.3	32.4	25.1	25.8	20.6	36.1	41.0	21.5
1999	14.7	22.7	15.9	11.8	38.8	33.5	34.4	35.5	42.8	47.0	47.4	80.5	35.4
2000	30.1	14.4	12.0	12.7	28.9	39.3	29.3	58.0	73.0	36.0	30.8	37.3	33.5
2001	26.3	13.2	9.34	11.5	10.9	13.3	23.9	15.2	20.0	41.0	40.3	54.0	23.2
2002	15.6	7.90	5.48	19.3	17.5	19.5	54.7	17.1	21.9	28.7	33.5	16.8	21.5
2003	7.01	4.95	4.20	3.64	7.97	16.4	16.2	17.8	19.3	27.9	38.6	36.9	16.7
2004	12.2	7.67	7.85	10.8	18.9	24.7	17.0	26.3	26.5	32.0	56.3	39.6	23.3
2005	13.9	9.59	7.78	9.11	20.3	11.6	19.3	22.8	20.5	12.7	29.1	13.6	15.9
2006	3.76	5.59	7.66	6.36	15.8	14.5	22.2	39.7	30.9	31.5	53.4	34.3	22.1
2007	18.1	12.0	9.03	19.7	23.2	32.3	37.7	36.7	24.5	29.8	70.3	61.4	31.2
2008	16.5	13.4	4.37	7.58	43.3	18.9	12.1	17.4	19.6	11.6	29.2	20.0	17.8
2009	10.8	9.31	7.13	5.53	8.67	18.8	13.5	24.7	26.5	28.3	49.7	16.3	18.3
2010	9.82	11.9	21.5	10.6	12.6	18.8	11.7	28.6	21.6	20.3	44.9	138	29.2
2011	21.0	6.65	7.30	16.5	11.1	12.1	13.2	17.1	19.8	34.9	64.3	46.7	22.6
Promedio	15.0	8.59	6.85	12.1	18.7	20.3	21.7	25.9	25.2	33.2	44.6	34.6	22.2
ST.	9.39	3.86	3.70	15.9	9.13	8.80	10.4	10.5	10.7	13.2	19.8	23.8	5.53
Min	3.76	3.13	2.09	2.01	5.89	7.35	7.18	6.77	9.42	11.6	14.8	8.92	2.01
Máx	41.8	22.7	21.5	102.4	43.3	45.9	55	58.0	73	74	102	138	138

ST. Desviación Estándar

Para verificar la consistencia de los caudales estimados en el sitio en estudio, con la precipitación en la cuenca, se calculó la precipitación media de la cuenca del río Bayano hasta el sitio de estudio Jesús María, por año, desde 1971 hasta el 2011. Para tal fin se utilizó el método de polígono de Thiessen, pero los pesos fueron ajustados hasta obtener la precipitación media de la cuenca estimada mediante el método de isoyetas.

En la Tabla No. 16 se presentan las estaciones ubicadas cerca de la subcuenca en estudio hasta el Sitio de Presa con el correspondiente peso. Este método nos da una precipitación media anual de 2389 mm prácticamente igual al valor que se obtuvo aplicando el método de isoyetas (2388 mm).

Tabla No. 22					
Precipitación media, Subcuenca río Bayano (SPBayano - SEJesús María), método de Thiessen					
Estación	Nomenclatura	P anual (mm)	Peso = %Área	PXPeso	Pmedia
Chepo	148 001	2137	12	25644	2389
Cañita Isla de Pato	148 002	2461	27	66447	
Bayano Campamento	148 011	1858	8	14864	
Río Majé	148 008	2489	53	131917	
Total			100	238872	

Los pesos se ajustaron considerando el trazado de las isoyetas hasta obtener la precipitación media cerca de 2388 mm. Con los pesos ajustados se estimó, por año, la precipitación media anual de la subcuenca en estudio. Luego, los caudales promedios anuales estimados en Sitio de estudio Jesús María, se transformaron en escorrentía en milímetros y se compararon, mediante el método de dobles acumuladas, con las precipitaciones totales anuales de la subcuenca en estudio.

En la Tabla No. 23 se muestra la precipitación y la escorrentía por año con los correspondientes acumulados, para verificarlos mediante el método de dobles acumuladas, y en la Figura 27, se representa gráficamente el resultado. Se observa que los puntos se ajustan perfectamente en una línea recta, significa que los caudales estimados son consistentes con la lluvia que se registra en el área. La pendiente de la recta, 0.56, es igual al coeficiente de escorrentía, que es igual a la escorrentía media entre la precipitación media de la cuenca.

