



**UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA**

**SEDE BOGOTÁ
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AGRÍCOLA
LABORATORIO DE ENSAYOS HIDRÁULICOS**

ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DEL CAUDAL EN EL CANAL DEL DIQUE MEDIANTE ANGOSTAMIENTO DE LA SECCIÓN POR SECTORES Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESCLUSA DE PARICUICA

Informe final

Volumen II de III

Informe CM-513

Bogotá D.C., Diciembre de 2008

LISTA DE VOLUMENES

VOLUMEN II

INFORME FINAL

VOLUMEN II

ANEXO A: ANÁLISIS HIDROCLIMATOLÓGICOS

ANEXO B: SECCIONES TRANSVERSALES ACTUALIZADAS DEL CANAL DEL DIQUE

ANEXO C: MODELACIÓN DEL CANAL DEL DIQUE CON HEC-RAS

VOLUMEN III

ANEXO D: OBRAS ADICIONALES EN EL CANAL DEL DIQUE

ANEXO E: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA

ANEXO F: EFECTOS ECOLÓGICOS DE LA DERIVACIÓN DE AGUAS Y SEDIMENTOS
HACIA LA BAHÍA DE BARBACOAS

ANEXO G: LA NAVEGACIÓN EN EL CANAL DEL DIQUE

ANEXO H: COMENTARIOS AL PROBLEMA MEDIOAMBIENTAL Y SEDIMENTOLÓGICO

ANEXO I: ANEXOS EN MEDIO DIGITAL

ANEXO I.1.: INFORMACIÓN HIDROCLIMATOLÓGICA

ANEXO I.2: RESULTADOS DE LA MODELACIÓN MATEMÁTICA

ANEXO A: ANÁLISIS HIDROCLIMATOLÓGICOS

REGISTRO DE REVISIÓN DE DOCUMENTO No. CM-513

NOMBRE DEL PROYECTO

ALTERNATIVA DE REDUCCIÓN DEL CAUDAL EN EL CANAL DEL DIQUE MEDIANTE ANGOSTAMIENTO DE LA SECCIÓN POR SECTORES Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESCLUSA DE PARICUICA. ANEXO A: ANÁLISIS HIDROCLIMATOLÓGICOS

LISTA DE DISTRIBUCIÓN

Dos (2) copias impresas, Dos (2) copias en medio digital en formato cerrado y Dos (2) copias en medio digital en formato abierto, de este documento han sido entregadas a la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL RÍO GRANDE DE LA MAGDALENA-Cormagdalena y una (1) al LABORATORIO DE ENSAYOS HIDRÁULICOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL-LEH-UN. Todas aquellas observaciones que resulten de su revisión y aplicación, deben ser informadas al LEH-UN para proceder a ejecutar sus modificaciones.

INSTITUCIÓN

Copia Impresa No 1 Y 2	Cormagdalena
Copia digital No. 1 y 2	Cormagdalena
Copia No 3	Biblioteca LEH-UN

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

Índice revisión	Capítulo Modificado	Fecha de modificación	Observaciones
0		XII-2008	INFORME FINAL
1			
2			

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN					
A P R O B A C I Ó N	Número de revisión		0	1	2
	RESPONSABLE ELABORACIÓN	Nombre:	E.A.R.		
		Firma:			
		Fecha:	XII-2008		
	REVISIÓN	Nombre:	J.I.O		
		Firma:			
		Fecha:	XII-2008		
	VoBo DIRECTOR DEL CONVENIO	Nombre:	R.O.O.M.		
		Firma:			
		Fecha:	XII-2008		
E.A.R.: Erasmo A. Rodríguez S. J.I.O.: Jaime Iván Ordoñez			R.O.O.M.: Rafael Orlando Ortiz Mosquera		

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	8
A.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE	9
A.1.1. INVENTARIO INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	9
A.1.2. INVENTARIO INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA	12
A.2. MAPAS DE LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES	13
A.3. ANÁLISIS DE CALIDAD, CONSISTENCIA Y VALIDEZ DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA UTILIZADA EN LA FASE II DE LOS ESTUDIOS	15
A.3.1. ESTACIÓN CALAMAR (LM) - 2903702	16
A.3.2. ESTACIÓN INCORA K7 (LG) - 2903736	16
A.3.3. ESTACIÓN GAMBOTE (LM) – 2903708	17
A.3.4. ESTACIÓN SANTA HELENA I (LM) – 2903737	17
A.3.5. ESTACIÓN SANTA HELENA II (LM) – 2903745	18
A.4. LLENADO DE DATOS FALTANTES DE NIVEL	25
A.4.1. CAUDALES	26
A.4.2. CURVA DE CALIBRACIÓN, CEROS DE MIRA Y SISTEMA ALTIMÉTRICO	26
A.5. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA	35
A.5.1. PRECIPITACIÓN	35
A.5.2. TEMPERATURA	38
A.5.3. EVAPORACIÓN	41
A.5.4. HUMEDAD RELATIVA	42
A.5.5. BRILLO SOLAR	44
A.5.6. VELOCIDAD DEL VIENTO	45
A.6. ANÁLISIS DE SERIES DE VARIABLES METEOROLÓGICAS	47
A.6.1. METODOLOGÍA LLENADO DE DATOS FALTANTES	47
A.7. ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS	48
A.7.1. PRECIPITACIÓN	48
A.7.1.1. Metodología de llenado de datos faltantes	48
A.7.1.2. Valores medios mensuales multianuales	48
A.7.2. TEMPERATURA	50
A.7.3. EVAPORACIÓN	51
A.8. ANÁLISIS HIDROMÉTRICOS	52
A.8.1. NIVELES	52

A.8.1.1.	Niveles medios diarios período 1992-1997	52
A.8.1.2.	Curvas de duración de niveles	55
A.8.1.3.	Estación Calamar.....	55
A.8.1.4.	Estación Incora.....	55
A.8.1.5.	Estación Gambote.....	56
A.8.1.6.	Estación Santa Helena I	56
A.8.1.7.	Estación Santa Helena II	56
A.8.1.8.	Curvas de duración de caudales medios diarios.....	59
A.8.1.9.	Estación Calamar.....	59
A.8.1.10.	Estación Incora	59
A.8.1.11.	Estación Gambote.....	59
A.8.1.12.	Estación Santa Helena I	59
A.8.1.13.	Estación Santa Helena II	59
A.8.1.14.	Diferencia de caudales diarios entre estaciones hidrométricas vecinas para años promedio y seco.....	63
A.9.	MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS APORTANTES A LOS PRINCIPALES CUERPOS CENAGOSOS	66
A.9.1.	INTRODUCCIÓN	66
A.9.2.	PRECIPITACIÓN MENSUAL Y DIARIA PONDERADA SOBRE LA CUENCA APORTANTE A CADA CUERPO DE AGUA MODELADO	66
A.9.3.	EVAPORACIÓN SOBRE ESPEJOS DE AGUA.....	67
A.9.4.	TEMPERATURA PARA LAS CUENCAS APORTANTES	68
A.9.5.	TOPOLOGÍA EMPLEADA EN HEC-HMS PARA LA MODELACIÓN DE LAS CUENCAS AFERENTES A LAS PRINCIPALES CIÉNAGAS	68
A.9.6.	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN EFECTUADA	70
	BIBLIOGRAFÍA	75

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura A- 2-1: Localización estaciones hidrométricas	13
Figura A- 2-2: Localización estaciones meteorológicas	14
Figura A- 3-1: Curvas de masa de nivel.....	18
Figura A- 3-2: Curvas de doble masa de niveles.....	20
Figura A- 3-3: Diagramas bilineales.....	22
Figura A- 3-4: Diagrama de Cajas y Bigotes Niveles Registrados.....	24
Figura A- 4-1: Correlaciones de niveles entre estaciones hidrométricas vecinas	26
Figura A- 4-2: Curva de calibración estación Calamar, periodo de vigencia 1972-2003.....	28
Figura A- 4-3: Curva de calibración estación Incora, periodo de vigencia 1972-1983	29
Figura A- 4-4: Curva de calibración estación Incora, periodo de vigencia 1984-2002	29
Figura A- 4-5: Curva de calibración estación Gambote, periodo de vigencia 1984-1999	30
Figura A- 4-6: Curva de calibración estación Santa Helena I, periodo de vigencia 1984-2002	30
Figura A- 4-7: Curva de calibración estación Santa Helena II, periodo de vigencia 1984-2002	31
Figura A- 4-8: Caudales medios diarios estación Calamar, para el período 1984-2000	32
Figura A- 4-9: Caudales medios diarios estación Incora, para el período 1984-2000.....	32
Figura A- 4-10: Caudales medios diarios estación Gambote, para el período 1984-2000.....	33
Figura A- 4-11: Caudales medios diarios estación Santa Helena I, para el período 1984-2000	33
Figura A- 4-12: Caudales medios diarios estación Santa Helena II, para el período 1984-2000	34
Figura A- 5-1: Registros diarios de precipitación de las estaciones analizadas, periodo 1992-1997	35
Figura A- 5-2: Curvas de doble masa de precipitación para las estaciones Arjona y Puerto Santander	38
Figura A- 5-3: Registros diarios originales de Temperatura, para el período 1992-1997.....	39
Figura A- 5-4: Boxplot temperatura para el periodo 1992-1997	40
Figura A- 5-5: Registros originales diarios de tanque evaporímetro para el periodo 1992-1997	41
Figura A- 5-6: Diagrama de Cajas y Bigotes Evaporación	42
Figura A- 5-7: Registros diarios de humedad relativa, periodo 1992-1997.....	43
Figura A- 5-8: Diagrama de patillas de humedad relativa	44
Figura A- 5-9: Registros diarios para brillo solar, periodo 1992-1997.....	45

Figura A- 5-10: Registros diarios de velocidad media del viento, periodo 1992-1997	46
Figura A- 7-1: Histogramas medios mensuales multianuales de precipitación para las estaciones de estudio, periodo 1992-1997	48
Figura A- 7-2: Histogramas de temperatura media mensual multianual para las estaciones de estudio, para el periodo 1992-1997	50
Figura A- 7-3: Histogramas de evaporación media mensual multianual para las estaciones de estudio, para el periodo 1992-1997	51
Figura A- 8-1: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco, estación Calamar	53
Figura A- 8-2: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco estación Incora	53
Figura A- 8-3: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco Estación Gambote	54
Figura A- 8-4: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco Estación Santa Helena I ...	54
Figura A- 8-5: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco Estación Santa Helena II ..	55
Figura A- 8-6: Curva de duración de niveles, estación Calamar; período 1984-2000	56
Figura A- 8-7: Curva de duración de niveles, estación Incora, período 1984-2000	57
Figura A- 8-8: Curva duración de niveles estación Gambote, periodo 1984-2000	57
Figura A- 8-9: Curva de duración de niveles estación Santa Helena I, vigencia 1984-2000..	58
Figura A- 8-10: Curva de duración de niveles estación Santa Helena II, vigencia 1984-2000	58
Figura A- 8-11: Curva de duración de caudales para la estación Calamar, periodo 1984-2000	60
Figura A- 8-12: Curva de duración de caudales para la estación Incora, periodo 1984-2000	60
Figura A- 8-13: Curva de duración de caudales para la estación Gambote, periodo 1984-2000	61
Figura A- 8-14: Curva de duración de caudales para la estación Santa Helena I, periodo 1984-2000	61
Figura A- 8-15: Curva de duración de caudales para la estación Santa Helena II, periodo 1984-2000	62
Figura A- 8-16: Curvas de duración de caudales, estaciones hidrométricas Gambote e Incora	62
Figura A- 8-17: Diferencia entre caudales estaciones Gambote e Incora	63
Figura A- 8-18: Diferencia entre caudales estaciones Santa Helena I y Gambote	64
Figura A- 8-19: Diferencia entre caudales estaciones Santa Helena II y Santa Helena I	64
Figura A- 9-1: Esquema de modelación en HEC-HMS cuenca aportante al Embalse del Guájaro	69
Figura A- 9-2: Esquema de modelación en HEC-HMS cuenca aportante a la Ciénaga de Juan Gómez	70
Figura A- 9-3: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca aferente a la Ciénaga del Jobo	71
Figura A- 9-4: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca aferente al Embalse del Guájaro	71
Figura A- 9-5: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca aferente al complejo cenagoso Tupe-Capote-Zarzal	72
Figura A- 9-6: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca aferente a la ciénaga de La Luisa	72

Figura A- 9-7: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca aferente a la ciénaga de Aguas Claras	73
Figura A- 9-8: Resultados modelación continua para el período 1988-1991 cuenca aferente a la ciénaga de Matuya	73
Figura A- 9-9: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca aferente a la ciénaga de Juan Gómez	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla A 1-1: Inventario de información meteorológica a nivel diario. Periodo 1992-1997	10
Tabla A 1-2: Inventario de Información meteorológica mensual	11
Tabla A 1-3: Inventario información de niveles diarios para el periodo 1984-2000	12
Tabla A 4-1: Correlación de niveles originales del IDEAM (niveles en msnm)	25
Tabla A 4-2: Curvas de calibración	27
Tabla A 8-1: Resumen diferencia de caudales entre estaciones vecinas en el Canal del Dique	65
Tabla A 9-1: Factores de Ponderación para series de precipitación sobre cuencas aportantes	66
Tabla A 9-2: Factores de Ponderación para series de precipitación sobre espejos de agua	67
Tabla A 9-3: Factores de Ponderación para series de evaporación sobre espejos de agua .	68
Tabla A 9-4: Factores de Ponderación para series de temperatura sobre cuencas aferentes	68

A.1. INFORMACIÓN DISPONIBLE

El presente anexo, que contiene un anexo digital con toda la información hidroclimatológica procesada y los resultados de la modelación hidrológica efectuada para los principales cuerpos cenagosos de la zona de estudio, acompaña el Informe Principal de Aspectos Hidroclimatológicos Fase II, sigue en esencia la misma estructura del Anexo de la Fase I de los estudios, e incluye los análisis hidroclimatológicos efectuados para el período 1992-1997, que permiten, en conjunto con los resultados de los análisis de la Fase I (período 1988-1991) tener registros hidroclimatológicos completos, consistentes y homogéneos a nivel diario durante el período 1988-1997, seleccionado como período de análisis extendido para la modelación acoplada hidrología-hidráulica.

A.1.1. INVENTARIO INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

A continuación se presenta el inventario de la información hidroclimatológica seleccionada en esta segunda Fase de los estudios y adquirida en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), correspondiente a los registros diarios y mensuales del período 1992-1997, que complementan los registros disponibles durante la primera fase de los estudios (1988-1991). Debe anotarse que el período extendido de análisis de 10 años (1988-1997) es la suma de los análisis efectuados sobre los dos períodos individuales durante las dos fases del estudio. Se cuenta así con información diaria y mensual de precipitación, humedad relativa, temperatura, evaporación, velocidad del viento, brillo solar y radiación obtenida de información disponible en 11 estaciones pluviométricas y 5 climatológicas, tal como se muestra en la Tabla A 1-1. Así mismo, se cuenta con información mensual correspondiente a 29 estaciones durante el período 1981-2004, tal como se muestra en la Tabla A 1-2. En la Tabla A 1-1 y la Tabla A 1-2 es claro lo errático e incompleto del registro en algunas estaciones y la necesidad de investigar la calidad de la información recopilada, con el fin de dar mayor confiabilidad a los resultados obtenidos en el estudio aquí reportado.

Tabla A 1-2: Inventario de Información meteorológica mensual

Estación	Variable	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
NORMAL MANATI (CP) - 2903508	Temperatura media mensual																								
	Humedad Relativa media mensual																								
	Brillo Solar total mensual																								
	Evaporación mensual total																								
	Precipitación media mensual																								
EL LIMON (CO) - 2903512	Temperatura media mensual																								
	Humedad Relativa media mensual																								
	Evaporación total mensual																								
	Brillo Solar total mensual																								
	Precipitación media mensual																								
NUEVA FLORIDA (CP) - 2903504	Temperatura media mensual																								
	Humedad Relativa media mensual																								
	Evaporación total mensual																								
	Brillo Solar total mensual																								
	Velocidad del viento media mensuales																								
REPELON (CP) - 2903507	Precipitación media mensual																								
	Temperatura media mensual																								
	Humedad Relativa media mensual																								
	Evaporación total mensual																								
	Brillo Solar total mensual																								
SAN PABLO (CO) - 2903511	Velocidad del viento media mensual																								
	Precipitación media mensual																								
	Temperatura media mensual																								
	Humedad Relativa media mensual																								
	Evaporación total mensual																								
APTO RAFAEL NÚÑEZ (SP) - 1401502	Brillo Solar total mensual																								
	Precipitación media mensual																								
	Temperatura media mensual																								
	Humedad Relativa media mensual																								
	Evaporación total mensual																								
ARJONA (PG) - 2903004	Velocidad del viento media mensual																								
CASA DE BOMBAS (PM) - 2903041	Precipitación media mensual																								
COLU NUEVO (PM) - 2903071	Precipitación media mensual																								
EL NISPERO (PM) - 2903031	Precipitación media mensual																								
EL VISO (PM) - 2903043	Precipitación media mensual																								
ESC NAVAL CIOH (CP) - 1401503	Precipitación media mensual																								
FLAMENCO (PM) - 2903016	Precipitación media mensual																								
GAMERO (PM) - 2903017	Precipitación media mensual																								
HDA EL RABON (PM) - 2904027	Precipitación media mensual																								
LOMA GRANDE (PM) - 2903027	Precipitación media mensual																								
MAMPUJAN (PG) - 2903078	Precipitación media mensual																								
MIRANDA (PM) - 2903049	Precipitación media mensual																								
PTO SANTANDER (PM) - 2903008	Precipitación media mensual																								
REBOSADERO (PM) - 2903030	Precipitación media mensual																								
SABANALARGA (PM) - 2904019	Precipitación media mensual																								
SAN BASILIO (PM) - 2903028	Precipitación media mensual																								
SAN CAYETANO (PM) - 2903020	Precipitación media mensual																								
SAN CRISTOBAL (PG) - 2903015	Precipitación media mensual																								
SAN ESTANISLAO (PM) - 2903005	Precipitación media mensual																								
SAN ONOFRE (PM) - 1309002	Precipitación media mensual																								
SAN PEDRITO A. (PM) - 2904031	Precipitación media mensual																								
SANTA ANA (PM) - 2903037	Precipitación media mensual																								
USIACURI (PG) - 2904024	Precipitación media mensual																								

Fuente: Anexo A: Análisis y Modelación Climatológica e Hidrológica de la Cuenca del Canal del Dique – Versión 1.0

A.1.2. INVENTARIO INFORMACIÓN HIDROMÉTRICA

En los análisis hidrométricos se empleó la información diaria de niveles, recopilada en la Fase I de los estudios, de cinco estaciones limnimétricas y limnigráficas operadas por el IDEAM y ubicadas sobre el Canal del Dique y sobre el río Magdalena. Aprovechando la disponibilidad de información durante un período más largo, el período de análisis hidrométrico seleccionado va desde 1984 hasta el 2000, el cual es compatible con la última rectificación del Canal del Dique ocurrida a principios de la década de los 80 (ver Tabla A 1-3).

Tabla A 1-3: Inventario información de niveles diarios para el periodo 1984-2000

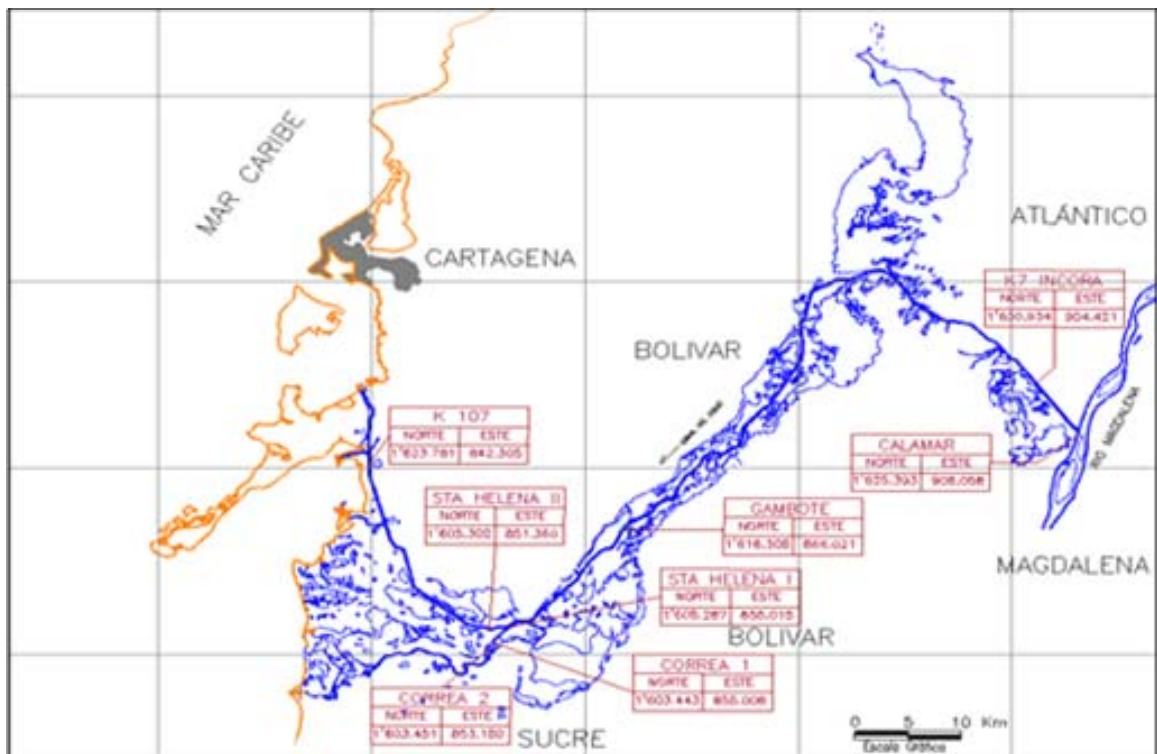
			Inventario de información de niveles diarios											
Estación	Código	Alt. (m.s.n.m.)												
			1984				1985				1986			
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CALAMBA	388799	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
			1987				1988				1989			
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CALAMBA	388799	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
			1990				1991				1992			
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CALAMBA	388799	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
			1993				1994				1995			
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CALAMBA	388799	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
			1996				1997				1998			
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CALAMBA	388799	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
			1999				2000							
			J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
CALAMBA	388799	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												
BOGOTÁ	388774	m.s.l.												

Información completa
Información incompleta
No hay registro regular

A.2. MAPAS DE LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES

En la Figura A- 2-1 y Figura A- 2-2 se muestran dos esquemas con la localización de las estaciones hidrométricas y meteorológicas, ubicadas dentro de la zona de estudio, y cuyos registros han sido utilizados en los análisis hidroclimatológicos efectuados. Cabe anotar que la información recopilada y analizada, por limitaciones en los registros, no necesariamente corresponde a la totalidad de las estaciones hidroclimatológicas mostradas en la Figura A-2-1 y Figura A- 2-2.

Figura A- 2-1: Localización estaciones hidrométricas



Fuente: Universidad del Norte (2003).

A.3. ANÁLISIS DE CALIDAD, CONSISTENCIA Y VALIDEZ DE LA INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA UTILIZADA EN LA FASE II DE LOS ESTUDIOS

El análisis de homogeneidad, validez y consistencia de la información hidrometeorológica constituye la primera etapa dentro de los análisis hidrológicos y climatológicos efectuados, pues permite determinar la calidad de la información básica, detectar posibles valores que por diversas causas pudieran considerarse como erróneos en las series, reducir la incertidumbre en los resultados por efecto de errores en los datos, y aumentar la confiabilidad en los resultados obtenidos.

Existen varias herramientas que permiten realizar este tipo de análisis exploratorio de datos, dentro de las cuales se encuentran las pruebas gráficas y estadísticas. Las pruebas gráficas son útiles para sintetizar en gráficos y figuras el comportamiento de la serie. Sin duda, una de las técnicas más utilizadas no solo por los hidrólogos, sino por otros profesionales, es el análisis de regresión lineal; su bondad para el caso particular de análisis de consistencia radica en que permite evaluar la homogeneidad de una serie con respecto a otra u otras que se conocen o consideran homogéneas. Un segundo procedimiento de análisis es el método de la curva de doble masa en el cual las parejas de valores en la estación analizada y en la estación índice (considerada homogénea) se acumulan y representan gráficamente. El método lo que supone es que mediante la adición sucesiva de valores, los errores aleatorios tienden a cancelarse unos con otros, y en este caso la relación lineal se ve reforzada mediante la repetición efectuada. Un cambio importante en esa relación lineal, o diferentes tendencias sostenidas y pronunciadas en el tiempo, pueden ser un indicativo de inconsistencia o no homogeneidad de los registros de las dos estaciones.

Teniendo en cuenta que en caso de detectar inconsistencias en los datos estas pueden ser debidas puramente a la aleatoriedad del proceso investigado, normalmente se recurre al criterio de la persona que realiza el análisis y a la aplicación de diferentes pruebas estadísticas para determinar si efectivamente los datos no son homogéneos.

Dentro de este análisis exploratorio se pueden encontrar datos considerados como anormalmente extremos, los cuales se definen como outliers o datos posiblemente anómalos. Para investigar si estos valores anómalos, son efectivamente consecuencia de errores en el proceso de medición, registro y manipulación de la información, estos outliers son evaluados por medio de la prueba estadística de Grubb (Graphpad, 1997), que sugiere o no la anomalía del dato investigado. Éste procedimiento estadístico fue aplicado a las series suministradas por el IDEAM y los resultados obtenidos al igual que las características generales de las series hidrométricas se discuten a continuación.

A.3.1. ESTACIÓN CALAMAR (LM) - 2903702

Esta estación presenta registros desde julio de 1940. En el presente estudio, se consideraron los registros medios diarios de nivel suministrados por el IDEAM, correspondientes al período entre el primero de enero de 1984 y el 31 de diciembre de 2000. El registro de caudales presenta continuidad durante casi toda la serie, con carencia de 47 días de registro en el periodo analizado.

En la curva de masa de nivel se aprecia la característica lineal de la serie acumulada, lo que indica homogeneidad en el registro analizado (ver Figura A- 3-1, panel superior izquierdo)

Con relación a los niveles, se observa un excelente ajuste en el análisis de doble masa con relación a la estación Santa Helena II (ver Figura A- 3-2). Por otra parte en el diagrama bilineal, se aprecia un tendencia clara de agrupamiento de los datos, exceptuando un grupo que se encuentra fuera de esta y que pudiera considerarse como datos anómalos. (Ver Figura A- 3-3, panel superior izquierdo).

De la misma manera se realizó el gráfico de caja y bigotes para niveles para los datos de la serie de estudio (ver Figura A- 3-4), cuyo resultado arroja que no existen datos atípicos en la serie.

A.3.2. ESTACIÓN INCORA K7 (LG) - 2903736

Esta estación presenta registros desde agosto de 1972. Al igual que para la estación Calamar se analizaron series de niveles diarios suministradas por el IDEAM desde el inicio de 1984 hasta finales de 2000. Las series presentan continuidad durante casi todo el periodo de registro, sin embargo, 740 registros se encuentran sin datos.

Con respecto a la serie de niveles medios diarios en esta estación, la media se sitúa en los 4.92 m.s.n.m, con valores máximos cercanos a los 8 m.s.n.m. y valores mínimos que se ubican por debajo de 0.8 m.s.n.m. La curva de masa de niveles muestra una buena característica de homogeneidad, pues la curva en todo su trayecto se ajusta razonablemente bien a la tendencia lineal (ver Figura A- 3-1, panel superior derecho).

Con respecto a la curva de doble masa de niveles (ver Figura A- 3-2, panel superior derecho), se observa un excelente ajuste entre los datos de las estaciones Santa Helena II e Incora, indicando homogeneidad en el registro durante todo el período analizado. Sobre el diagrama bilineal de niveles, se observa un muy buen agrupamiento de datos; sin embargo, se observa un par de puntos aislados que fueron considerados y revisados como posibles puntos anómalos (ver Figura A- 3-3, panel superior derecho).

Adicional a esto, se realizó el análisis gráfico de la serie de nivel mediante boxplots (cajas con patillas), en donde no se aprecia la existencia de posibles datos anómalos (ver Figura A- 3-4).

A.3.3. ESTACIÓN GAMBOTE (LM) – 2903708

Esta estación tiene registros desde enero de 1959. En los análisis aquí descritos se emplearon los registros de caudales y niveles medios diarios suministrados por el IDEAM desde enero de 1984 hasta diciembre de 2000. Los registros de nivel en esta estación presentan una buena cobertura (92.11%).

Con respecto a los registros de niveles diarios en esta estación para el período 1984-2000 se obtiene una media de 2.61 m.s.n.m, valores máximos que sobrepasan los 4.2 m.s.n.m, y niveles mínimos en el año 1998, por debajo de 0.5 m.s.n.m. La curva de masa de niveles indica consistencia y homogeneidad en el registro (ver Figura A- 3-1, panel central izquierdo).

Al comparar los registros de esta estación con los de la estación Santa Helena II, (ver Figura A- 3-2, panel inferior izquierdo), se ve gran afinidad entre las dos estaciones, como se aprecia en la curva de doble masa de niveles, presentándose un buen ajuste a una línea recta. En el diagrama bilineal de niveles (ver Figura A- 3-3, panel inferior izquierdo), se aprecia una buena agrupación de datos, exceptuando un valor que definitivamente se ve por fuera de la tendencia, considerado como posible punto anómalo. Existen otros valores que se encuentran fuera de la agrupación de puntos, sobre los cuales se requiere un análisis más detallado para evaluar la validez de estos registros. De forma adicional se realizó un análisis gráfico utilizando boxplots, en donde se señalan algunos datos que podrían considerarse como anómalos (ver Figura A- 3-4). Al aplicar la prueba de Grubb, los valores más extremos, correspondientes a los días 2 de noviembre y 5 de mayo de 1998, representan 3.04 desviaciones por encima de la media. Dado que el p-valor para el test de Grubbs es superior o igual a 0.05, se considera que estos no son datos atípicos.

A.3.4. ESTACIÓN SANTA HELENA I (LM) – 2903737

Esta estación presenta registros desde junio de 1978. Para esta estación se seleccionaron los registros de niveles diarios entre 1984 y el año 2000. Durante el período de análisis los datos en esta estación presentan un buen cubrimiento temporal (96.64% del tiempo).

Con relación al registro de niveles, se identifican valores máximos por encima de los 3.6 m.s.n.m, y valores mínimos alcanzando casi 0.6 m.s.n.m. Los valores medios de nivel durante el período analizado son de 2.5 m.s.n.m. La curva de masa de nivel presenta un buen ajuste con la tendencia lineal, indicando consistencia de los registros (ver Figura A- 3-1, panel intermedio derecho).

Al comparar los registros de la estación Santa Helena I con los de la estación Santa Helena II, la curva de doble masa presenta un buen ajuste entre las dos estaciones, sugiriendo homogeneidad del registro (ver Figura A- 3-2). Asimismo, en el diagrama bilineal se aprecia una tendencia bien definida, y un par de puntos un poco separados de ésta, que podrían identificarse como puntos posiblemente anómalos (ver Figura A- 3-3, panel inferior derecho).

Al igual que para las otras estaciones, se realizó un análisis gráfico utilizando boxplots, en donde se muestra la serie de niveles del periodo de estudio, señalando algunos datos posiblemente anómalos (ver Figura A- 3-4). Al aplicar la prueba de Grubb, el valor más extremo, corresponde al día abril 7 de 1997, y representa 3.18 desviaciones por encima de la media. Dado que el p-valor para el test de Grubbs es superior o igual a 0.05, se considera que este no es un dato atípico

A.3.5. ESTACIÓN SANTA HELENA II (LM) – 2903745

Esta estación tiene registros desde junio de 1978. De igual forma que para las otras estaciones su período de estudio fue entre 1984 y el año 2000. La serie presenta buena continuidad durante el período de análisis y una cobertura del 97.25% para niveles.

En cuanto al registro de niveles, se identifican valores máximos que superan los 2.6 m.s.n.m. y valores mínimos cercanos al nivel medio del mar (0 msnm) y en un caso por debajo de este. El nivel medio durante el periodo 1984 – 2000 es de 1.47 m.s.n.m. La curva de masa de niveles presenta un buen ajuste con la tendencia lineal durante todo el período, indicando consistencia y homogeneidad de los datos (ver Figura A- 3-1).

Adicionalmente se realizó un análisis gráfico mediante gráficos de cajas y patillas para la serie de nivel, apreciándose que no existe ningún dato anómalo (ver Figura A- 3-4).

Figura A- 3-1: Curvas de masa de nivel

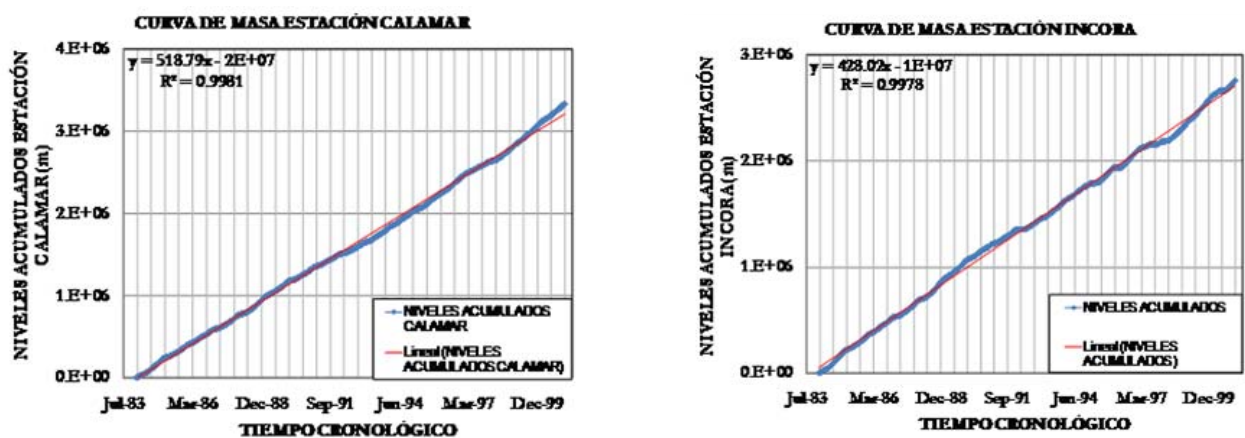


Figura A- 3-1: Curvas de masa de nivel

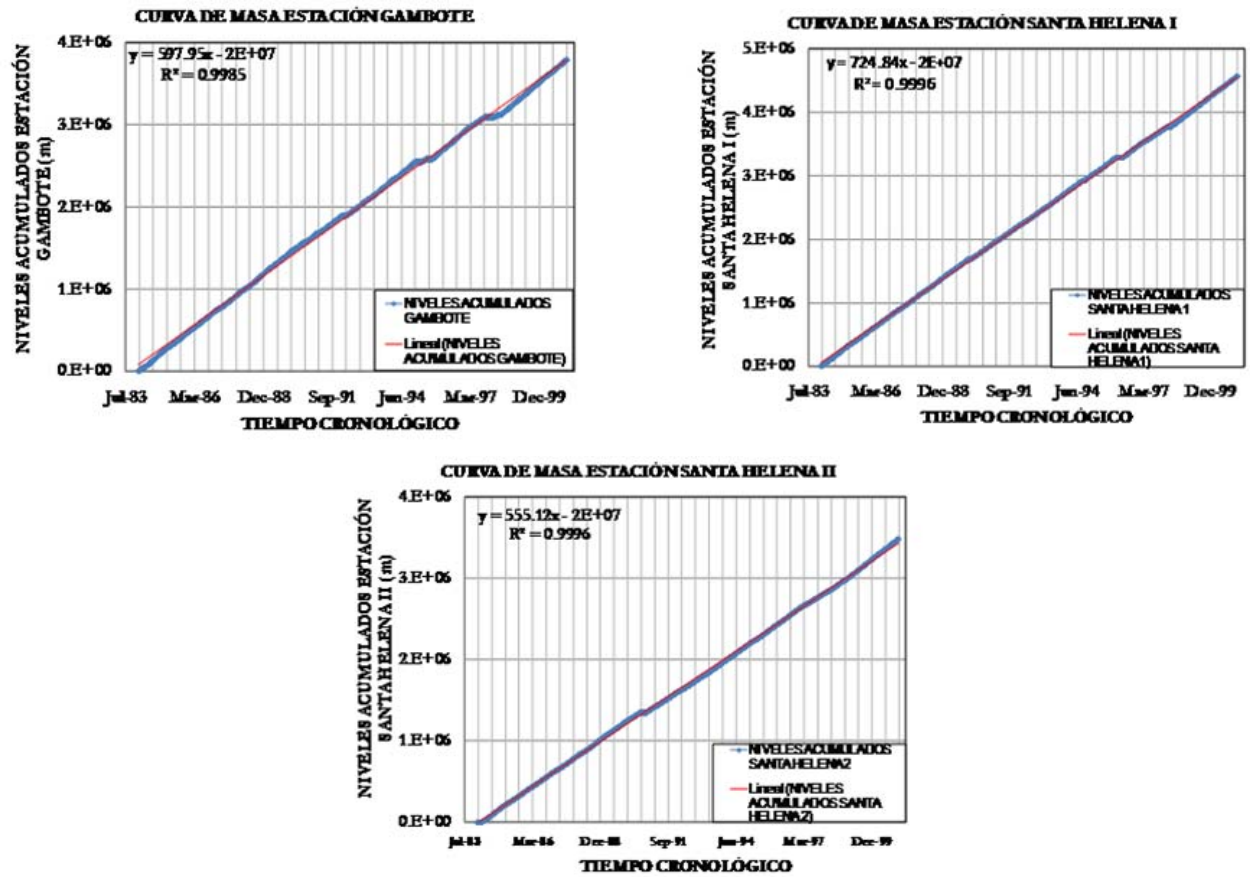


Figura A- 3-2: Curvas de doble masa de niveles

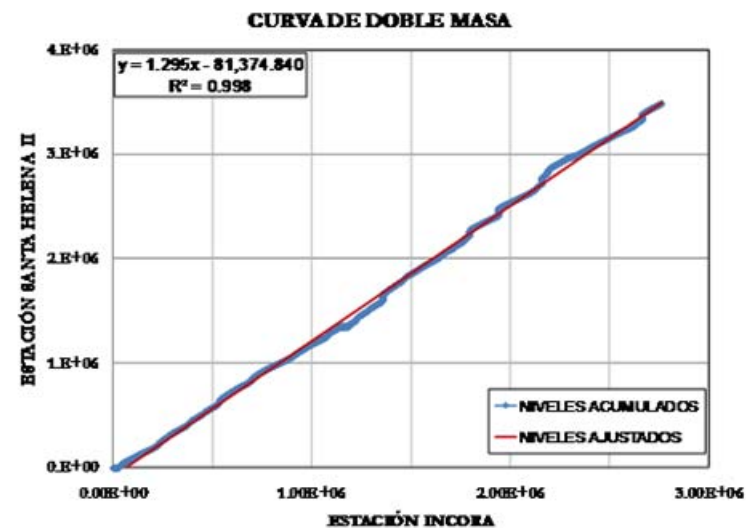
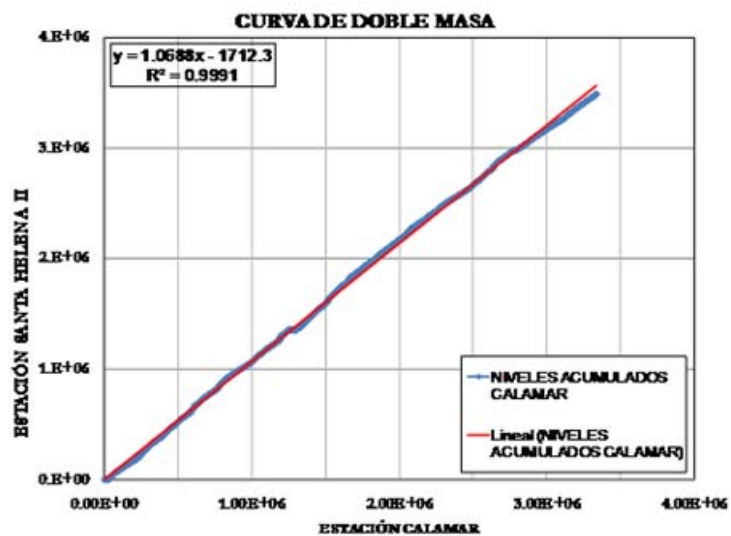


Figura A- 3-2: Curvas de doble masa de niveles

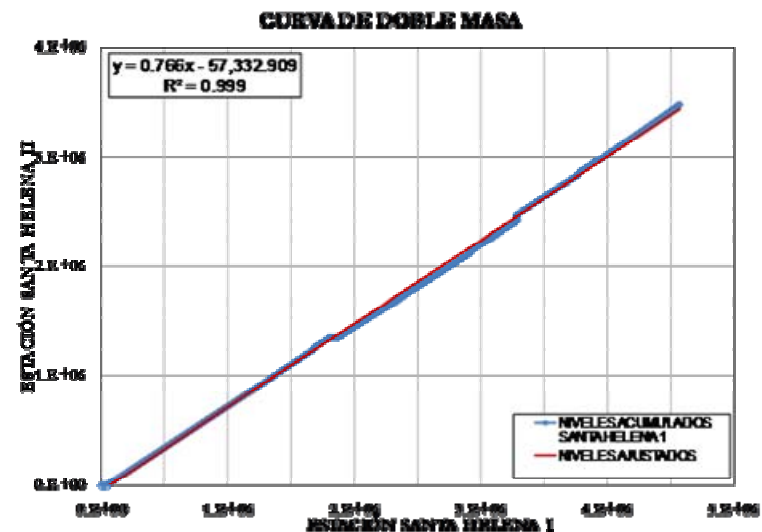
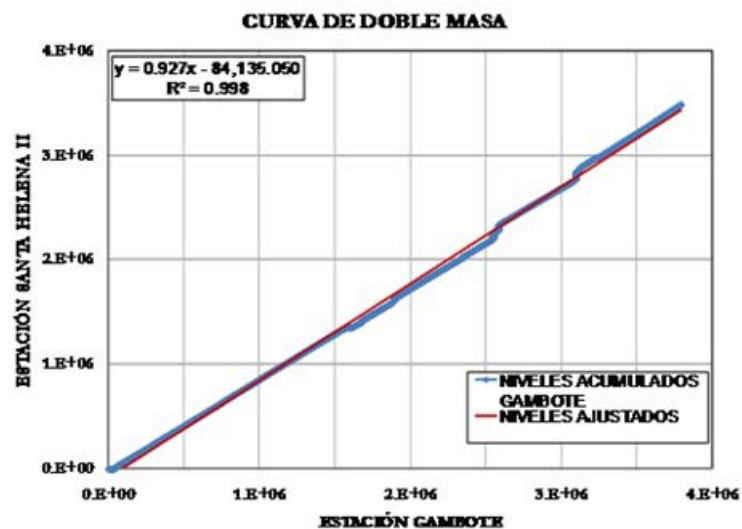