Tabla No. 23
Análisis de curvas doble masa entre la precipitación media de la cuenca en estudio y la escorrentía
estimada en milímetros. Periodo 1971-2011

AÑO	Cuenca					Precipitación anual Acumulada en mm					Caudal y escorrentía -Cuenca en estudio		
	Cañita		Bayano P(mm)		Pm	Bayano P(mm)					Caudal Promedio	Escorrentía	Escorrentía
	Chepo	Isla Patc	Camp	Río Majé	Subcuenca	Chepo	Charare	Camp	Río Majé	Subcuenca	Annual	Annual	Acumulada
Peso	148-001	148-002	148-011	148-008	en estudio	148-001	148-015	148-011	148-008	en estudio	m3/s	mm	
1971	2237	2576	2026	2333	2362	2237	2576	2026	2333	2362	21.3	1286	1286
1972	1662	1913	1456	2183	1990	3898	4489	3482	4516	4352	14.2	857	2142
1973	2646	3046	2396	2457	2634	6544	7535	5878	6973	6986	24.5	1482	3625
1974	1984	2284	2288	1797	1990	8528	9820	8165	8770	8976	21.4	1292	4917
1975	3052	3514	2708	3126	3189	11580	13334	10873	11896	12165	31.3	1894	6811
1976	1422	1638	1454	2570	2092	13002	14972	12327	14467	14256	14.7	888	7698
1977	1926	2218	1582	2602	2335	14928	17190	13909	17069	16592	20.4	1232	8930
1978	2393	2755	1840	2868	2698	17321	19945	15749	19937	19290	24.0	1448	10378
1979	2529	2912	2602	2862	2814	19849	22856	18351	22798	22104	21.8	1319	11697
1980	2299	2648	1775	2657	2541	22149	25504	20127	25456	24646	17.5	1057	12754
1981	2850	3281	2076	2944	2954	24998	28785	22203	28400	27600	35.9	2171	14925
1982	1627	1873	1502	2161	1967	26625	30659	23705	30561	29567	15.6	944	15869
1983	1546	1780	1747	2114	1926	28171	32439	25452	32675	31493	13.4	808	16677
1984	1766	2034	1655	1933	1918	29937	34473	27106	34609	33411	18.0	1087	17764
1985	2112	2432	1787	1871	2045	32050	36905	28893	36480	35456	16.8	1016	18780
1986	1942	2237	1530	2146	2097	33992	39142	30423	38626	37553	21.1	1275	20055
1987	2024	2331	1928	2244	2215	36016	41472	32352	40870	39769	27.4	1653	21708
1988	2904	3344	1849	2864	2917	38920	44816	34201	43734	42686	23.0	1390	23098
1989	2143	2467	1645	2583	2424	41062	47283	35846	46316	45109	20.5	1238	24335
1990	2276	2621	1733	2505	2447	43338	49904	37578	48822	47556	20.7	1251	25586
1991	1798	2070	1453	2171	2041	45136	51974	39031	50993	49598	23.9	1445	27031
1992	1406	1618	1679	1834	1712	46541	53592	40711	52827	51310	20.8	1256	28287
1993	1924	2215	1715	2541	2313	48465	55807	42425	55367	53622	19.9	1203	29490
1994	1899	2186	1831	1867	1954	50363	57993	44256	57234	55576	23.5	1417	30907
1995	2594	2987	2417	2918	2858	52957	60980	46674	60152	58434	24.1	1454	32361
1996	2425	2792	2532	3821	3273	55382	63773	49205	63973	61707	26.1	1575	33936
1997	1711	1970	1359	2260	2044	57093	65743	50564	66234	63751	17.6	1064	34999
1998	2165	2492	2201	3451	2938	59258	68235	52765	69685	66688	21.5	1298	36297
1999	2318	2669	2292	2946	2743	61575	70904	55057	72631	69432	35.4	2140	38437
2000	2064	2377	2070	2794	2536	63639	73281	57127	75425	71968	33.5	2023	40460
2001	1851	2132	1331	2238	2090	65490	75412	58458	77663	74058	23.2	1404	41864
2002	1803	2076	1590	1994	1961	67293	77488	60049	79657	76019	21.5	1299	43163
2003	1932	2224	1604	2570	2323	69225	79713	61653	82226	78342	16.7	1010	44174
2004	1695	1952	1737	3009	2464	70920	81664	63390	85235	80806	23.3	1409	45583
2005	2048	2359	1815	3074	2657	72968	84023	65205	88309	83463	15.9	958	46541
2006	2641	3041	2227	3117	2968	75609	87064	67432	91426	86431	22.1	1337	47878
2007	3011	3468	2270	3061	3102	78621	90532	69701	94488	89533	31.2	1886	49765
2008	2601	2994	1976	2802	2763	81221	93526	71677	97289	92296	17.8	1078	50843
2009	2261	2604	1561	1851	2080	83482	96130	73238	99140	94376	18.3	1103	51946
2010	3394	3908	2762	3231	3396	86876	100038	76000	102370	97772	29.2	1764	53711
2011	2891	3329	2021	2185	2565	89767	103367	78020	104555	100337	22.6	1363	55073
Promedio	2137	2461	1858	2489	2389						22.2	1,343	