Figura A- 3-3: Diagramas bilineales

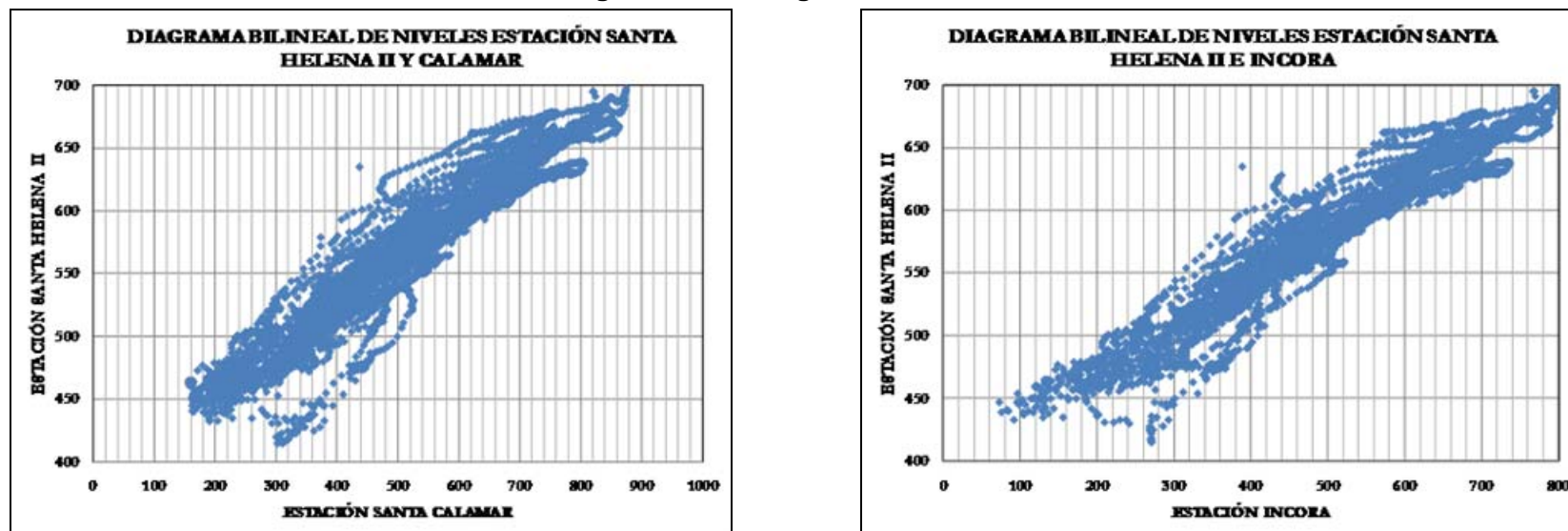


Figura A- 3-3: Diagramas bilineales

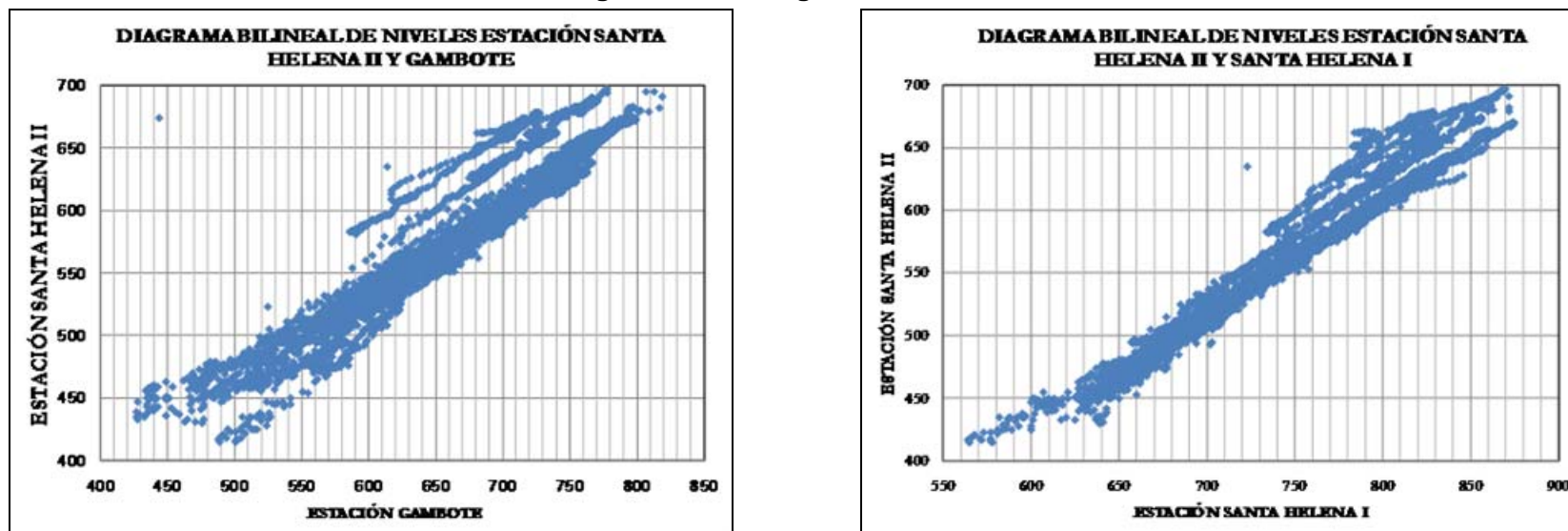
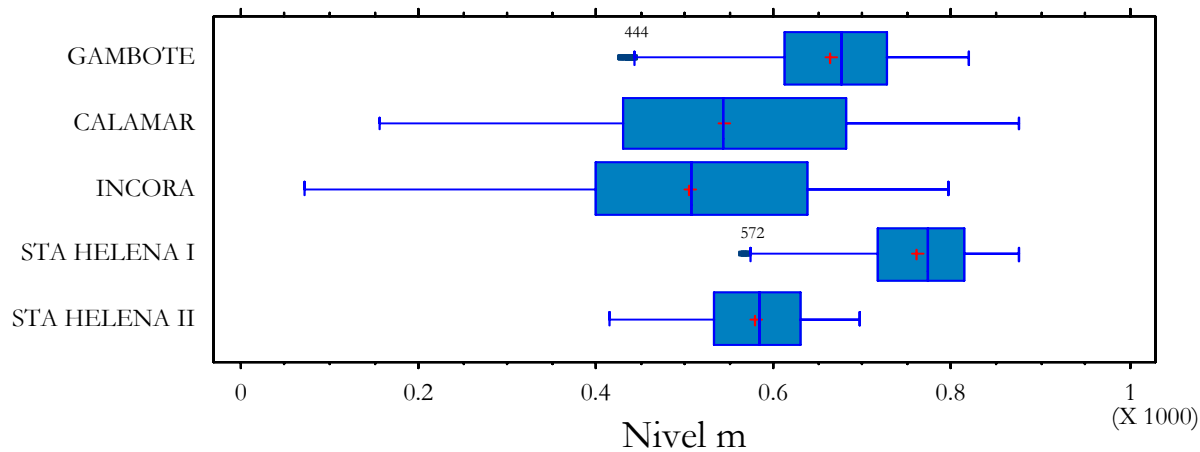


Figura A- 3-4: Diagrama de Cajas y Bigotes Niveles Registrados



A.4. LLENADO DE DATOS FALTANTES DE NIVEL

Con el fin de realizar una adecuada caracterización de las series hidrométricas, es indispensable contar con series de tiempo lo más completas posible. Por esta razón y una vez revisada la consistencia y homogeneidad de los registros, tal como se describió en el numeral previo, se emplearon diversas metodologías para completar los registros de niveles diarios suministrados por el IDEAM, considerando la cantidad de datos faltantes consecutivos en las diferentes series, tal como se describe a continuación.

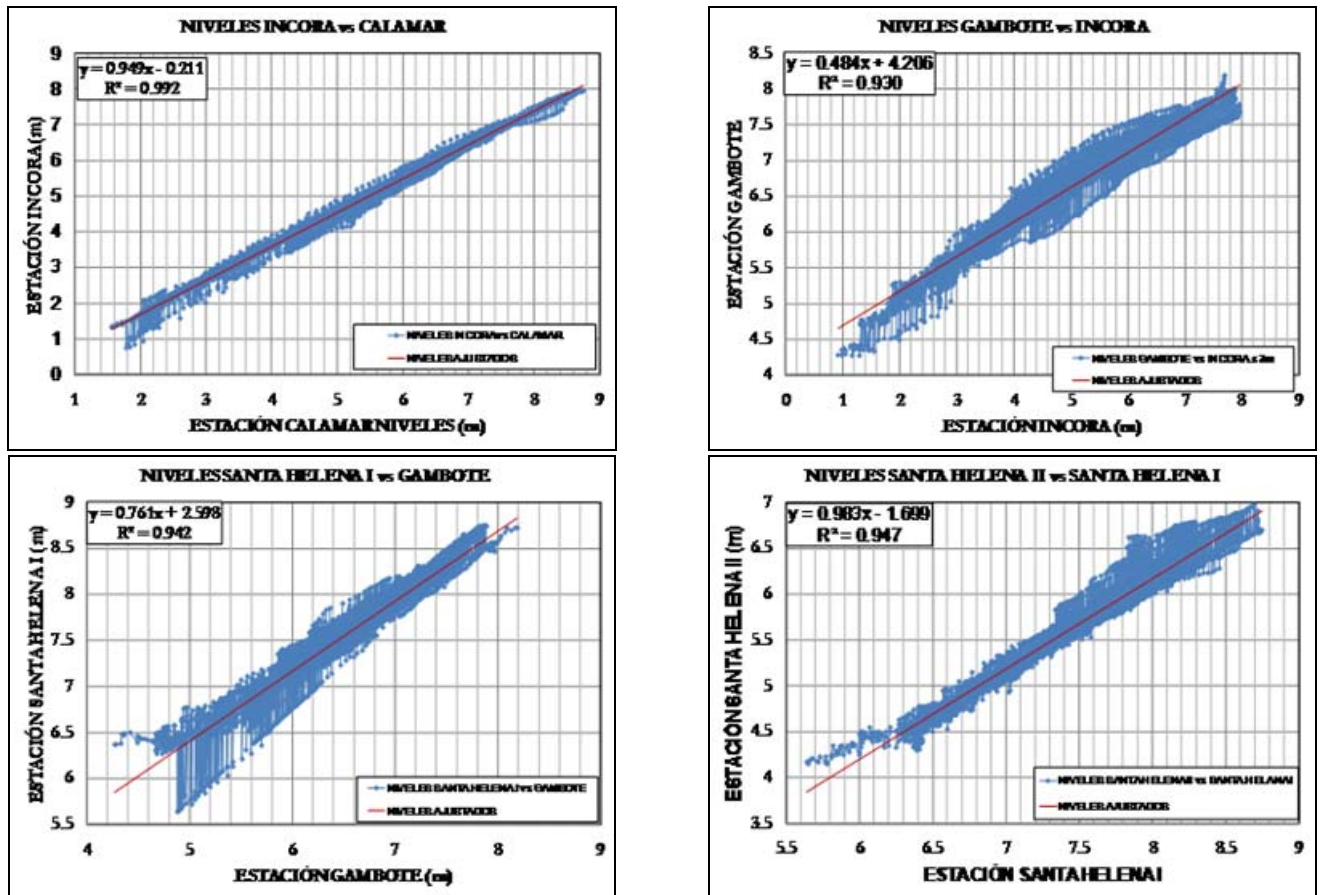
El procedimiento empleado se seleccionó con base en la cantidad de datos consecutivos faltantes, así:

- Para un valor faltante, este se llenó utilizando el promedio de los datos anterior y posterior. En general este método ha sido utilizado por la comunidad científica para el llenado de pequeños huecos en la serie investigada y especialmente en series de temperatura y humedad relativa. Estos datos se identifican en color rojo dentro de las series procesadas en Excel e incluidas en el anexo digital que acompaña este anexo.
- Para menos de cinco datos faltantes consecutivos en la serie investigada, se utilizó el promedio móvil para una ventana de 7 días (período semanal). El tamaño de la ventana se analizó para cada caso particular utilizando datos existentes consecutivos. Para ello se consideraron ventanas entre 3 y 12 datos. Estos datos se identifican con color azul dentro de las series en Excel.
- Para períodos con datos faltantes mayores a 5 días, los registros fueron complementados a través de correlaciones de niveles entre estaciones hidrométricas vecinas, que se ajustaron utilizando regresiones de tipo lineal, obteniéndose en todos los casos coeficientes de correlación mayores de 0.93 (ver Tabla A 4-1 y Figura A- 4-1). Estos datos se identifican en color rojo con fondo amarillo dentro de la series en Excel.

Tabla A 4-1: Correlación de niveles originales del IDEAM (niveles en msnm)

Estaciones	Ecuación	R ²
Incora Vs. Calamar	$\text{Incora} = 0.945(\text{Calamar}) - 0.211$	0.992
Gambote Vs. Incora	$\text{Gambote} = 0.484(\text{Incora}) + 4.206$	0.930
Santa Helena I Vs. Gambote	$\text{Sta Helena I} = 0.761(\text{Gambote}) + 2.598$	0.942
Santa Helena II Vs. Santa Helena I	$\text{Sta Helena II} = 0.983(\text{Sta Helena I}) - 1.699$	0.947

Figura A- 4-1: Correlaciones de niveles entre estaciones hidrométricas vecinas



A.4.1. CAUDALES

A.4.2. CURVA DE CALIBRACIÓN, CEROS DE MIRA Y SISTEMA ALTIMÉTRICO

El cálculo de las curvas de calibración de las estaciones hidrométricas sobre el Canal del Dique y de la estación Calamar (sobre el río Magdalena) realizado por el método analítico en la Fase I de los estudios, consideró el registro de aforos líquidos suministrado por el IDEAM, el cual fue complementado para algunas estaciones con los aforos líquidos realizados por el LEH-UN y otras instituciones. Las cotas cero de la miras fueron obtenidas a partir de información del IDEAM, y fueron ajustadas con los datos de la nivelación altimétrica del Canal del Dique efectuada por la Universidad del Norte (2003).

Para el caso de las estaciones hidrométricas sobre el Canal del Dique se utilizaron los aforos posteriores a la última rectificación del Canal (ocurrida en 1984). Debe anotarse que para

cada estación se intentó construir una única curva de calibración, válida para el período analizado. Sin embargo, para las estaciones Calamar e Incora fue necesario establecer dos curvas de calibración para sendos períodos. La ecuación potencial que define la forma general de la curva de calibración utilizada se muestra en la Ecuación A- 4-1.

$$Q = a(h - h_o)^b \quad \text{Ecuación A- 4-1}$$

Donde a y b son coeficientes de ajuste y h_o corresponde a la altura limnimétrica para la cual el caudal es cero.

Consistentemente en todas las estaciones hidrométricas analizadas al aplicar la Ecuación A-4-1 a los aforos disponibles, y estimar analíticamente valores de los parámetros a , b y h_o se obtuvieron buenos ajustes para caudales medios y bajos, y errores importantes para los caudales altos. De acuerdo con esto, se decidió ajustar la curva de calibración en cada estación con doble ecuación: una para caudales medios y bajos, y otra para caudales altos. Las dos ecuaciones fueron enlazadas de la mejor forma posible para el punto de inflexión considerado.

Para mayores detalles en cuanto a la obtención de las curvas de calibración para las diferentes estaciones analizadas, el lector es remitido al Anexo A, del informe *Análisis y Modelación Climatológica e Hidrológica de la Cuenca del Canal del Dique – Versión 1.0 Fase I*. La Tabla A 4-2 resume las ecuaciones de las curvas de calibración obtenidas para las diferentes estaciones analizadas. Asimismo la Figura A- 4-2 a la Figura A- 4-7, muestran las curvas de calibración ajustadas para las diferentes estaciones analizadas.

Tabla A 4-2: Curvas de calibración

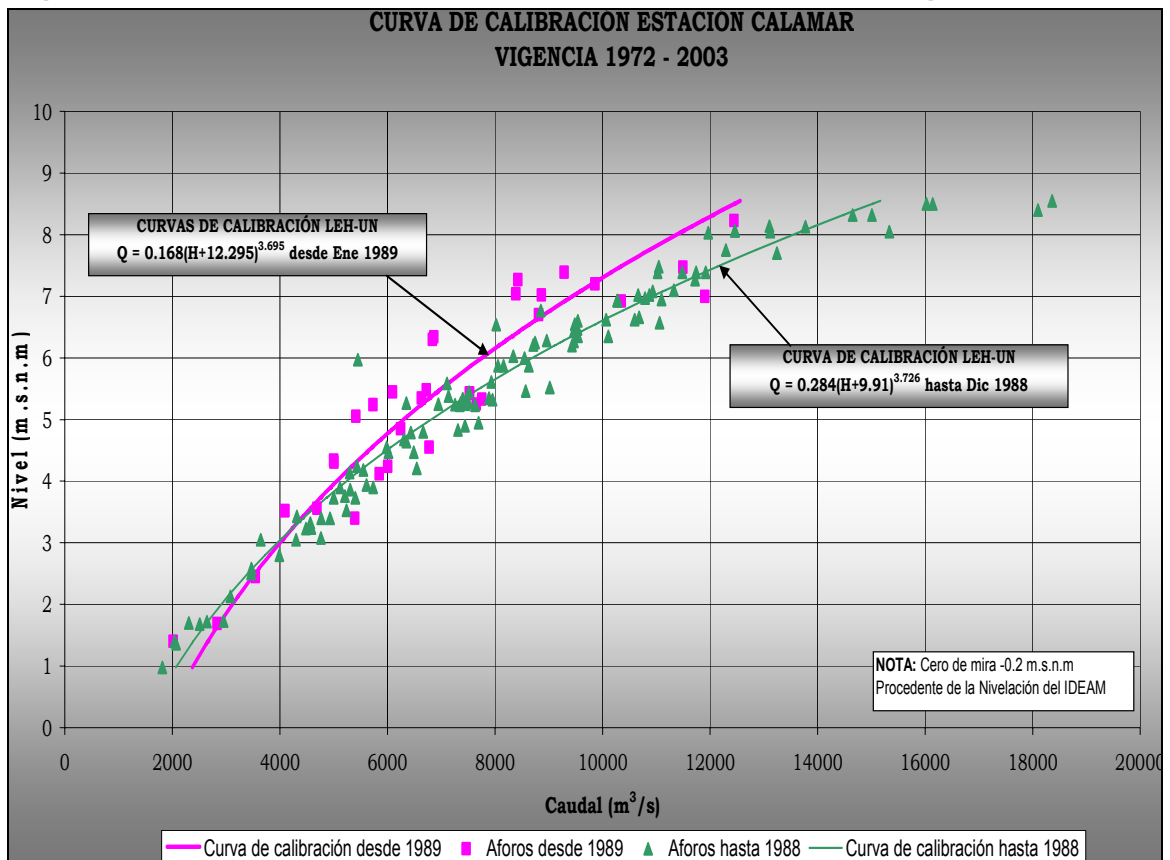
Estación	Ecuación de la curva de calibración	R ²	Cero de mira (m.s.n.m)
Calamar Hasta Dic 88	$Q = 0.284(h + 9.91)^{3.726}$	0.92	-0.2
Calamar Vigencia desde Ene 89	$Q = 0.168(h + 12.295)^{3.695}$	0.86	-0.2
Incora K7 Vigencia 72 -83	$Q = 4.15(h + 1.25)^{2.46}$; Para $h < 3.95$ m.s.n.m $Q = 13.4(h)^{2.09}$; Para $h \geq 3.95$ m.s.n.m	0.96	0.0
Incora K7 Vigencia 84 - 02	$Q = 22.02(h + 0.6)^{1.82}$; Para $h < 6.2$ m.s.n.m $Q = 4.03(h + 1.5)^{2.55}$; Para $h \geq 6.2$ m.s.n.m	0.94	0.0
Gambote	$Q = 7.27 \times 10^{-3}(h + 6)^{5.11}$; Para $h < 2.38$ m.s.n.m $Q = 1.19 \times 10^{-13}(h + 16.5)^{12.15}$; Para $h \geq 2.38$ m.s.n.m	0.96	-3.97

Tabla A 4-2: Curvas de calibración

Estación	Ecuación de la curva de calibración	R ²	Cero de mira (m.s.n.m)
Santa Helena I	$Q = 98.8(h)^{1.56}$; Para $h < 2.7$ m.s.n.m $Q = 0.13(h + 4.5)^{4.15}$; Para $h \geq 2.7$ m.s.n.m	0.82	-5.08
Santa Helena II	$Q = 4.98(h + 2.5)^{3.02}$	0.84	-4.3

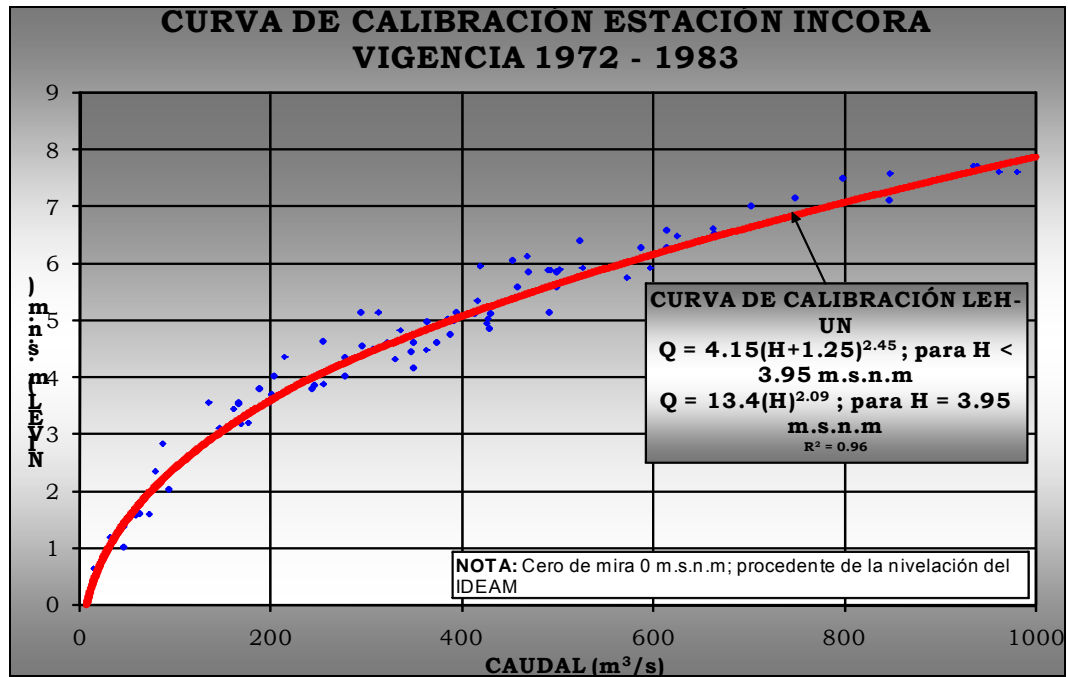
Fuente: Informe Hidrología Fase I

Figura A- 4-2: Curva de calibración estación Calamar, periodo de vigencia 1972-2003



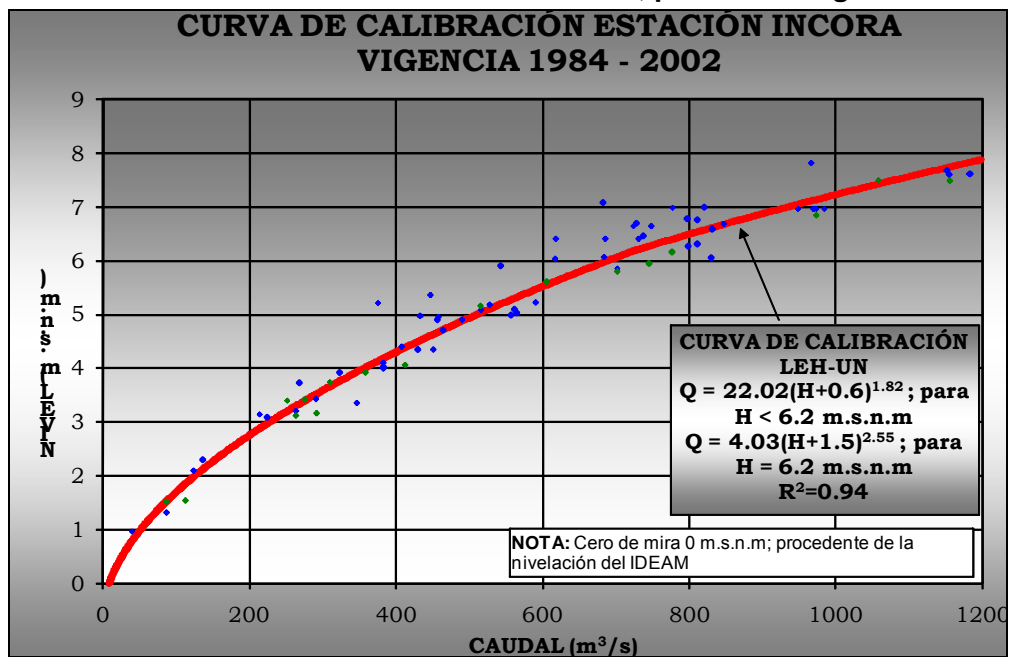
Fuente: Informe Hidrología Fase I

Figura A- 4-3: Curva de calibración estación Incora, periodo de vigencia 1972-1983



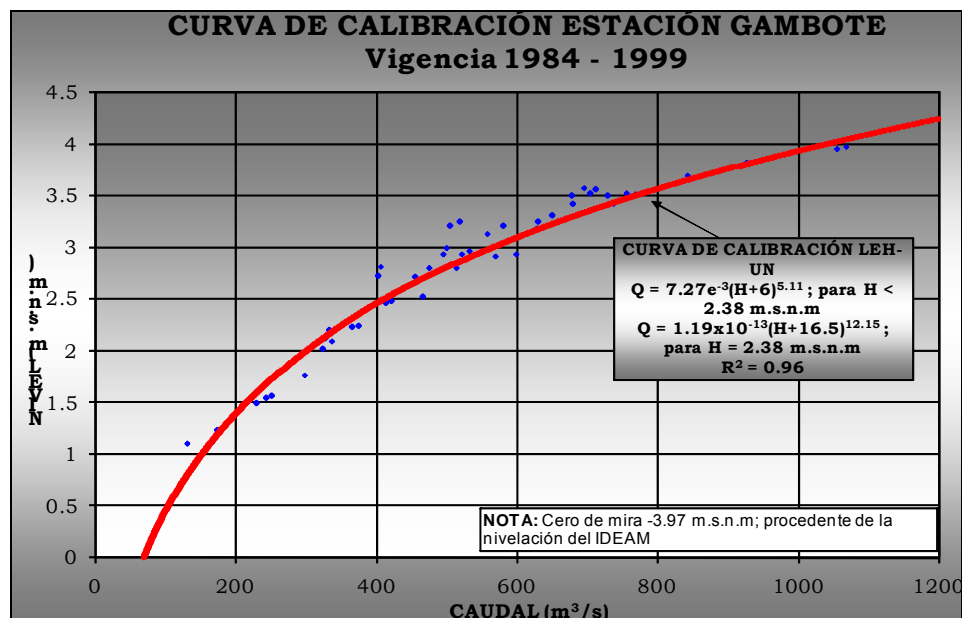
Fuente: Informe Hidrología Fase I

Figura A- 4-4: Curva de calibración estación Incora, periodo de vigencia 1984-2002



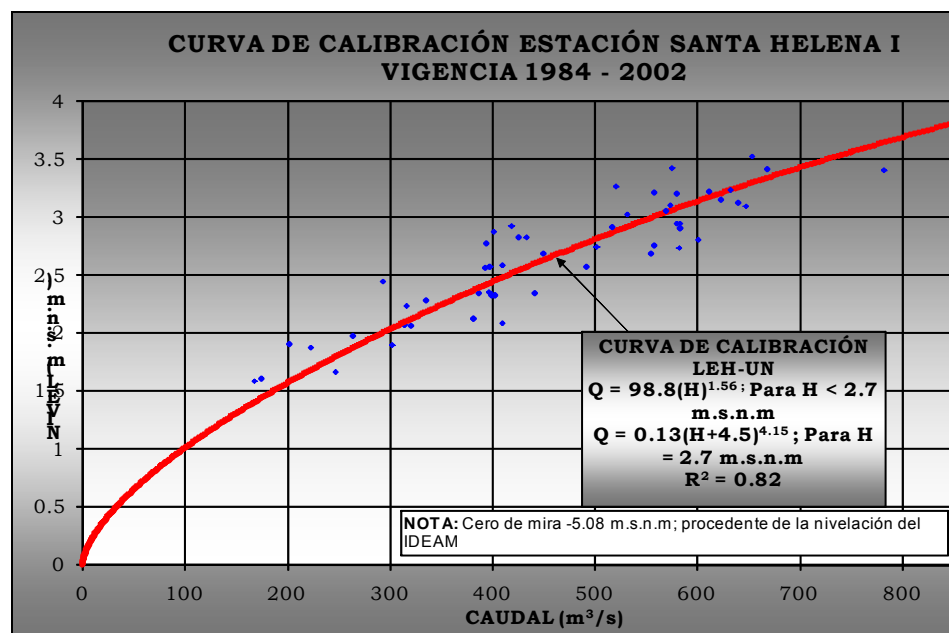
Fuente: Informe Hidrología Fase I

Figura A- 4-5: Curva de calibración estación Gambote, periodo de vigencia 1984-1999



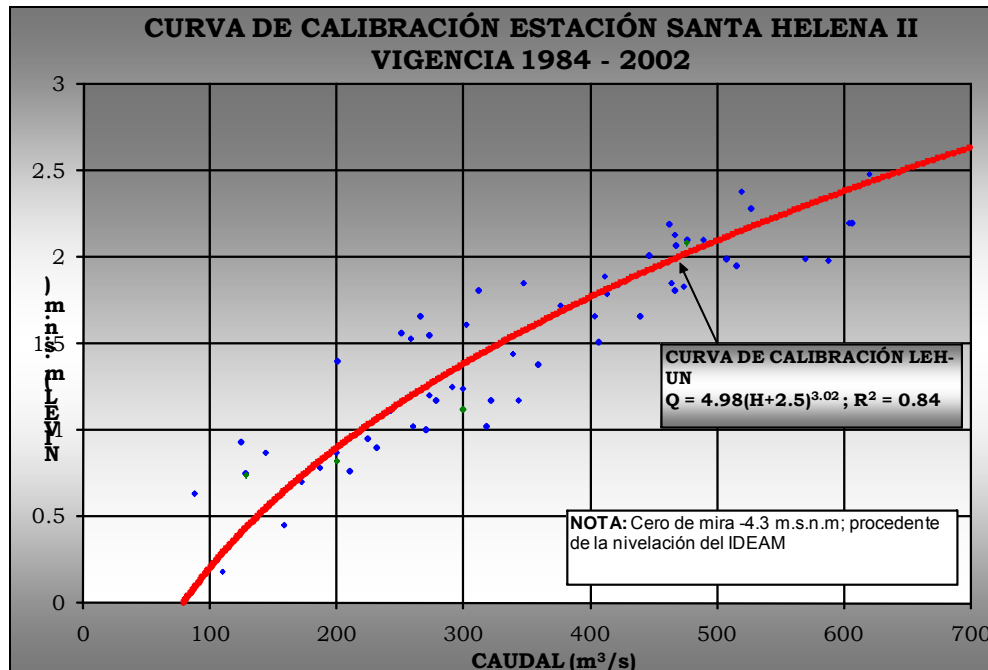
Fuente: Informe Hidrología Fase I

Figura A- 4-6: Curva de calibración estación Santa Helena I, periodo de vigencia 1984-2002



Fuente: Informe Hidrología Fase I

Figura A- 4-7: Curva de calibración estación Santa Helena II, periodo de vigencia 1984-2002



Fuente: Informe Hidrología Fase I

Al aplicar las ecuaciones de las curvas de calibración mostradas en la Tabla A 4-2 a los datos de niveles completos, complementados utilizando los diferentes métodos antes descritos, se obtienen las hidrógrafas de caudales medios diarios en las diferentes estaciones para el periodo analizado (ver Figura A- 4-8 a la Figura A- 4-12).

En la hidrógrafa de la estación Calamar se observan dos picos de caudal a finales de 1984 y principios de 1985, de la misma manera que a inicios de 1989, con un caudal cercano a 15,000 m³/s. Asimismo, para el periodo de estudio se tiene un caudal promedio de 7,363 m³/s, un caudal máximo de 15,076 m³/s ocurrido en noviembre y diciembre de 1984 y un caudal mínimo de 2,519 m³/s en marzo y abril de 1988. De la misma forma se aprecian de forma general dos periodos secos importantes correspondientes a 1991-1993 y 1997-1998.

La hidrógrafa de Incora es muy similar a la de Calamar y confirma los dos picos señalados y los mismos periodos secos. El caudal promedio durante el periodo de análisis corresponde a 538 m³/s y su caudal máximo a 1,241 m³/s, registrado en noviembre de 1999, que es consistente con la ocurrencia de un fenómeno de La Niña; el caudal mínimo registrado es de 37 m³/s en 1998, donde se presenta un periodo seco, consistente con la ocurrencia del fenómeno de El Niño.

Con respecto a la estación Gambote, los caudales máximos se presentan para el año 1988 con valores cercanos a los 1,200 m³/s; los más bajos se encuentran cerca de los 90 m³/s en

el año 1998. La media de los caudales de esta estación durante el período 1984 – 2000 es de 489 m³/s.

Los valores máximos de caudal para la estación Santa Helena I se presentan para el año 1988 con valores cercanos a los 800 m³/s y los más bajos registrados en abril de 1997 se encuentran por debajo de los 50 m³/s. El promedio de los caudales medios diarios en esta estación durante el período 1984 – 2000 es de 435 m³/s.

De la misma forma para la estación Santa Helena II, la media de los caudales medios diarios durante el período 1984 – 2000 es de 346 m³/s consistente con las hidrógrafas de las demás estaciones (ver resumen y discusión de hidrógrafas para todas las estaciones en el Informe Principal de Aspectos Hidroclimatológicos).

Figura A- 4-8: Caudales medios diarios estación Calamar, para el período 1984-2000

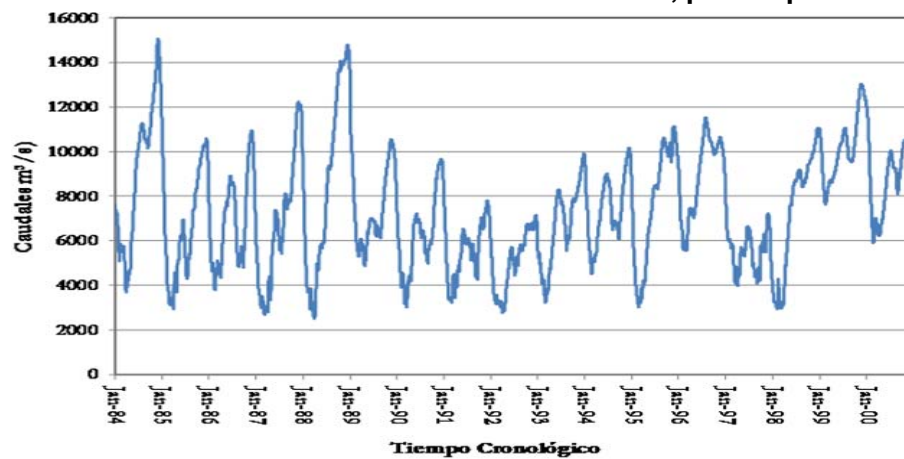


Figura A- 4-9: Caudales medios diarios estación Incora, para el período 1984-2000

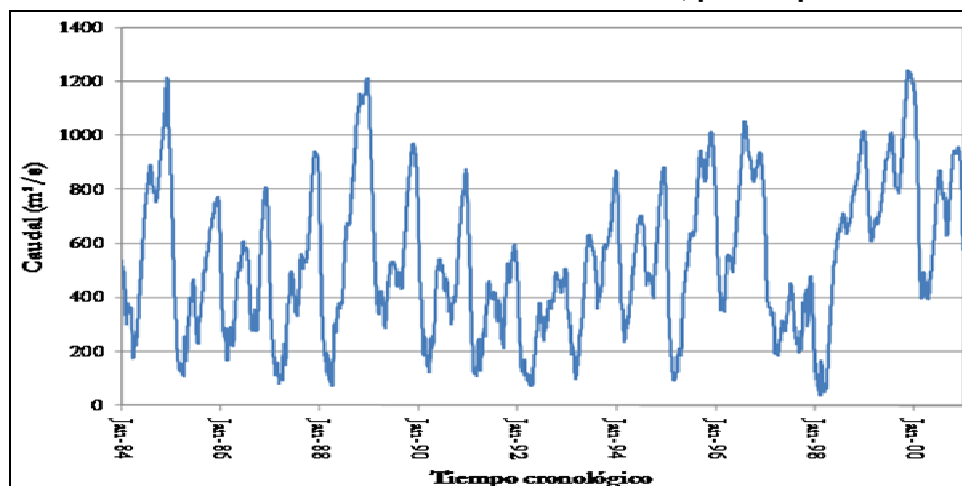


Figura A- 4-10: Caudales medios diarios estación Gambote, para el período 1984-2000

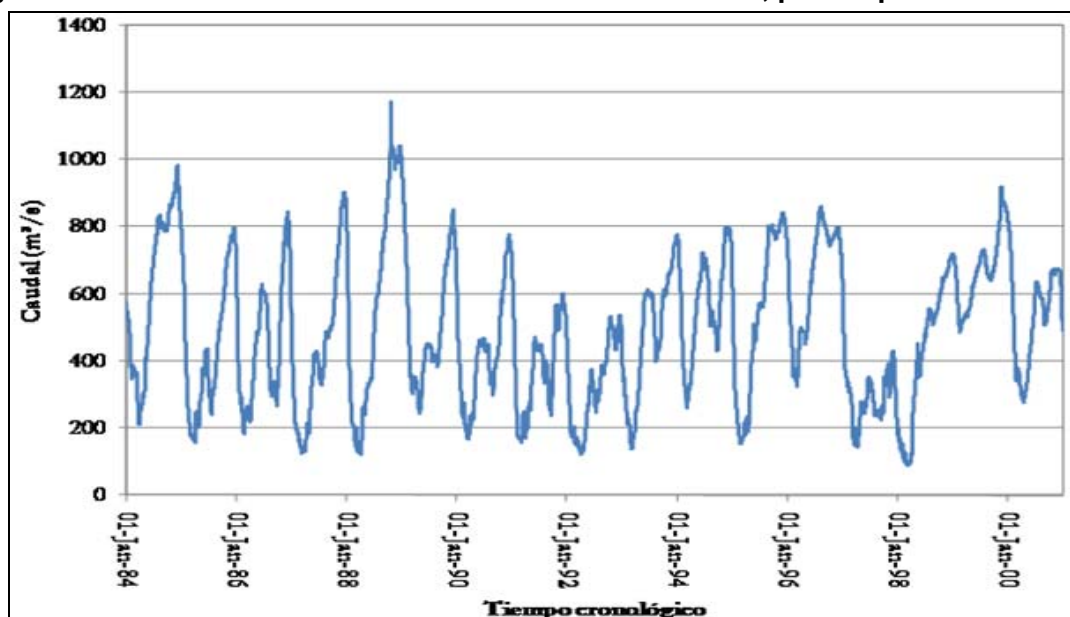


Figura A- 4-11: Caudales medios diarios estación Santa Helena I, para el período 1984-2000

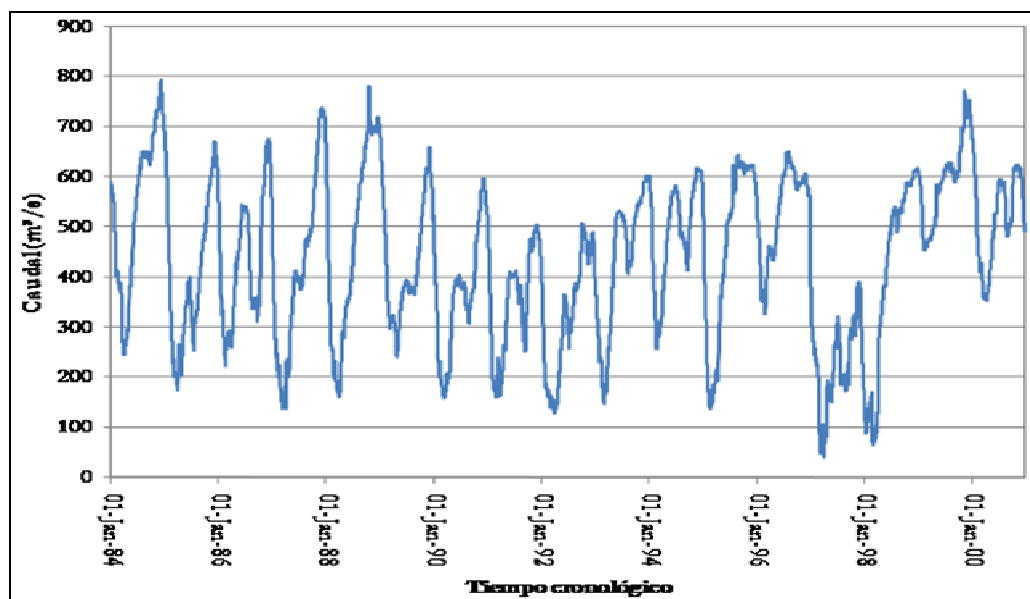
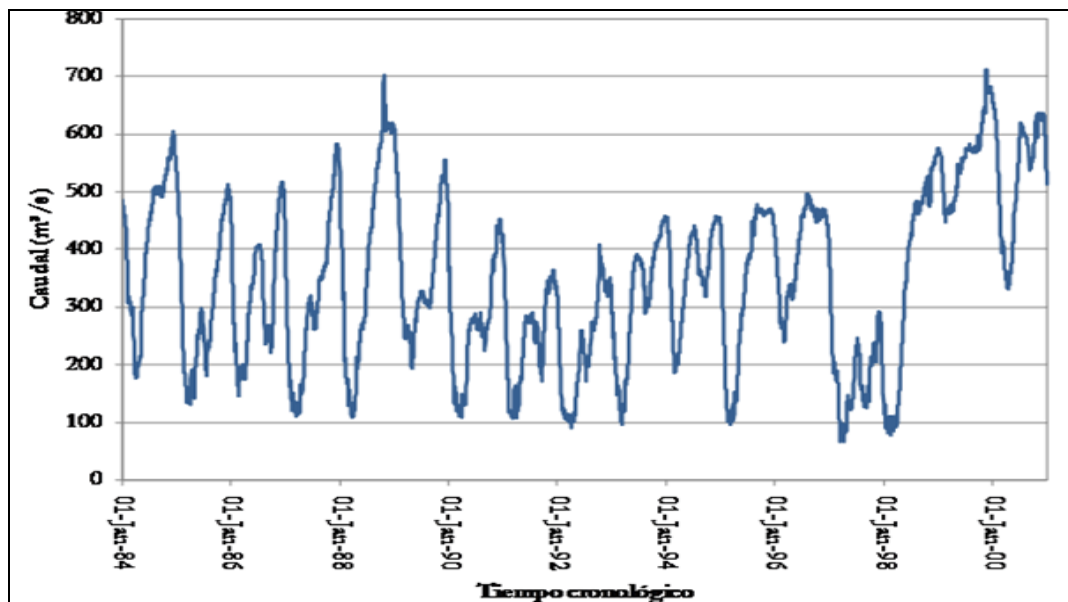


Figura A- 4-12: Caudales medios diarios estación Santa Helena II, para el período 1984-2000



A.5. INFORMACIÓN METEOROLÓGICA

A.5.1. PRECIPITACIÓN

Con el fin de realizar los análisis de las variables meteorológicas se contó con información de totales de precipitación diaria para el periodo entre 1992 y 1997 en 11 estaciones pluviométricas y 5 climatológicas, tal como se muestra en la Figura A- 5-1. La evaluación de la consistencia de los registros de precipitación, se realizó para el período 1988-1997, utilizando las curvas de doble masa. A manera de ejemplo se presentan en la Figura A- 5-2 las curvas de doble masa para la estaciones Arjona y Puerto Santander, en donde es evidente la consistencia de los registros. Resultados similares fueron obtenidos en otras estaciones (ver anexo digital).