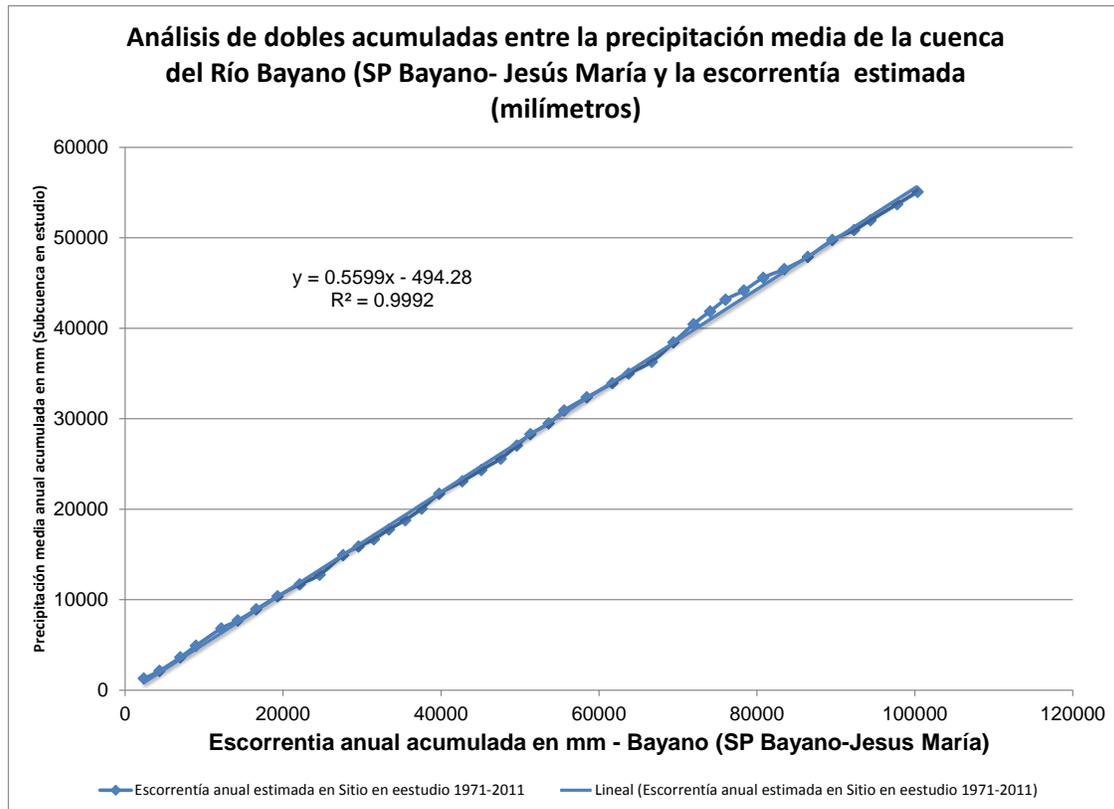


Figura 27. Análisis doblemente acumulativo, precipitación media versus escorrentía media anual en mm. Cuenca en estudio río Bayano (SP Bayano- Jesús María)

9.1.3 Caudales diarios del río Bayano hasta el sitio Jesús María

Seguidamente se estiman los caudales diarios de toda la cuenca del río Bayano hasta el Sitio de Estudio Jesús María, que comprenden los caudales diarios estimados en la subcuenca Presa Bayano – sitio Jesús María más los caudales turbinados más los caudales vertidos. Se determinó que el caudal multianual correspondiente al periodo 1977-2011 es de 189 m³/s. Estos caudales son regulados por la Central Hidroeléctrica Bayano. En la tabla se presenta un resumen de los caudales promedios mensuales. El área de drenaje hasta ese sitio es de 4202 km². En los Cuadros B-1 al B-35 del Anexo B se presentan, por año, el resumen de los caudales diarios estimados en el sitio en estudio Jesús María.

En la figura siguiente se presenta la variación de los caudales mensuales en el sitio Jesús María. Se observa que el caudal mensual mínimo se registra en los meses de febrero, agosto y septiembre, variando entre 161 m³/s y 165 m³/s; el máximo, en diciembre con 223 m³/s, le sigue abril con 216 m³/s.

Tabla No. 24
Resumen de caudales promedios mensuales en m³/s

RÍO BAYANO HASTA EL SITIO EN ESTUDIO JÉSUS MARÍA
 1977-2011

ESTE 719 600 NORTE 1011 600		Área de drenaje 4172 km ² Elevación 10 msnm											
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1977	81.0	64.9	78.3	73.4	75.8	80.0	92.8	93.4	124	193	158	145	105
1978	140	171	124	157	227	257	241	248	257	256	262	172	209
1979	177	162	218	268	258	246	178	136	159	150	164	171	191
1980	189	134	239	257	236	233	158	128	93	110	103	111	166
1981	101	126	168	325	341	288	295	292	269	240	211	319	248
1982	241	168	225	200	181	200	238	192	158	97.8	131	199	186
1983	210	207	170	156	127	164	122	157	134	94.1	115	152	151
1984	92.5	156	154	192	182	227	189	123	152	131	101	104	150
1985	146	113	235	276	162	132	147	116	135	78.9	61.3	129	144
1986	80.5	227	215	308	275	246	239	92	133	154	74.7	65.9	176
1987	163	199	304	181	240	242	155	136	140	114	147	170	183
1988	188	98.7	112	257	220	124	118	123	130	181	254	167	164
1989	102	83.6	198	255	238	201	197	218	94.2	154	169	167	173
1990	86.9	169	164	259	193	261	251	160	183	156	170	156	184
1991	230	187	214	224	212	230	157	151	240	173	267	82.9	197
1992	122	143	117	131	104	157	113	83.2	82.1	83.2	283	208	136
1993	105	159	203	285	215	221	231	89.7	120	250	117	116	176
1994	145	212	293	259	194	191	144	221	293	138	132	87.1	193
1995	226	169	173	276	240	226	168	187	164	147	141	281	200
1996	319	178	178	304	341	322	358	363	349	302	139	257	284
1997	202	213	191	229	225	136	151	69.0	81.2	74.2	112	169	154
1998	111	189	259	187	141	130	142	92.9	90.2	158	153	195	154
1999	156	136	218	179	316	253	382	242	231	316	276	394	258
2000	308	181	248	175	242	268	254	282	247	194	330	316	254
2001	274	206	173	135	141	70.4	60.1	61.8	56.8	112	69.6	157	126
2002	161	133	154	189	142	109	169	275	163	299	268	245	192
2003	181	206	147	57.8	69.5	115	96.4	113	301	354	262	122	169
2004	179	183	228	150	123	156	78.7	132	81.3	117	319	313	172
2005	130	127	303	193	130	92.5	326	148	70.4	133	117	410	181
2006	326	51.2	145	163	113	206	147	172	276	347	303	469	227
2007	130	225	183	221	163	154	307	100	87	295	624	367	238
2008	284	172	222	333	234	116	110	119	151	153	178	219	191
2009	181	148	160	225	119	92.1	196	181	189	350	94.4	145	173
2010	46.0	48.8	204	255	364	299	179	166	187	182	544	681	263
2011	376	298	157	229	312	159	121	186	137	275	340	337	244
Promedio	177	161	194	216	203	189	186	161	165	187	206	223	189
ST.	79.4	52.6	52.7	66.0	76.3	68.0	79.2	70.4	75.0	84.7	125	129	41.5
Min	46.0	48.8	78.3	57.8	69.5	70.4	60.1	61.8	56.8	74.2	61.3	65.9	46.0
Máx	376	298	304	333	364	322	382	363	349	354	624	681	681

ST. Desviación Estándar

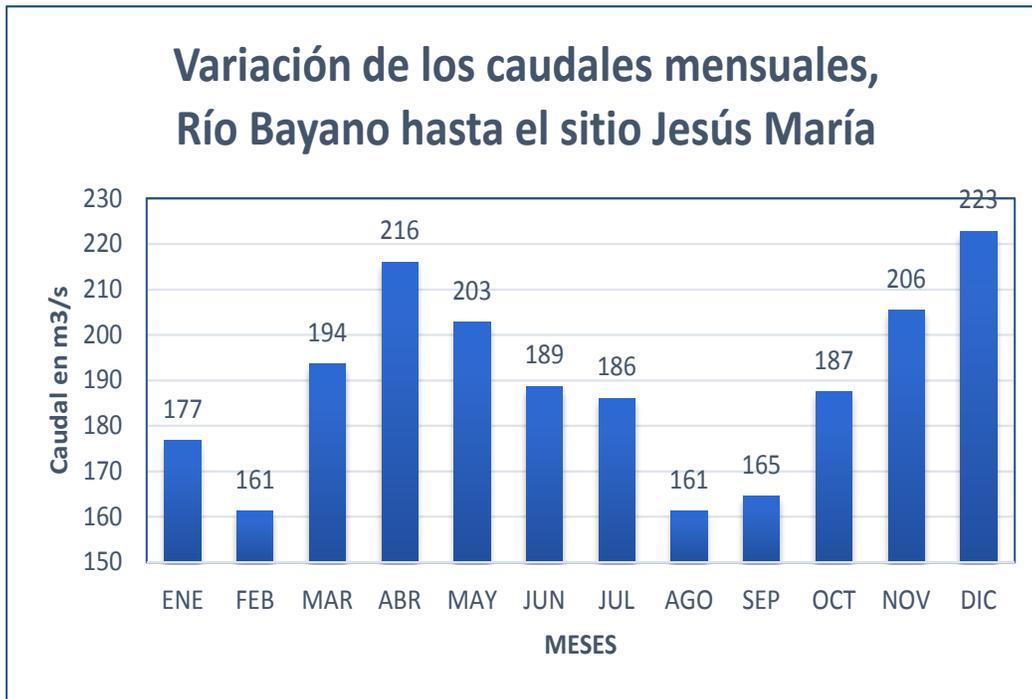


Figura 28. Variación de los caudales mensuales en el río Bayano hasta el sitio en estudio Jesús María

9.1.4 Curva de duración de caudales diarios

Se determinó las curvas de duración de caudales promedios diarios estimados en el sitio de estudio Jesús María. Estas curvas permiten observar la variabilidad de dichos caudales en el tiempo 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.

La Tabla No. 25 se presentan los valores de la curva de duración de caudales diarios y en la Figura 29 se muestra las curvas de duración de caudales promedios diarios correspondientes al periodo 1977-2011, en la misma gráfica también se incluye la de los años más seco (1977) y húmedo (1996) del período.