Figura A- 5-1: Registros diarios de precipitación de las estaciones analizadas, periodo 1992-1997

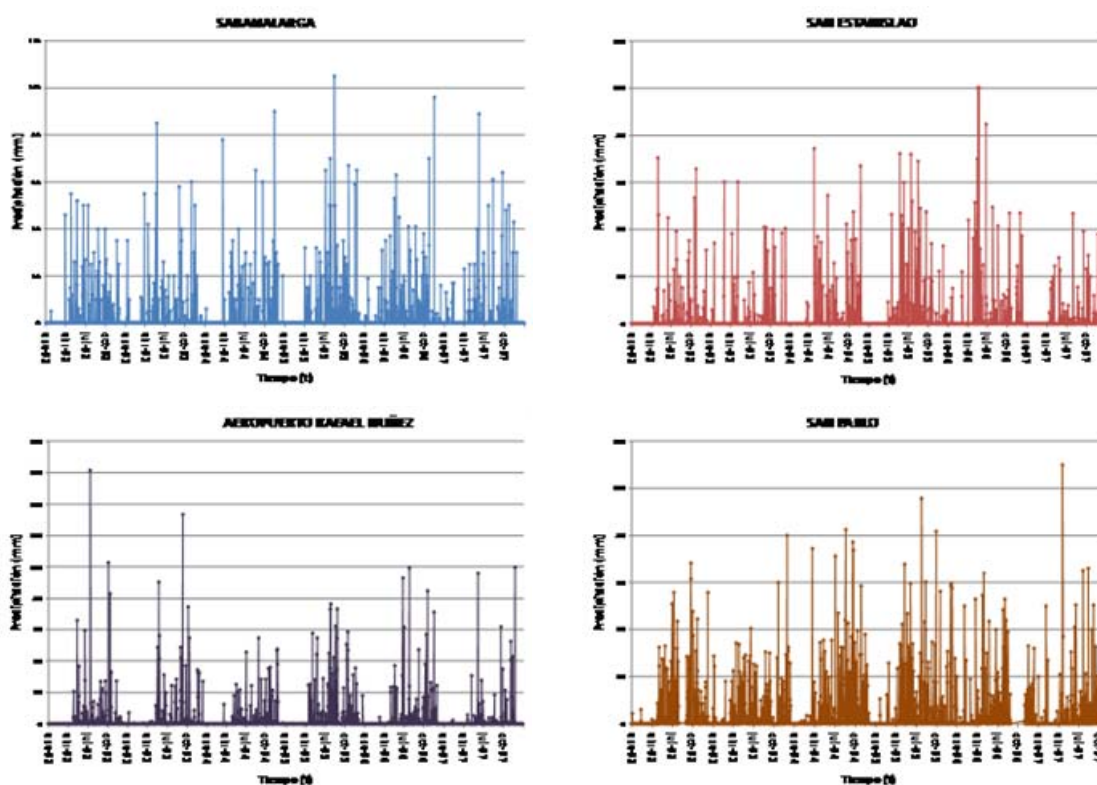


Figura A- 5-1: Registros diarios de precipitación de las estaciones analizadas, periodo 1992-1997

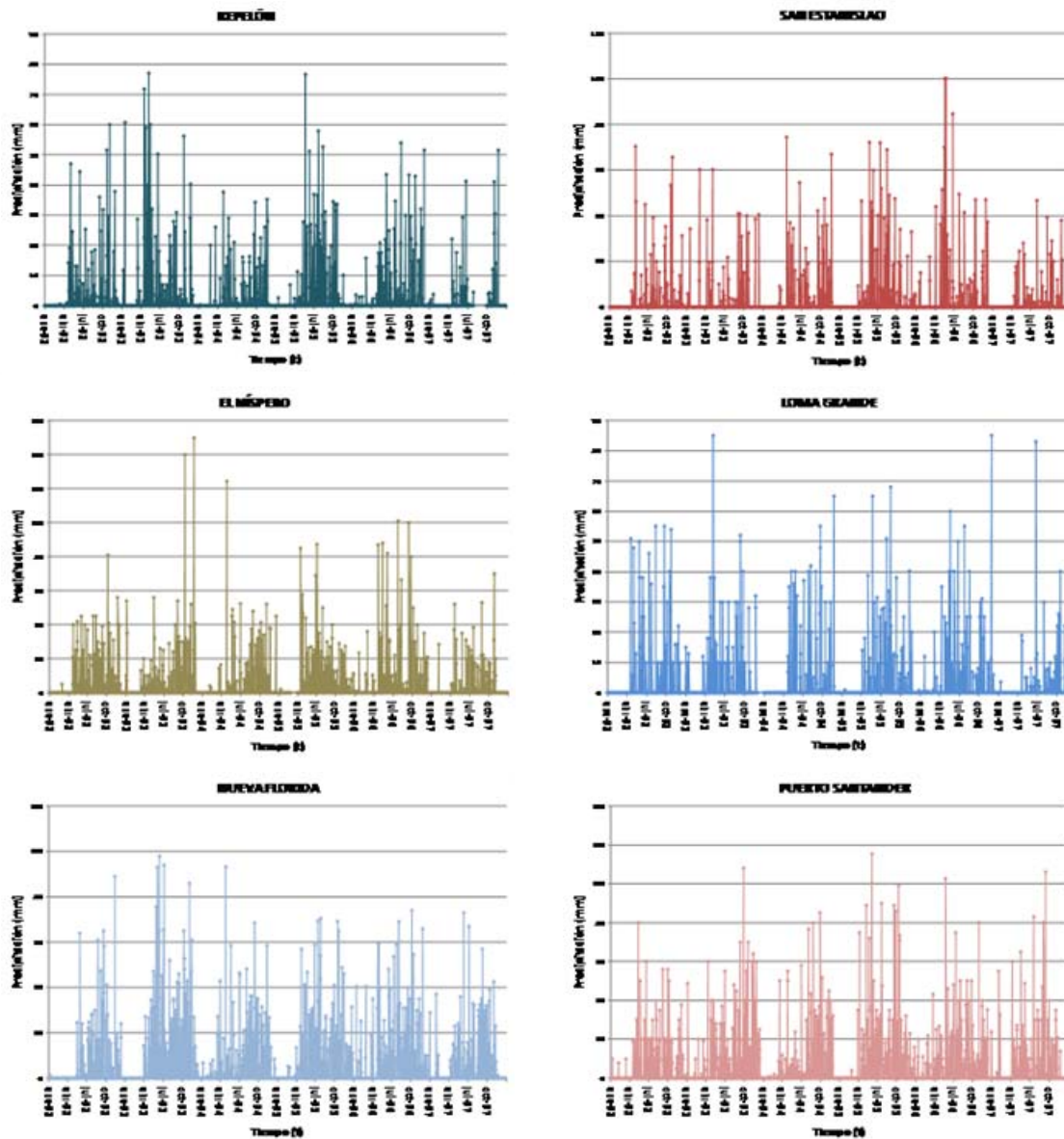


Figura A- 5-1: Registros diarios de precipitación de las estaciones analizadas, periodo 1992-1997

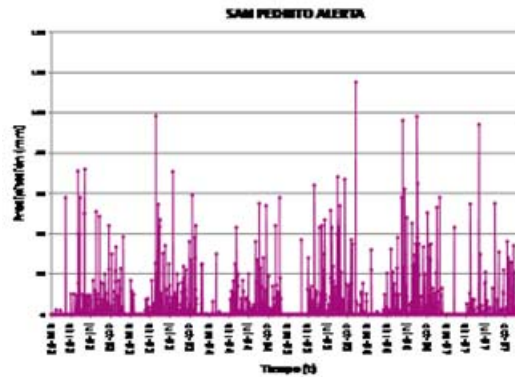
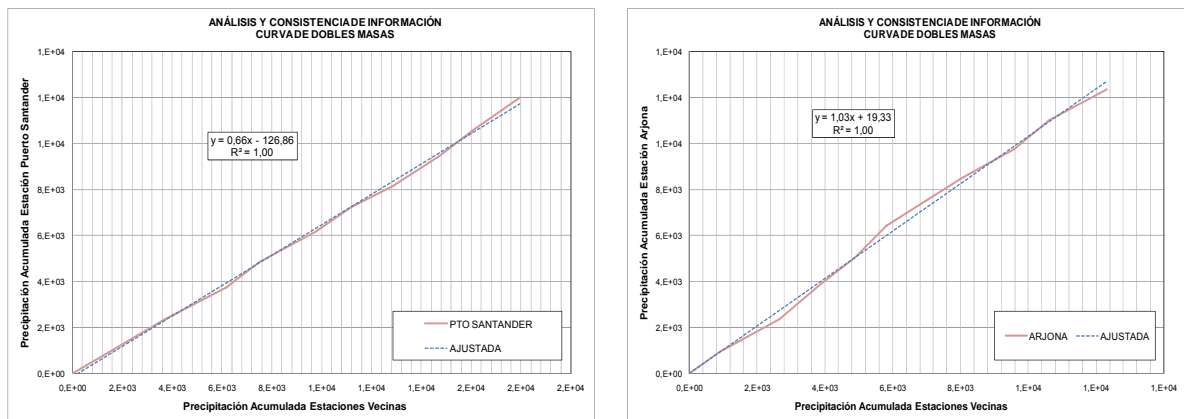


Figura A- 5-2: Curvas de doble masa de precipitación para las estaciones Arjona y Puerto Santander



A.5.2. TEMPERATURA

Para esta variable meteorológica se contó con series de temperatura diaria en seis estaciones para los años entre 1992 y 1997. La estación Aeropuerto R. Núñez (SP) – 1401502 cuenta con el 98.45% de los datos y visualmente no presenta valores anómalos. Al graficar el boxplot para esta serie (ver Figura A- 5-4), se observa un posible registro anómalo, el cual se descarta al aplicar la prueba de Grubb. En la estación El Limón (CO) – 2903512 se cuenta con datos para el 93.48% del período, en el cual se presentan tres valores (dos mínimos y uno máximo) que visualmente llaman la atención en la Figura A- 5-3. Sin embargo, al realizar los boxplot (ver Figura A- 5-4), para la serie estudiada, se observa más de una decena de posibles valores anómalos, de los cuales, al aplicar la prueba de Grubb, solamente 4 resultan atípicos (22 de Julio de 1992, 29 de abril de 1994, 16 de junio de 1992 y 12 de marzo de 1993); se removieron los tres últimos ya que el primero es

consistente con el dato de ese día de la estación Repelón. La estación Normal Manatí (CO) – 2903508 cuenta con el 86.22% del registro para los seis años investigados. Se observa a finales de 1996 un descenso marcado en la tendencia de la serie que se compara bien con el presentado en la estación San Pablo durante el mismo período. Igualmente se aprecian 8 posibles datos atípicos en la serie estudiada. Sin embargo, al aplicar la prueba de Grubb, resultan solo dos registros atípicos (23 de mayo de 1993 y 28 de julio de 1995) que fueron removidos de la serie. La estación Nueva Florida (CP) – 2903508 cuenta con el 68.02% de los datos para el periodo de análisis. Se visualiza un dato anómalo (mínimo), pero en los boxplot resultan más de una decena (ver Figura A- 5-4). Al aplicar la prueba de Grubb, resultan 6 datos anómalos correspondientes a los días 9 de abril de 1992, 11 de mayo de 1992, 12 de marzo de 1994, 21 mayo de 1994, 6 de julio de 1994 y 6 de octubre de 1994; los cuales son eliminados de la serie. La estación Repelón (CP) – 2903507 presenta el 91.47% de los datos, donde se visualizan posibles valores anómalos que son confirmados en el boxplot (ver Figura A- 5-4). Para la serie de esta estación se removieron los datos del 24 de noviembre de 1994 y 16 de mayo de 1995, con base en la prueba de Grubb. La estación San Pablo (CO) – 2903511 presenta el 84.53% de los registros diarios durante el período de análisis, entre los cuales se encuentran varios datos posiblemente anómalos, pero que al aplicar la prueba de Grubb, únicamente sugieren la remoción de la serie del dato del 19 de octubre de 1992.

Figura A- 5-3: Registros diarios originales de Temperatura, para el período 1992-1997

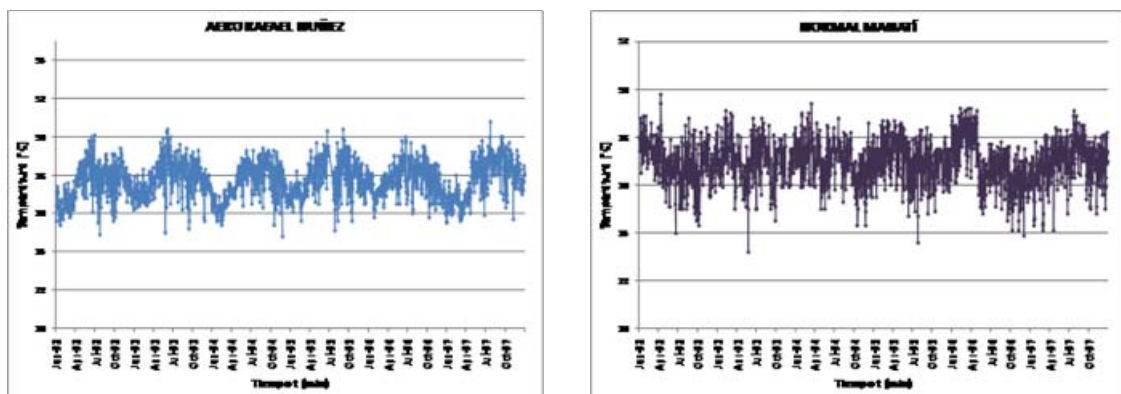


Figura A- 5-3: Registros diarios originales de Temperatura, para el período 1992-1997

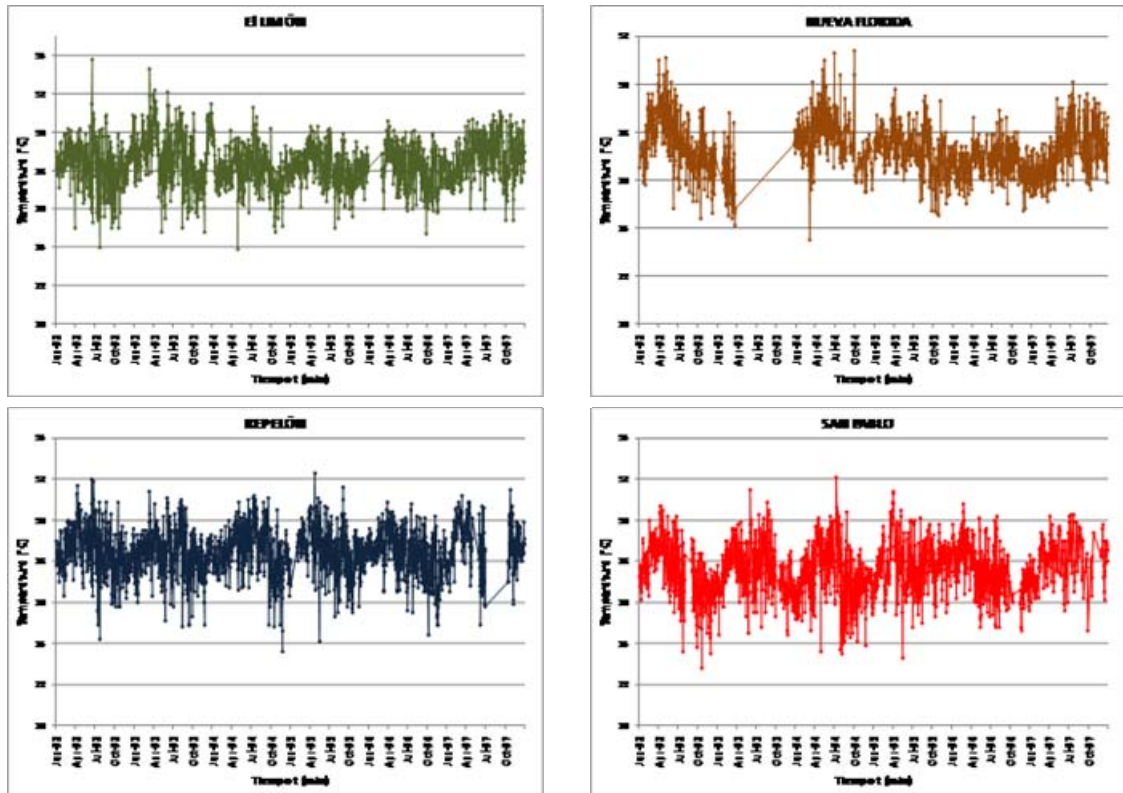
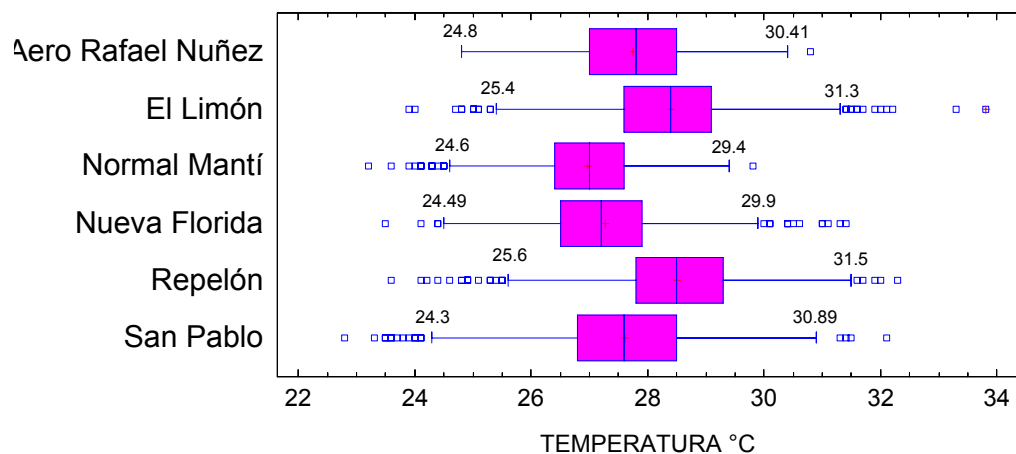


Figura A- 5-4: Boxplot temperatura para el periodo 1992-1997



A.5.3. EVAPORACIÓN

Para la variable de evaporación se utilizaron registros diarios de tanque evaporímetro durante el período 1992 – 1997 disponibles en cinco estaciones. La estación Aeropuerto R. Núñez (SP) – 1401502 cuenta con el 42.56% de los datos de la serie diaria y un punto que fue considerado como anómalo dentro de la serie. La estación El Limón (CO) – 2903512 cuenta con el 58.71% de los registros diarios, en los cuales se identifican dos valores extremos después de aplicar la prueba de Grubb, que fueron removidos de la serie. La estación Nueva Florida (CP) – 2903508 cuenta con el 63% de los datos para el periodo de análisis y presenta varios valores anómalos de evaporación diaria que superan los 20 mm, los cuales al realizar el análisis de Grubb fueron, algunos de ellos, considerados como atípicos. La estación Repelón (CP) – 2903507 tiene el 80.38% de los datos, presentándose 6 datos atípicos, luego de aplicar la prueba de Grubb. Finalmente, la estación San Pablo (CO) – 2903511 presenta el 83.67% de los registros de la serie diaria entre los cuales se encontraron varios puntos anómalos, algunos con evaporación diaria superior a 40 mm (ver Figura A- 5-5 y Figura A- 5-6).