En la Tabla No. 26 se presentan los caudales característicos del río Bayano hasta el sitio en estudio Jesús María, correspondiente al periodo 1977-2011, los cuales fueron extraídos de la curva de duración de caudales promedios diarios correspondiente a los caudales de la subcuenca Sitio de Presa Bayano-Sitio en estudio Jesús María más los caudales turbinados más los caudales vertidos.

Tabla No. 25
Curva de duración de caudal diario (m³/s),
Río Bayano Sitio de Estudio Jesús María

Rango Inferior	Rango Superior	Valores por Rango	Valores Acumulados	Probabilidad %
800	1298	10	10	0.08
700	800	29	39	0.31
600	700	95	134	1.05
500	600	168	302	2.36
400	500	257	559	4.37
350	400	556	1115	8.72
320	350	521	1636	12.80
300	320	437	2073	16.22
280	300	549	2622	20.51
260	280	558	3180	24.87
240	260	683	3863	30.22
220	240	753	4616	36.11
200	220	712	5328	41.68
190	200	403	5731	44.83
180	190	424	6155	48.15
170	180	427	6582	51.49
160	170	379	6961	54.45
150	160	404	7365	57.61
140	150	438	7803	61.04
130	140	421	8224	64.33
120	130	462	8686	67.94
110	120	469	9155	71.61
100	110	431	9586	74.98
90	100	356	9942	77.77
80	90	360	10302	80.59
70	80	347	10649	83.30
60	70	352	11001	86.05
50	60	299	11300	88.39
40	50	298	11598	90.72
30	40	281	11879	92.92
20	30	346	12225	95.63
10	20	374	12599	98.55
2.13	10	184	12783	99.99

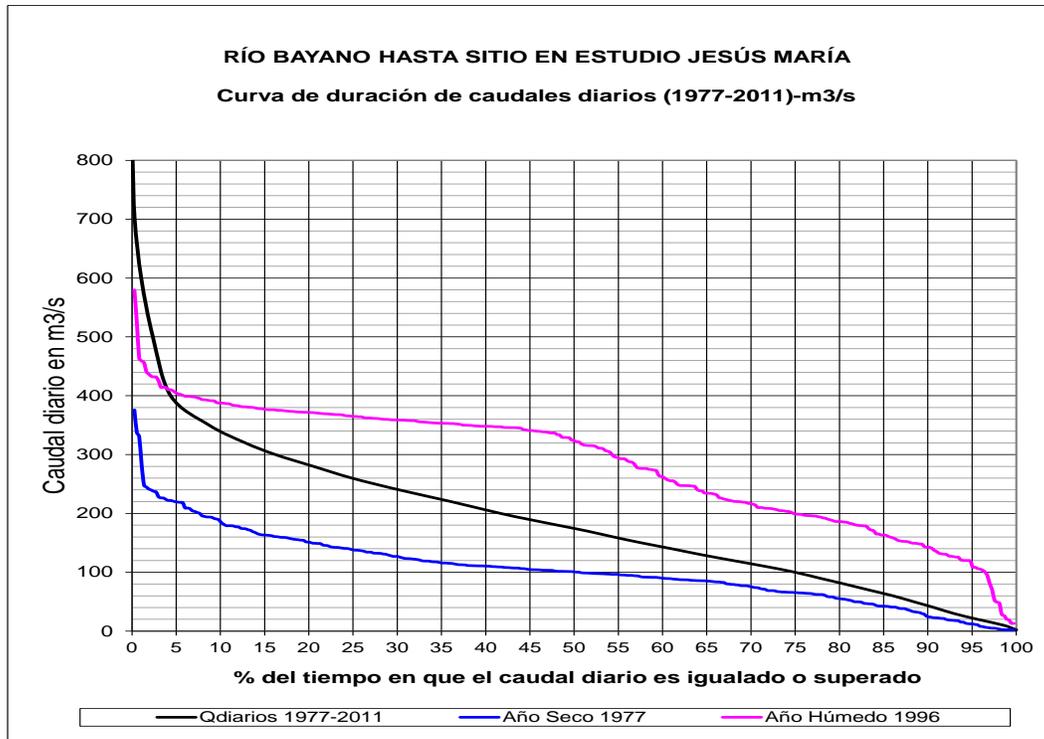


Figura 29. Curva de duración de Caudales diarios en m³/s, del río Bayano hasta el Sitio Jesús María. 1977 - 2011

Tabla No. 26							
Características de los caudales promedios diarios del río Bayano hasta el Sitio en Estudio Jesús María							
Punto de interés	Caudales diarios asegurados en m ³ /s						
	Máximo Absoluto	5% - máximo característico	20%	50% semipermanente	80%	95% mínimo característico	Mínimo absoluto
Río Bayano SE JM	1298	390	280	175	80	20	2.13

9.1.5 Caudal ecológico

El caudal ecológico es el caudal mínimo necesario para mantener las comunidades acuáticas asociadas al período más crítico o de estiaje del río. Se refiere a la necesidad de hacer desembalses aguas abajo del sitio de presa de derivación a fin de garantizar la continuidad de un flujo de agua suficiente para mantener la vida acuática aún en las épocas más secas del río.