Figura A- 5-5: Registros originales diarios de tanque evaporímetro para el periodo 1992-1997

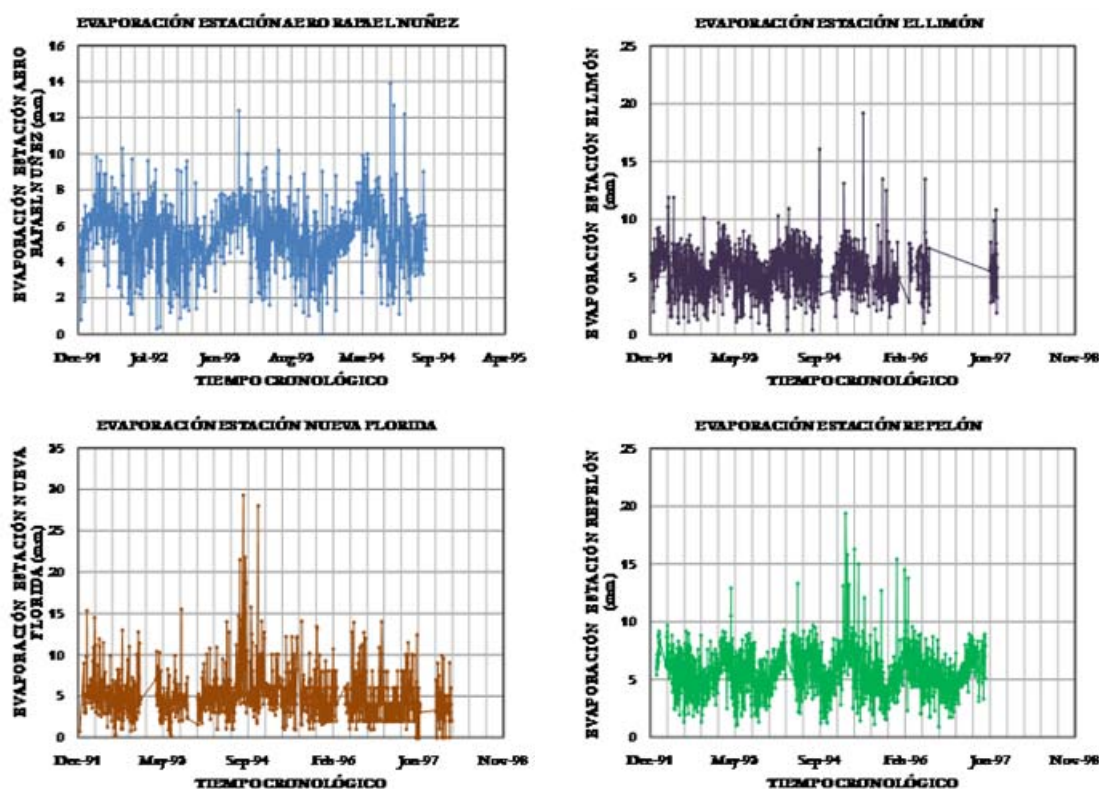


Figura A- 5-5: Registros originales diarios de tanque evaporímetro para el periodo 1992-1997

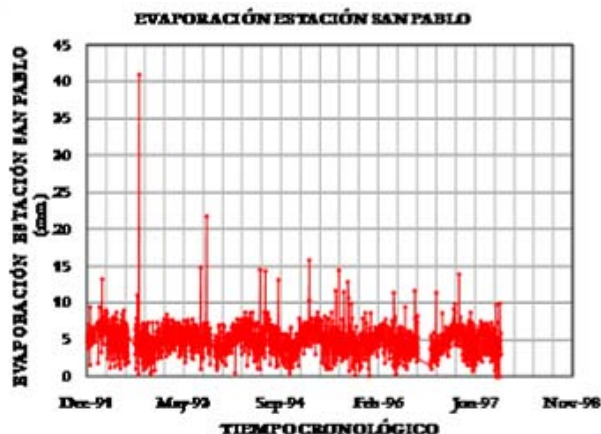
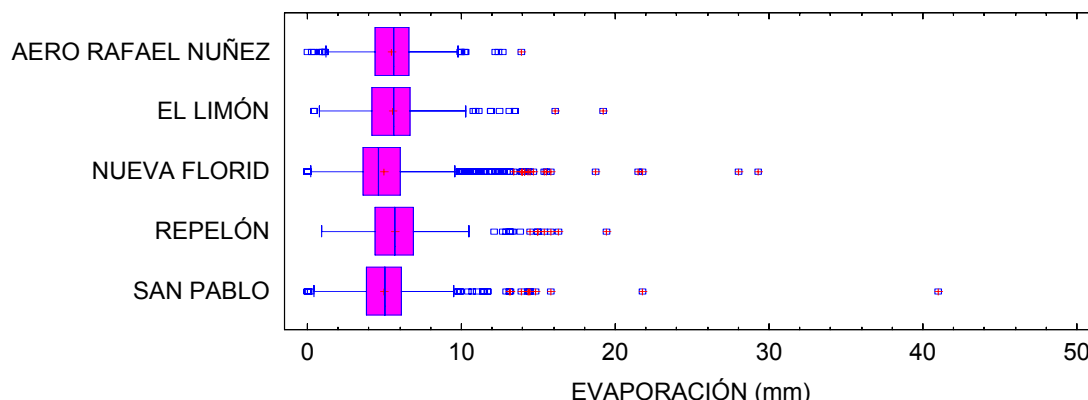


Figura A- 5-6: Diagrama de Cajas y Bigotes Evaporación

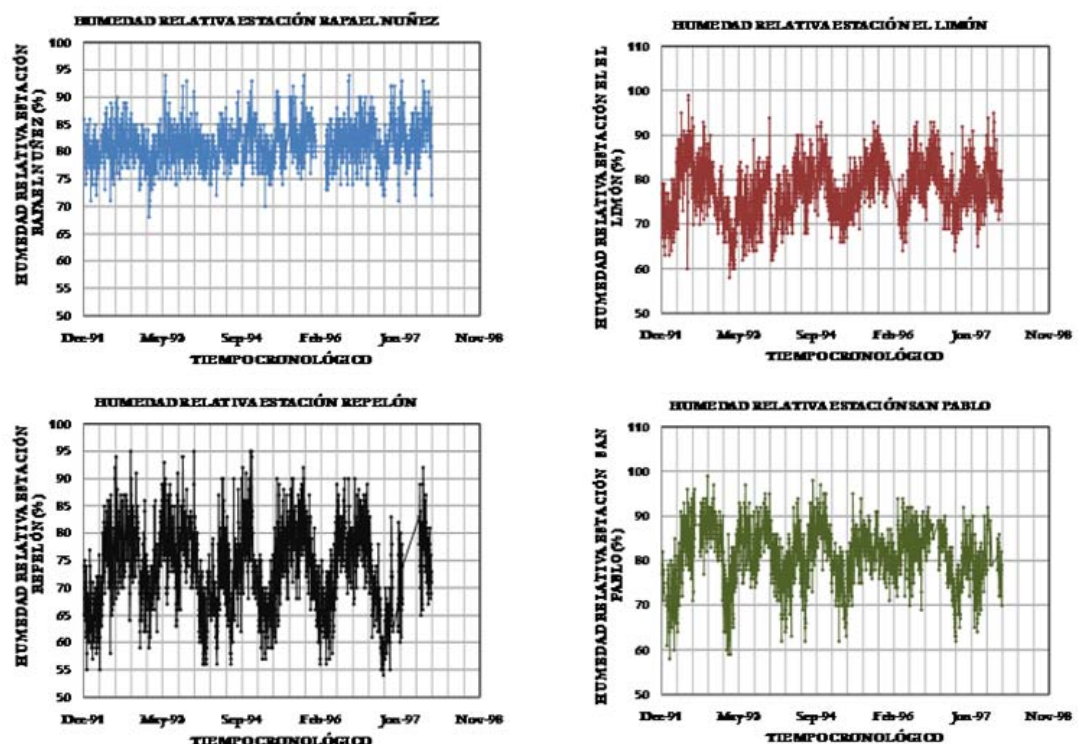


A.5.4. HUMEDAD RELATIVA

Para el análisis de humedad relativa se contó con registros diarios de humedad relativa para los años entre 1992 y 1997 en cinco estaciones. La estación El Limón (CO) – 2903512, Normal Manatí (CO) – 2903508, estación Repelón (CP) – 2903507, estación San Pablo (CO) – 2903511 y estación Aeropuerto R. Núñez (SP) – 1401502, cuyos registros se presentan en la Figura A- 5-6. Al igual que para las demás variables meteorológicas, se realizó un análisis de consistencia a través de diagramas de patillas y la prueba de Grubb, como se presenta en la Figura A- 5-7. Los registros de la estación El Limón corresponden al 93,52% de la información, con tres posibles datos anómalos, cuyo valor más extremo es 3.42 veces la desviación típica de la media, los cuales al aplicar la prueba de Grubb no se rechazan. Del mismo modo, la estación Normal Manatí contiene el 77,37% de los datos durante el período estudiado; además se aprecian 5 valores posibles anómalos, cuyo valor más extremo es 3.7

desviaciones típicas de la media. Dado que el p-valor para el test de Grubbs es superior o igual a 0.05, ese valor no es atípico al 5% de nivel de significación, por tanto no se rechazan ese ni los demás datos. Por otra parte, la estación Repelón no presenta datos anómalos y contiene el 92,80% de los registros durante el período estudiado. En lo que respecta a la estación San Pablo, se presentan alrededor del 86% de los registros, con presencia de posible información atípica; sin embargo, al aplicar la prueba de Grubb, no se identifican datos anómalos. Finalmente, la estación Aeropuerto Rafael Núñez, cuenta con el 98,70% de información en el periodo analizado, de los cuales se pueden identificar visualmente 6 datos atípicos de los diagramas de patillas, pero que al aplicar la prueba de Grubb resultan no serlo.

Figura A- 5-7: Registros diarios de humedad relativa, periodo 1992-1997



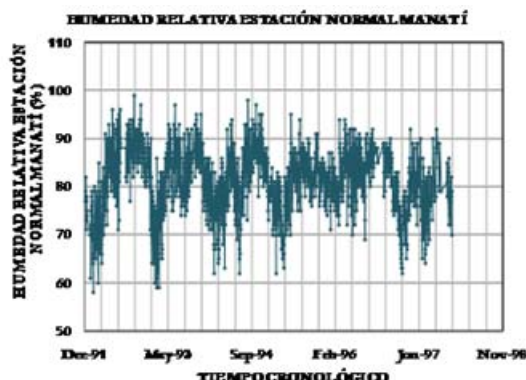
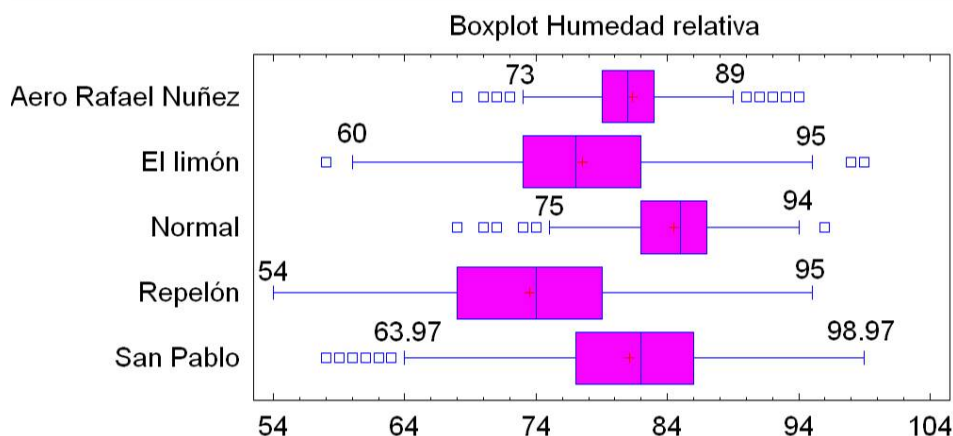


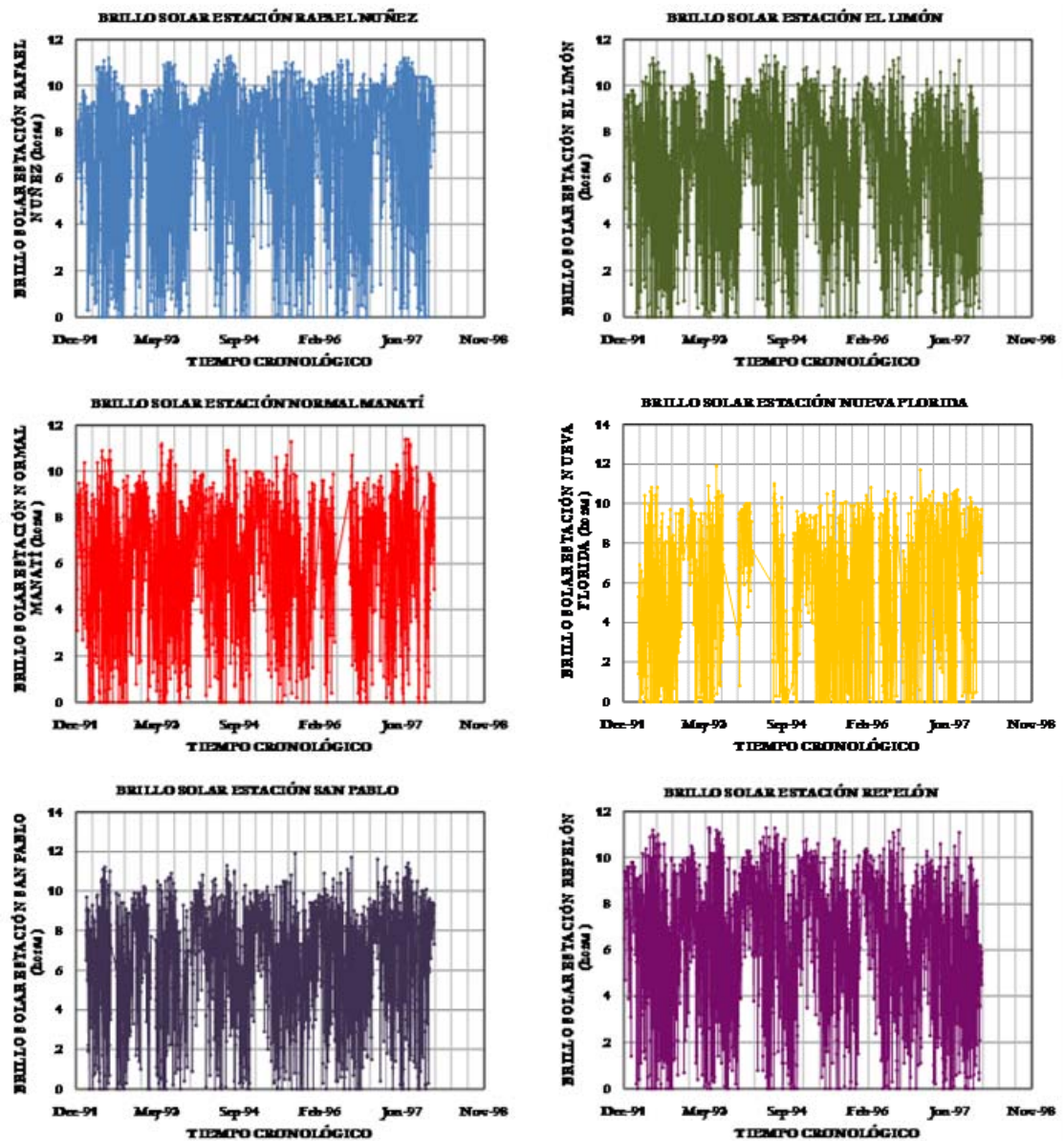
Figura A- 5-8: Diagrama de patillas de humedad relativa



A.5.5. BRILLO SOLAR

Para la variable de brillo solar se utilizaron registros diarios para el período 1992-1997 de seis estaciones climatológicas. La estación El Limón (CO) – 2903512, estación Normal Manatí (CO) – 2903508, estación Nueva Florida (CP) – 2903508, estación Repelón (CP) – 2903507, estación San Pablo (CO) – 2903511 y la estación Aeropuerto R. Núñez (SP) – 1401502 (ver Figura A- 5-9). Debido a la gran variabilidad de los datos para esta variable, no resulta útil para esta variable realizar un análisis de consistencia a través de diagramas de patillas y por ende este tipo de registros fueron analizados sin modificación.

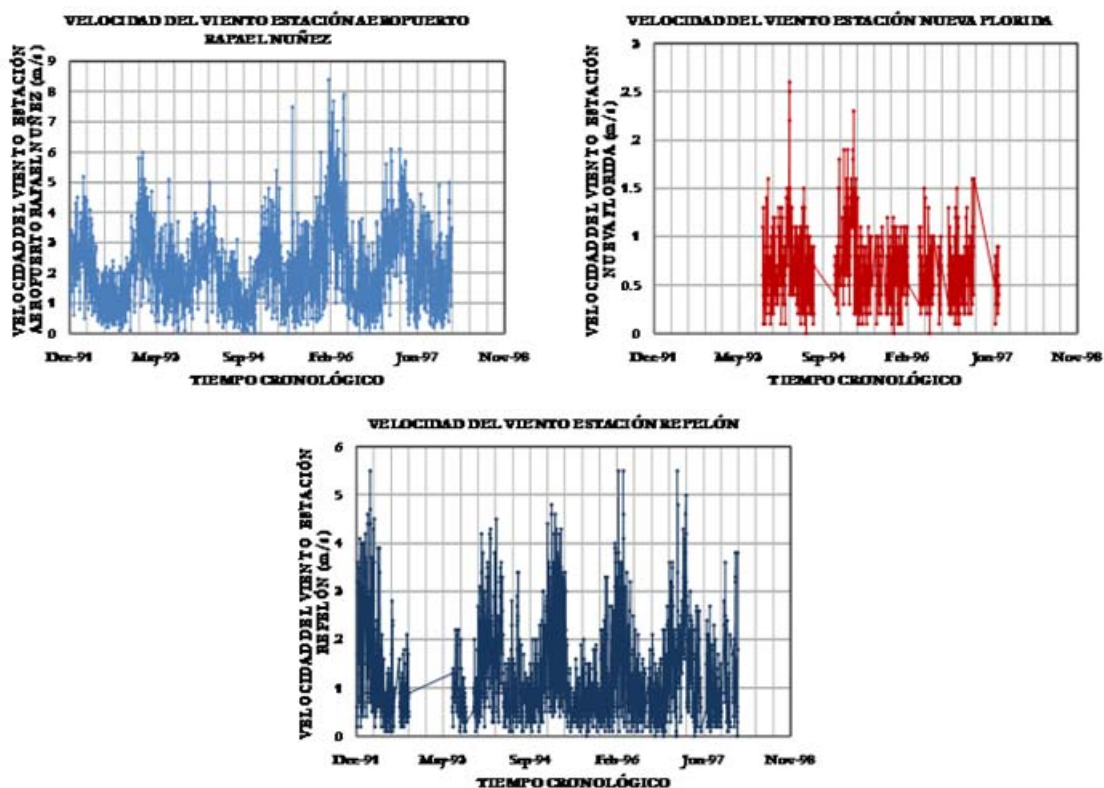
Figura A- 5-9: Registros diarios para brillo solar, periodo 1992-1997



A.5.6. VELOCIDAD DEL VIENTO

Se analizaron los registros de velocidad media del viento para los años entre 1992 y 1997 en tres estaciones. La estación Nueva Florida (CP) – 2903508, estación Repelón (CP) – 2903507 y la estación Aeropuerto R. Núñez (SP) – 1401502 (ver Figura A- 5-8).

Figura A- 5-10: Registros diarios de velocidad media del viento, periodo 1992-1997



A.6. ANÁLISIS DE SERIES DE VARIABLES METEOROLÓGICAS

A.6.1. METODOLOGÍA LLENADO DE DATOS FALTANTES

Para la adecuada caracterización de las variables meteorológicas, durante el período fundamental de estudio 1992-1997 y durante el período 1984-2000 en el caso de niveles, es indispensable contar con series de tiempo lo más completas posible. Por esta razón y una vez revisada la consistencia de los registros, tal como se describió en el capítulo anterior, se emplearon diversas metodologías para completar los registros suministrados por el IDEAM a nivel mensual y diario, considerando la cantidad de datos faltantes consecutivos en las diferentes series, tal como se describe a continuación. La metodología de llenado de datos faltantes ha sido la misma propuesta y empleada en la Fase I de los estudios.

El procedimiento a emplear se seleccionó con base en la cantidad de datos consecutivos faltantes, así:

- Para un valor faltante, este se llenó utilizando el promedio de los datos anterior y posterior. Estos datos se identifican en color rojo dentro de las series procesadas en Excel e incluidas en el anexo digital.
- Para menos de cinco datos faltantes consecutivos en la serie investigada, se utilizó el promedio móvil para una ventana de 7 días (período semanal). El tamaño de la ventana se analizó para cada caso particular utilizando datos existentes consecutivos. Para ello se consideraron ventanas entre 3 y 12 datos. Estos datos se identifican con color azul dentro de las series en Excel.
- Para períodos con datos faltantes entre 5 y 15 días se utilizaron regresiones múltiples de la variable investigada con datos de la misma variable en estaciones vecinas para el mes correspondiente. Estos datos se identifican en color rojo con fondo amarillo dentro de la series en Excel.
- Por último, si el periodo con datos faltantes es mayor a 15 días e inferior a un mes, los valores se determinaron a partir de la desagregación a nivel diario del valor mensual reportado en las series mensuales. En el caso de temperatura, estos valores se determinaron a partir del valor promedio mensual más una desviación estándar multiplicada por un número aleatorio. En el caso de radiación se generaron múltiples regresiones entre los datos existentes y las series de temperatura y evaporación disponibles de diferentes estaciones para cada mes del año, obteniéndose coeficientes de determinación R^2 siempre mayores a 0.60 Estos datos se identifican en color verde dentro de las series procesadas.

A.7. ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS

A.7.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación media y su distribución espacial sobre la cuenca, para el periodo comprendido entre 1984 y 2001, se determinó utilizando el método de las isoyetas y los resultados fueron incluidos en el Anexo A de la Fase I de los estudios, a partir de los cuales se concluyó que la precipitación media multianual sobre toda la cuenca es de aproximadamente 1290 mm y que en general aumenta desde la costa hacia el interior.

A continuación se describe en detalle la metodología de llenado de datos utilizada y los histogramas de valores medios mensuales multianuales de precipitación obtenidos.

A.7.1.1. Metodología de llenado de datos faltantes

En general, las series históricas de precipitación contienen información fragmentada, de ahí que sea necesario completar los datos faltantes. Respecto a las series mensuales y diarias de precipitación, los valores faltantes se completaron utilizando el método del inverso de la distancia, considerando los registros de estaciones vecinas. Al igual que las series de otras variables meteorológicas, las series de precipitación procesadas en Excel se incluyen en el anexo digital que acompaña este informe.

A.7.1.2. Valores medios mensuales multianuales

A continuación se muestran para las diferentes estaciones analizadas, los histogramas de precipitación media mensual multianual para el periodo de estudio 1992-1997 (Ver Figura A-5-9).

Figura A- 7-1: Histogramas medios mensuales multianuales de precipitación para las estaciones de estudio, periodo 1992-1997

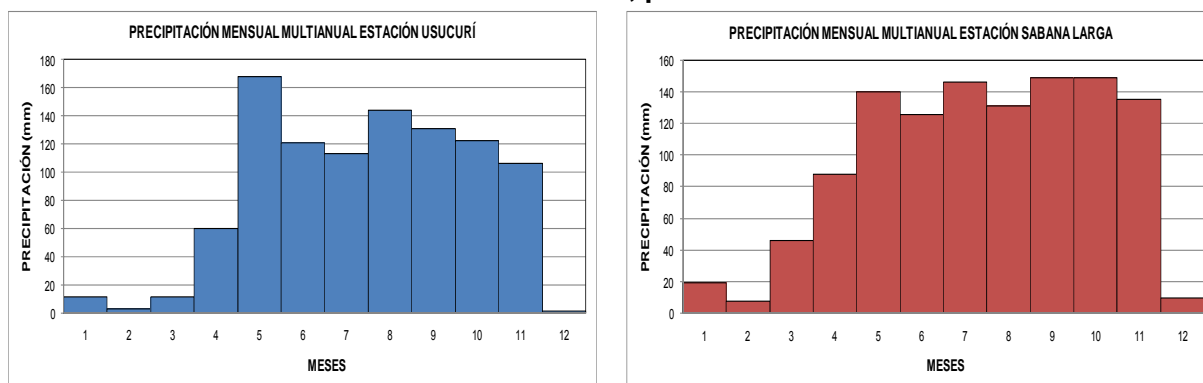
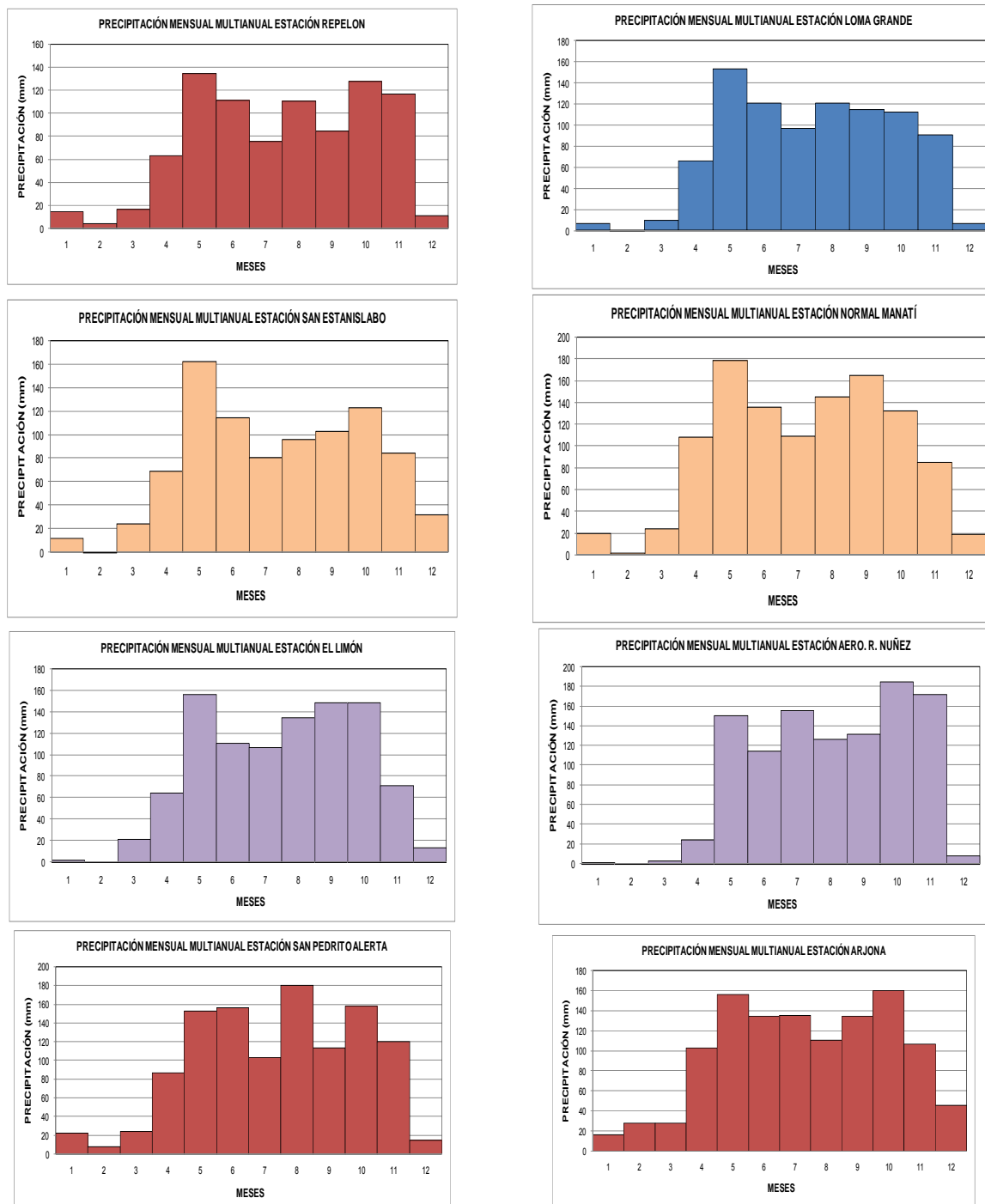


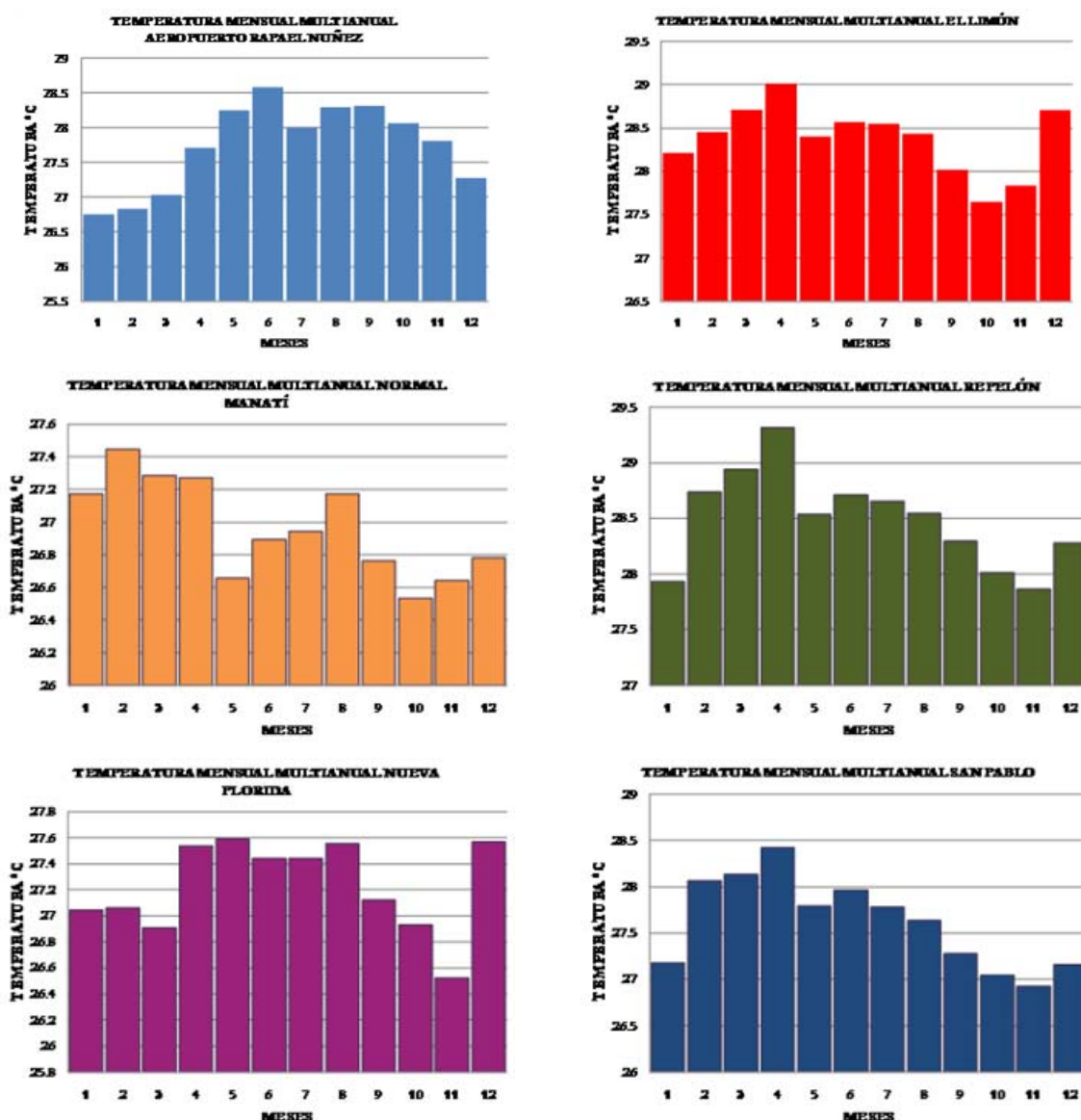
Figura A- 7-1: Histogramas medios mensuales multianuales de precipitación para las estaciones de estudio, periodo 1992-1997



A.7.2. TEMPERATURA

En los paneles de la Figura A- 7-1 se presentan los histogramas de temperatura media mensual multianual para el periodo de estudio 1992-1997. Se observa que las estaciones el Limón, Repelón y San Pablo tienen el mismo comportamiento, en abril se presenta la máxima temperatura mientras que en octubre y noviembre la mínima. Sin embargo, en las estaciones restantes el comportamiento del patrón de temperatura es dispar.

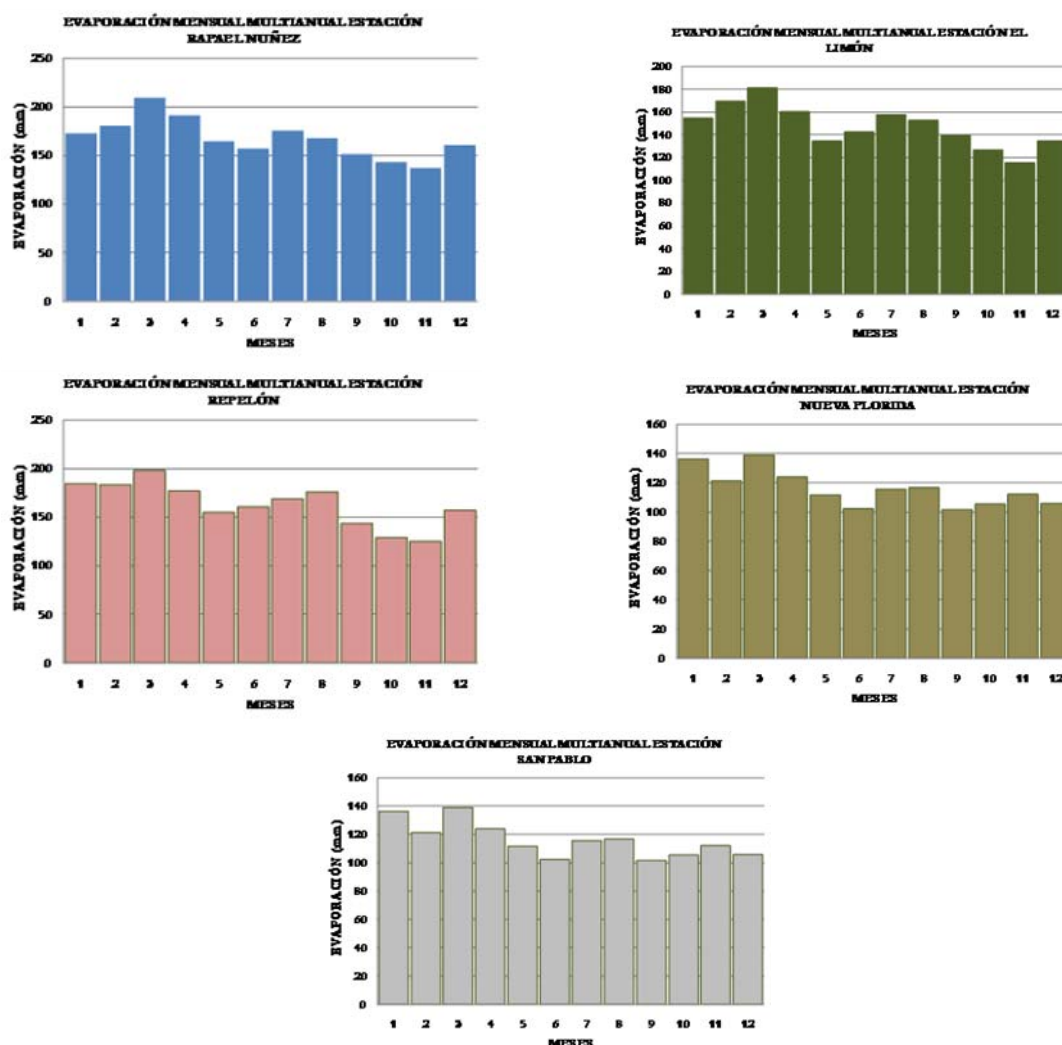
Figura A- 7-2: Histogramas de temperatura media mensual multianual para las estaciones de estudio, para el periodo 1992-1997



A.7.3. EVAPORACIÓN

En la Figura A- 7-2 se muestran los histogramas de evaporación media mensual multianual para el periodo de estudio 1992-1997. Se observa que las estaciones Aeropuerto Rafael Núñez, El Limón y Repelón tienen valores similares de evaporación, mientras que en la estación Nueva Florida se observa una ligera disminución. En los primeros cuatro meses del año se presentan los mayores valores de evaporación (ver Figura A- 7-3), con su máximo en el mes de marzo con valores superiores a 200 mm para el Aeropuerto Rafael Núñez y Repelón, 180mm para El Limón y 140 mm para las demás estaciones analizadas. Asimismo en los meses de mayo, junio, octubre y noviembre se presentan las menores evaporaciones.

Figura A- 7-3: Histogramas de evaporación media mensual multianual para las estaciones de estudio, para el periodo 1992-1997



A.8. ANÁLISIS HIDROMÉTRICOS

A.8.1. NIVELES

A.8.1.1. Niveles medios diarios período 1992-1997

La variabilidad hidrológica de los niveles y caudales del río Magdalena (asociada con fenómenos macroclimáticos), resulta en el Canal del Dique en años con caudales promedio anuales bien por debajo del promedio multianual (1997-1998), relacionados con la ocurrencia del Fenómeno del Niño. Esto muestra que la variabilidad interanual de los caudales en la cuenca del Canal del Dique está altamente influenciada por la ocurrencia de este tipo de fenómenos macroclimáticos, cuyo período de ocurrencia varía entre 3 y 7 años. En concordancia con lo anterior, los análisis efectuados indican que no basta con analizar el régimen hidrológico e hidráulico de la cuenca del Canal del Dique para eventos particulares o años seleccionados, sino que para comprender la dinámica del ecosistema del Canal del Dique es indispensable incluir en los análisis la variabilidad interanual presente en el sistema. Durante el período 1992-1997 se presentan tres años con condiciones secas, un año húmedo y dos años con condiciones promedio y el análisis así efectuado permite extender los resultados del análisis del período considerado en la Fase I de los estudios, al período 1988-1997.

Los niveles medios diarios utilizados en la modelación hidrológica-hidráulica acoplada para el período 1992-1997, fueron suministrados por el IDEAM. Estos datos, al igual que los de caudales medios diarios, fueron analizados para verificar su homogeneidad y consistencia, tal como se describió en el numeral 2.1 del informe final (CM-513). Adicionalmente, las series fueron completadas utilizando el promedio de los días adyacentes, en el caso en que fuese un día o dos los faltantes, o mediante ecuaciones de correlación entre estaciones, utilizando las fórmulas que se describen en el numeral 0 de este anexo. En la Figura A- 8-1 a la Figura A- 8-5 se muestran los niveles medios diarios en cada una de las estaciones hidrométricas con registros disponibles, para los escenarios de año, húmedo (1996), promedio (1993) y seco (1997).