En este estudio, el caudal ecológico para el Proyecto Bayano es de 18.9 m³/s. Este valor es el exigido por ANAM en la Resolución/ANAM AG-0127-2006, del 3 marzo de 2006 (publicada en la

Gaceta Oficial N° 25,511 del 27 de marzo de 2006), en donde el caudal ecológico en el sitio evaluado es igual al 10% del caudal medio interanual (ver Figura 30).

Tabla No. 27													
Resumen mensual de caudales mínimos promedios diarios													
RÍO BAYANO SITIO DE PRESA JESÚS MARÍA													
Resumen de caudales mínimos diarios en m ³ /s													
1977-2011													
ESTE 719 600							Área de drenaje 4172 km ²						
NORTE 1011 600							Elevación 10 msnm						
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1977	5.46	4.91	2.52	2.13	2.13	12.3	15.4	11.1	21.6	93.1	22.2	36.3	19.1
1978	35.1	96.8	17.9	16.9	75.5	141	101	103	83.9	95.2	139	122	85.6
1979	70.9	107	47.2	163	176	156	27.3	30.6	15.0	34.9	18.5	37.8	73.7
1980	73.5	34.2	90.1	136	120	109	11.9	9.15	10.8	13.7	12.5	11.8	52.7
1981	12.5	5.74	48.1	122	247	153	161	171	124	59.6	36.9	102	104
1982	58.6	11.0	46.5	50.4	27.0	54.8	100	33.5	14.5	14.0	13.5	39.3	38.6
1983	49.2	4.13	2.91	2.85	4.24	6.76	4.39	17.1	8.26	10.6	20.2	22.8	12.8
1984	7.57	15.5	31.3	114	68.4	126	30.5	21.1	65.1	27.7	29.8	16.3	46.1
1985	16.8	5.65	114	177	33.2	13.6	50.1	13.1	30.1	10.8	13.3	14.8	41.0
1986	11.9	10.6	7.91	192	67.8	63.9	44.7	11.5	7.78	35.0	13.8	10.4	39.8
1987	8.63	9.70	49.2	12.1	28.3	48.0	10.2	12.7	37.3	15.4	24.1	12.5	22.3
1988	7.89	7.37	4.24	87.0	9.61	7.63	11.7	24.0	81.4	81.3	169	63.5	46.2
1989	12.0	7.48	7.02	145	79.9	37.8	13.2	32.0	17.5	16.4	67.5	40.7	39.7
1990	12.8	11.1	19.2	114	11.3	104	30.6	20.4	14.9	29.1	33.2	6.52	33.9
1991	12.9	4.81	4.81	28.2	5.41	16.9	19.0	20.4	32.6	53.3	92.7	10.8	25.1
1992	9.61	4.59	4.35	3.76	6.35	11.7	8.63	14.3	21.6	17.2	87.5	16.2	17.1
1993	11.5	8.72	11.1	5.29	77.2	38.3	81.5	8.05	10.0	145	16.4	15.5	35.7
1994	18.9	114	180	141	79.2	55.6	21.9	24.1	46.1	49.9	37.0	11.6	64.9
1995	92.3	71.0	83.5	116	11.9	74.3	41.2	46.8	90.3	44.3	32.6	43.0	62.2
1996	105	10.0	13.2	135	233	204	206	247	277	152	49.1	20.3	138
1997	127	118	45.2	140	119	29.7	31.8	11.3	15.6	17.4	25.4	39.5	59.9
1998	13.1	99.4	115	23.3	11.3	43.9	40.3	15.3	28.2	14.4	45.6	30.8	40.1
1999	18.1	27.6	59.4	14.9	46.9	91.8	335	177	106	164	138	199	115
2000	103	43.2	18.7	29.2	121	110	158	177	140	108	112	25.2	95.4
2001	59.0	15.6	88.1	66.4	69.1	17.0	14.7	12.6	11.7	21.3	25.4	38.7	36.6
2002	17.2	12.8	75.9	64.0	17.8	15.3	36.3	18.2	23.4	192	125	127	60.3
2003	45.7	55.2	9.38	8.09	9.11	14.2	21.2	13.5	55.8	265	54.5	33.0	48.7
2004	19.8	10.9	10.9	15.2	21.0	22.2	17.0	16.1	22.9	16.7	23.0	48.3	20.3
2005	10.6	10.1	24.1	23.4	8.44	7.55	12.0	10.6	9.92	8.44	11.9	7.03	12.0
2006	2.78	4.33	3.76	3.26	7.31	6.63	12.3	19.6	36.5	23.5	7.22	346	39.4
2007	14.8	10.4	7.81	8.46	11.4	25.5	25.4	21.8	22.2	17.8	158	39	30.3
2008	52.4	8.18	3.87	2.78	20.0	10.1	8.66	9.48	9.90	14.6	18.4	35.6	16.2
2009	10.8	7.15	5.26	3.63	6.55	7.89	11.7	22.6	23.7	18.4	18.8	11.5	12.3
2010	7.53	6.16	40.5	9.18	24.6	26.6	9.39	26.8	15.7	19.3	249	388	68.6
2011	81.6	103	6.05	7.61	7.70	7.28	10.5	9.53	10.0	33.6	16.0	20.8	26.2
Mn	2.78	4.13	2.52	2.13	2.13	6.63	4.39	8.05	7.78	8.44	7.22	6.52	2.13

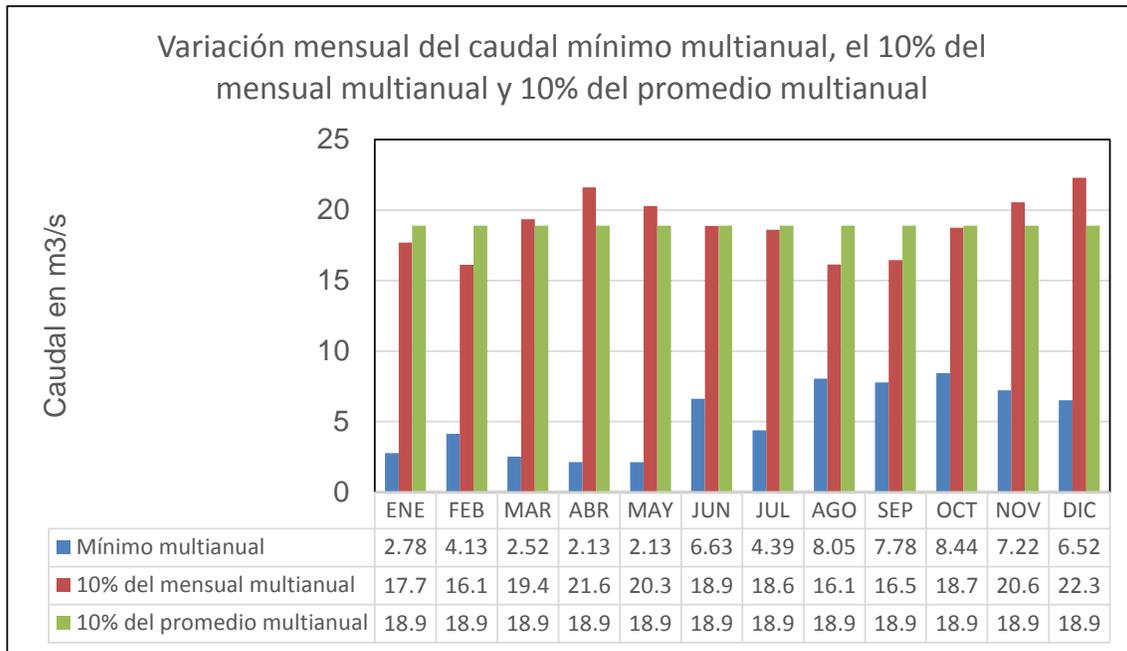


Figura 30. Variación mensual del caudal mínimo multianual (ecológico) y del caudal 10% del promedio mensual multianual, río Bayano Jesús María

10. Conclusiones

1. Se utilizó para este estudio un periodo representativo de 30 años (1971-2001) de un total de 20 estaciones que tenían información hidrometeorológica disponible en la cuenca del río Bayano. Los datos que se utilizaron fueron analizados, revisados, corregidos y extendidos hasta completar el periodo 2015.
Se encontraron inconsistencias en los datos, como se indica en el análisis de dobles acumuladas, los cuales fueron ajustados. Además, las estaciones automáticas instaladas desde el año 2010 en adelante, presentaban muchos datos faltantes, con menos de tres años completos, razón por la que no fueron incluidas en este estudio.
2. En el estudio hidrológico presentado se determinó el potencial hídrico de la cuenca del río Bayano. En el mismo fueron consideradas las actividades de uso de agua.
3. La precipitación promedio anual de la cuenca del río Bayano varía entre 1500 mm y 7000 mm, y la de Pacora entre 2000mm y 3500 mm.
4. El área de drenaje de la subcuenca en estudio del río Bayano, entre el Sitio de Presa Bayano y Sitio de Estudios Jesús María, es de 552 km². La precipitación promedio anual es 2388 mm. La pérdida anual por evapotranspiración es aproximadamente 1114 mm, resultando un escurrimiento anual de 1274 mm y un caudal promedio anual de 22.3 m³/s.
5. En la parte media de la cuenca del río Bayano, para elevaciones menores que 100 msnm, el rendimiento es menor que 30 litros/s/km². Para el resto de la cuenca el rendimiento varía entre 30 l/s/km² (cuenca del río Cañazas) y 116 l/s/km² (cuenca del río Aguas Claras). En la subcuenca SP Bayano - SP Jesús María el rendimiento promedio es de 40 l/s/km².
6. El área de drenaje del río Bayano hasta el Sitio de Estudio Jesús María es 4202 km². El caudal en ese sitio es regulado por la Central Hidroeléctrica Bayano. El caudal medio anual estimado en ese sitio es de 189 m³/s. El caudal mensual mínimo se registra en los meses de febrero, agosto y septiembre, variando entre 161 m³/s y 165 m³/s; el máximo, en diciembre con 223 m³/s, le sigue abril con 216 m³/s.
7. Según la Curva Duración de los caudales turbinados de la Central, para la probabilidad del 95% se garantiza un caudal turbinado de 16.80 m³/s.
8. Caudales característicos del río Bayano hasta el Sitio de Presa:
Caudal Máximo diario absoluto: 1298 m³/s
Caudal mínimo promedio diario absoluto: 2.13 m³/s
Caudal 5% de probabilidad de ser superado: 390 m³/s
Caudal 20% de probabilidad de ser superado: 280 m³/s
Caudal 50%: 175 m³/s
Caudal 80%: 80 m³/s
Caudal 95%: 20 m³/s.

11.Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones están basadas en las evaluaciones realizadas a los datos utilizados para la realización del presente estudio.

1. Unificar el criterio para asignar la nomenclatura correspondiente a las estaciones hidrometeorológicas de ETESA.
2. Las estaciones de lluvia instaladas desde el 2009 hasta la fecha, presentan en algunos años registros incompletos, se comprobó que solo se dispone de forma continua un número de registros menor de tres (3) años, se recomienda investigar las causas que ocasionaron la discontinuidad de los años incompletos.
3. Los registros de lluvia de la estación Alto de Pacora muestra inconsistencia en el periodo 2002-2010, y del 2011 en adelante, se registra valores muy bajos, investigar las causas y corregir los datos de precipitación en la Open Data de ETESA.
4. La estación de caudal de Bayano Piriá, presenta inconsistencia en el periodo 2006-2011, y del 2012 investigar las causas y corregir los datos de caudales en la Open Data de ETESA.
5. La estación de caudal Bayano Piriá presenta inconsistencia a partir del 2006 en adelante, investigar las causas y corregir los datos de caudales en la Open Data de ETESA.
6. La estación de caudal Cañita Ante Bayano, que sirvió de base para este estudio, solo tiene a disposición, información en la plataforma Open Data hasta septiembre de 2014. Se recomienda su actualización o la reactivación de la estación.
7. De acuerdo al registro de caudales, la distribución de las estaciones de lluvia dentro de la cuenca del río Bayano no son representativas, se recomienda rediseñar la red, tomando en consideración los núcleos de alta precipitación que se han tenido que trazar para lograr el balance hídrico superficial de este estudio.
8. De las dieciséis (16) estaciones de lluvia ubicadas en la cuenca del río Bayano, solo una (1) estación tiene elevación por encima de los 100 msnm, Cañita Isla de Pato situada a una elevación de 200 msnm, la misma fue eliminada en el año 1969. Actualmente cuatro (4) estaciones tienen elevación de 100 msnm (Chepo, Chararé, Loma del Naranjo y Tortí), dos (2) de ellas fueron eliminadas, el resto de las estaciones tienen elevaciones inferiores a 100 msnm. Se recomienda reactivar la estación Chararé, por su elevación que alcanza los 100 msnm, al encontrarse también cerca de la cuenca en estudio y así darle continuidad a los 15 años de registro.

12. Bibliografía

1. Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. 1993. Hidrología Aplicada. Editora McGrawHill. Primera Edición. Producido por Juan Salarrriaga y Germán R. Santos del inglés Applied Hydrology.
2. Maidment, R. 1992. Handbook of Hydrology. McGrawHill, Inc.
3. Atlas Nacional de Panamá. 2007. Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.
4. Atlas Nacional de Panamá. 2016. Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia.
5. Balance Hídrico Superficial de Panamá, Periodo 1971-2002. Gerencia de Hidrometeorología, ETESA, Panamá, 2008.
6. Balance hídrico Superficial de Costa Rica, Periodo 1970-2002. Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO. Documento Técnico #10. Costa Rica, 2007.
7. Guía Metodológica para la elaboración del Balance Hídrico de América del Sur. UNESCO, ROSTLAC, Montevideo, Uruguay, 1982.
8. Catastro de Caudales mensuales y aforos esporádicos en ríos de la República de Panamá. 1993. Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). Departamento de Hidrometeorología.
9. Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, Manual de instrucciones N°140, Estudios Hidrológicos, Managua, Nicaragua. 1977.
10. Hidrología con Información limitada – caudales mínimos. Curso Regional Itinerante Post Universitario de Hidrología y Ciencias del Agua (Istmo Centroamericano y el Caribe) – CRICA., San José, Costa Rica, 1983.
11. Elemento de Agrometeorología cuantitativa, Departamento de Suelos; Universidad Autónoma Chapingo, Mexico, 1984.
12. Evaluación de la Evapotranspiración Potencial para la República de Panamá, IRHE, octubre de 1992.
13. Análisis Regional de Crecidas Máximas de Panamá. Periodo 1971-2006. Gerencia de Hidrometeorología, ETESA, Panamá, septiembre de 2008.

13. Anexos

ANEXO A. Análisis de Consistencia de la Información de precipitación – Método doble acumuladas

ANEXO B. Caudales Diarios en el Sitio de Presa Bayano Jesús María (en m³/s)

ANEXO C. Caudal Turbinado diario de la Central Hidroeléctrica Bayano (en m³/s)

ANEXO D. Volumen Vertido diario de la Central Hidroeléctrica Bayano (MMC)

ANEXO E. Mapa de Isoyetas Anuales (1971-2002) del Estudio de Balance Hídrico de Panamá

ANEXO F. Cuadro de anomalías en estaciones de precipitación de las Cuencas de río Bayano (148) y río Pacora (146)