Figura A- 8-1: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco, estación Calamar

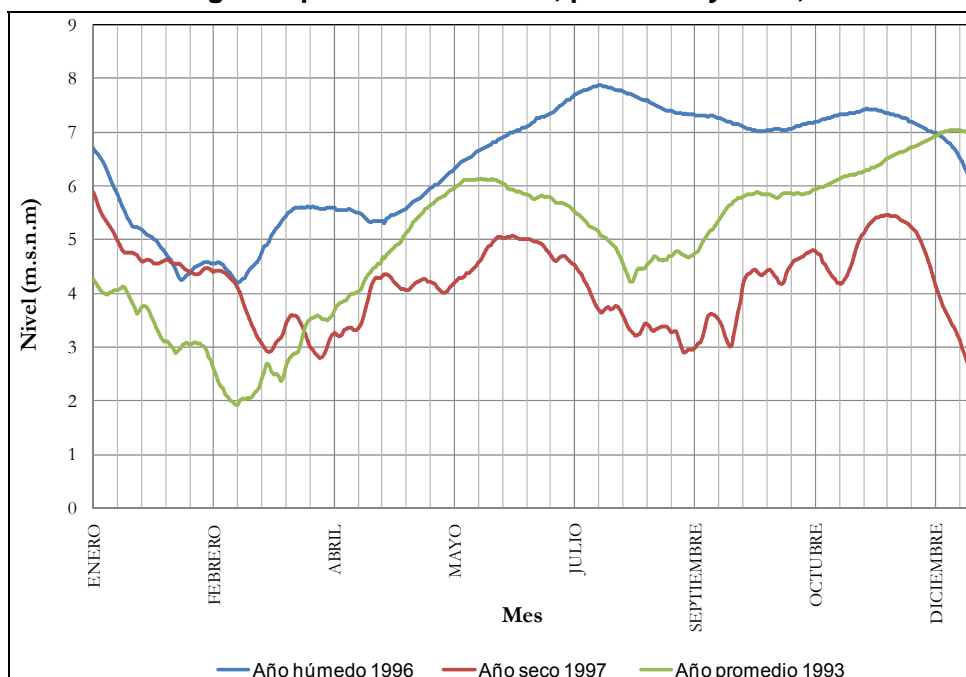


Figura A- 8-2: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco estación Incora

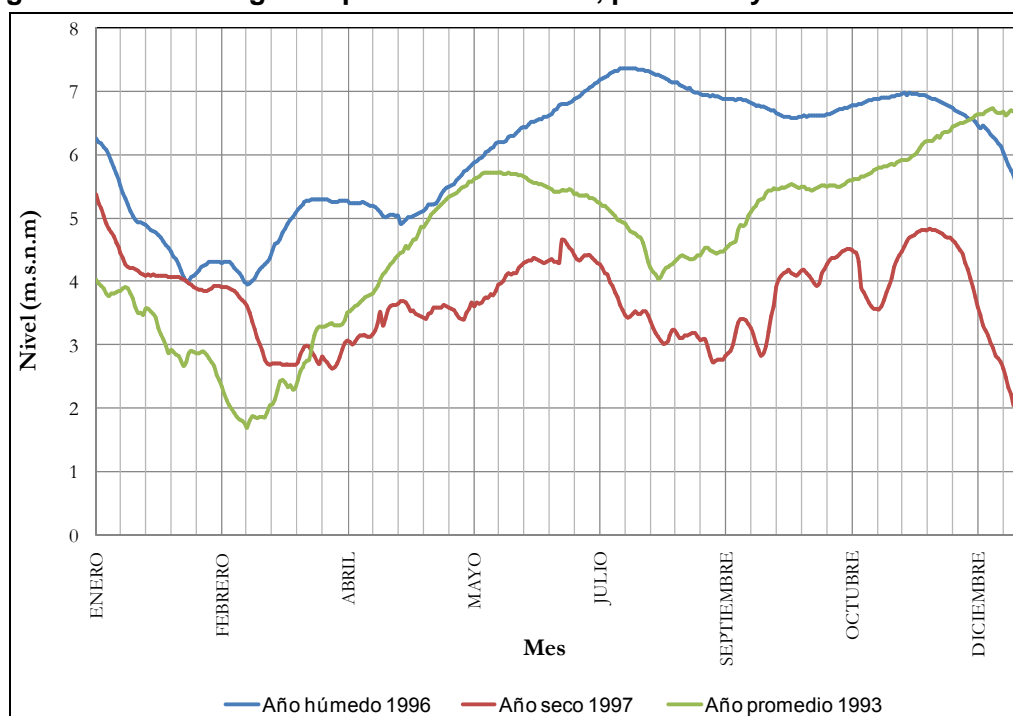


Figura A- 8-3: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco Estación Gambote

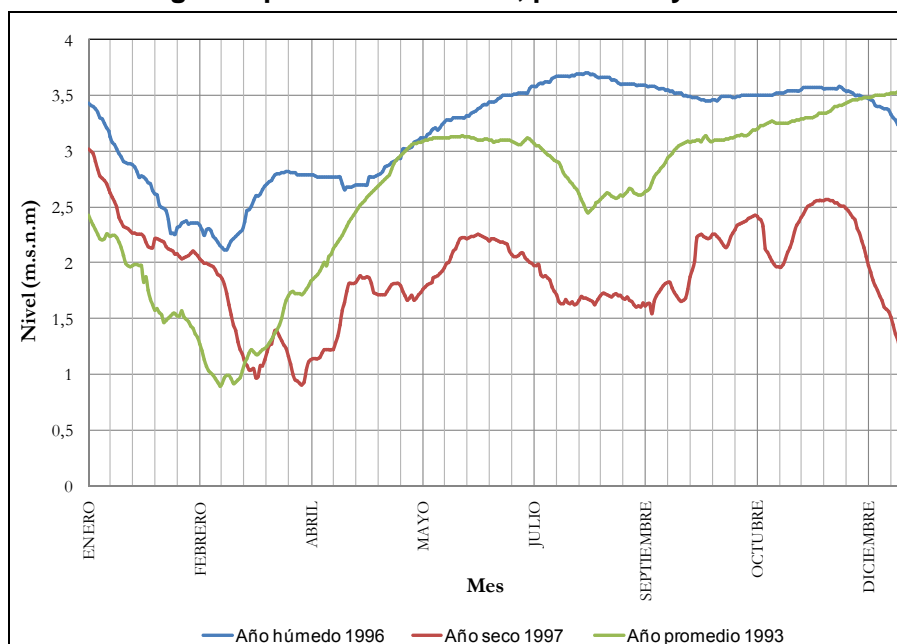


Figura A- 8-4: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco Estación Santa Helena

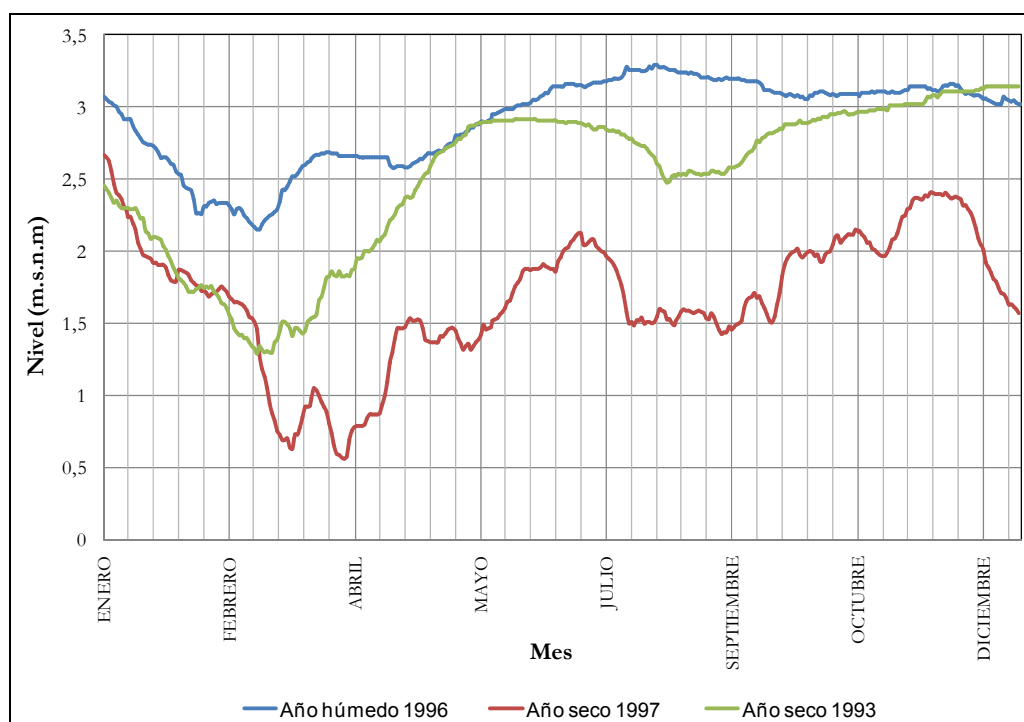
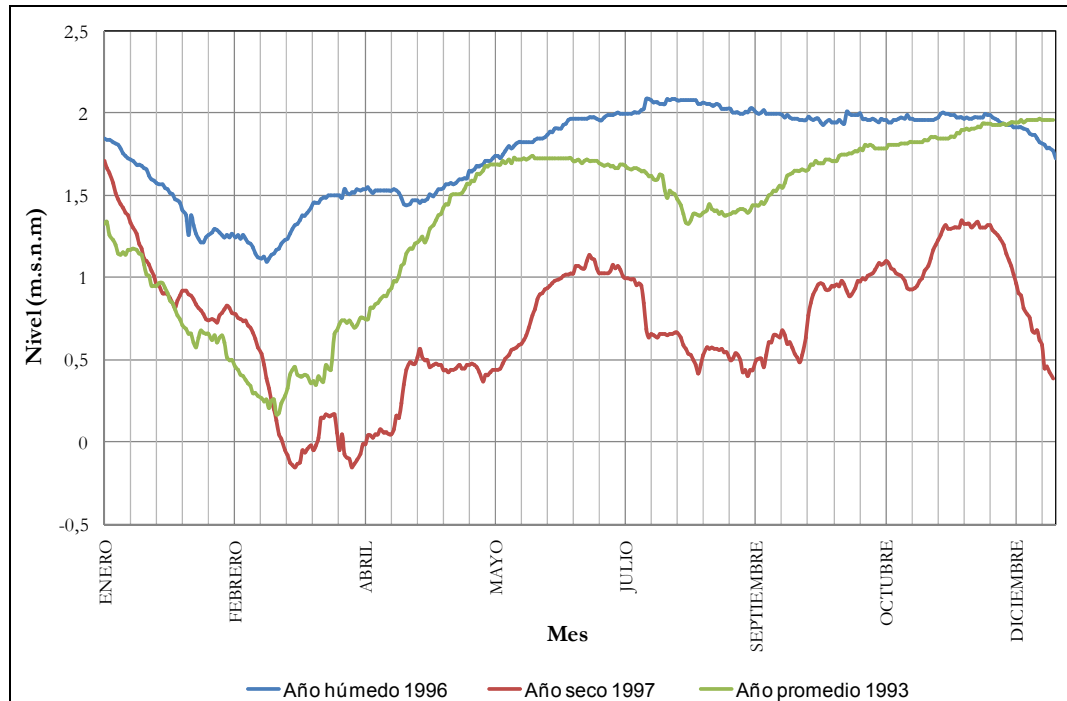


Figura A- 8-5: Limnigrama para años húmedo, promedio y seco Estación Santa Helena II



A.8.1.2. Curvas de duración de niveles

Las curvas de duración de niveles se elaboraron con base en los registros suministrados por el IDEAM y completados tal como se describe en el presente anexo. Las curvas fueron generadas con registros completos y los resultados obtenidos se discuten a continuación.

A.8.1.3. Estación Calamar

La curva de duración de niveles medios diarios en esta estación muestra que la mayor parte del tiempo (95% del tiempo), se presentan niveles por encima de los 2.14 m.s.n.m y solamente se superan los 7.63 m.s.n.m durante menos del 5% del tiempo. El nivel promedio es de 5.20 m.s.n.m. (ver Figura A- 8-6).

A.8.1.4. Estación Incora

La curva de duración de niveles para el período (1984-2000) muestra que la mayor parte del tiempo (95% del tiempo), se presentan niveles por encima de los 2.06 m.s.n.m y solamente se superan los 7.21 m.s.n.m durante el 5% del tiempo. El nivel medio, corresponde a 4.92 m.s.n.m (ver Figura A- 8-7).

A.8.1.5. Estación Gambote

La curva de duración de niveles medios en esta estación, mostrada en la Figura A- 8-8, indica que durante la mayor parte del tiempo (95% del tiempo) se presentan niveles por encima de los 1.13 m.s.n.m y solamente se superan los 3.65 m.s.n.m durante menos del 5% del tiempo. El nivel promedio corresponde a 2.61 m.s.n.m.

A.8.1.6. Estación Santa Helena I

La curva de duración de niveles de esta estación muestra que la mayor parte del tiempo (95% del tiempo) se presentan niveles por encima de los 1.39 m.s.n.m y solamente se superan los 3.35 m.s.n.m durante menos del 5% del tiempo. El nivel promedio corresponde a 2.52 m.s.n.m (ver Figura A- 8-9).

A.8.1.7. Estación Santa Helena II

La curva de duración de niveles de esta estación muestra que la mayor parte del tiempo (95% del tiempo) se presentan niveles por encima de los 0.33 m.s.n.m. En esta estación se presentan niveles muy bajos cerca del 2% del tiempo, y solamente se superan los 2.4 m.s.n.m durante menos del 5% del tiempo. El nivel promedio corresponde a 1.48 m.s.n.m (ver Figura A- 8-10).

Figura A- 8-6: Curva de duración de niveles, estación Calamar; período 1984-2000

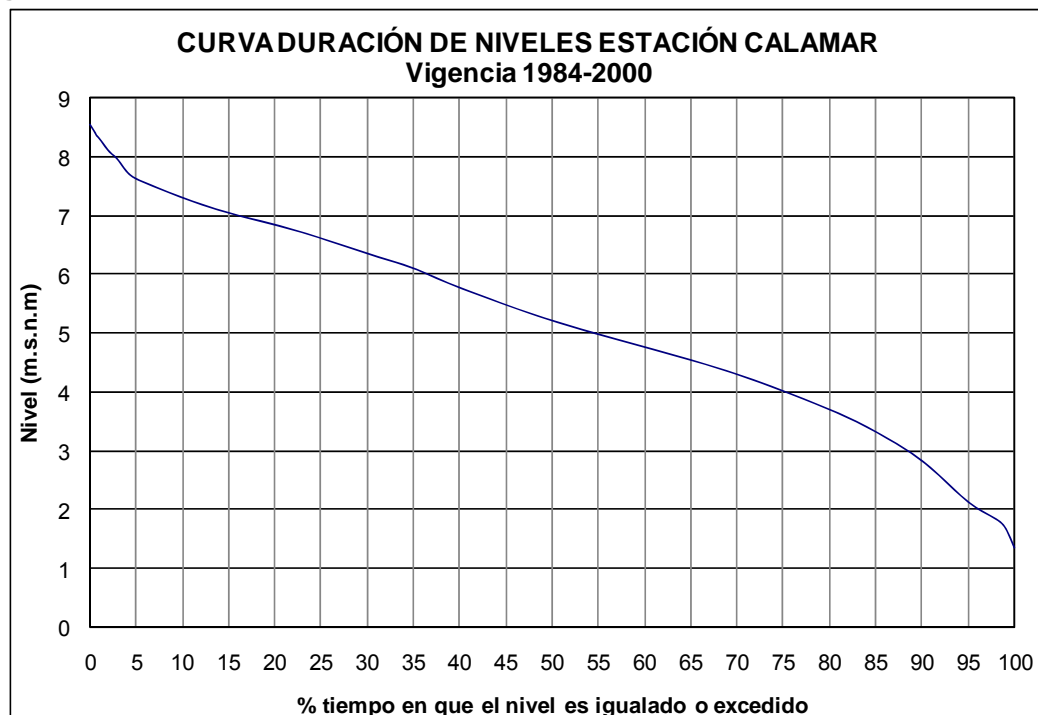


Figura A- 8-7: Curva de duración de niveles, estación Incora, período 1984-2000

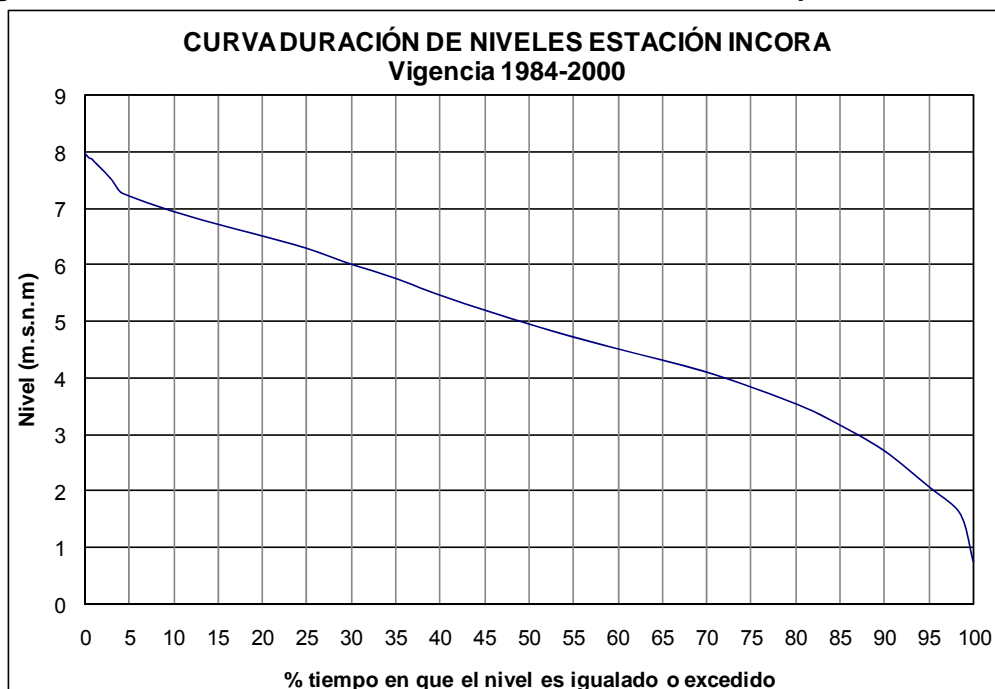


Figura A- 8-8: Curva duración de niveles estación Gambote, periodo 1984-2000

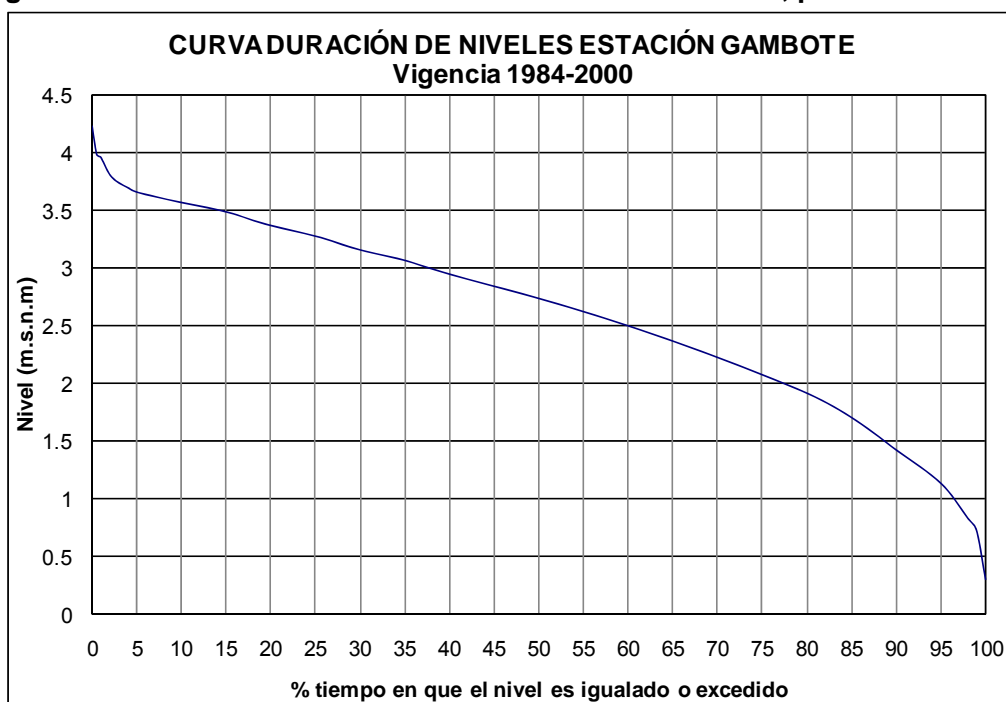


Figura A- 8-9: Curva de duración de niveles estación Santa Helena I, vigencia 1984-2000

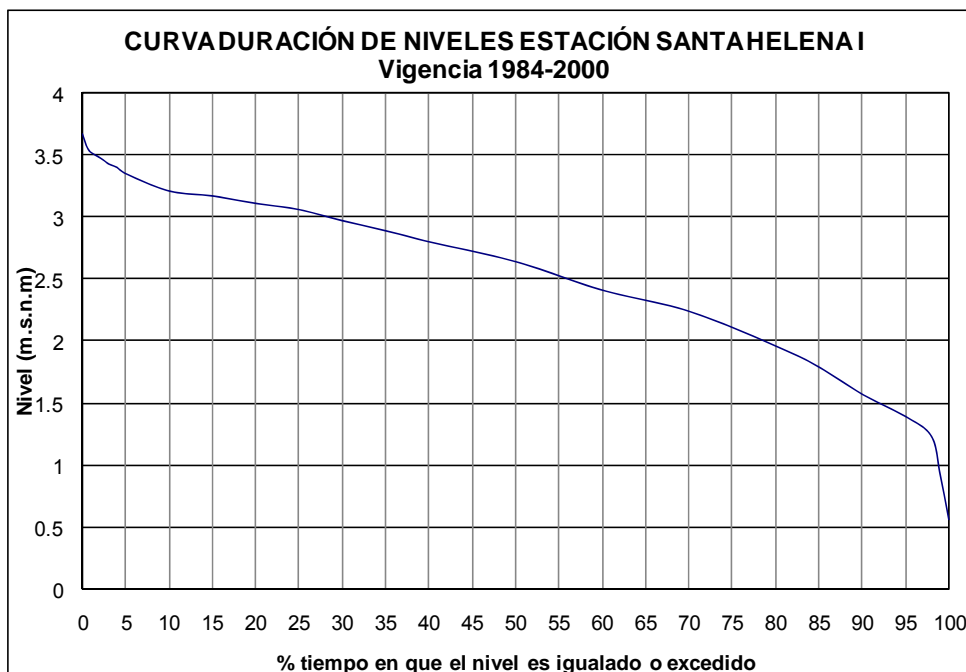
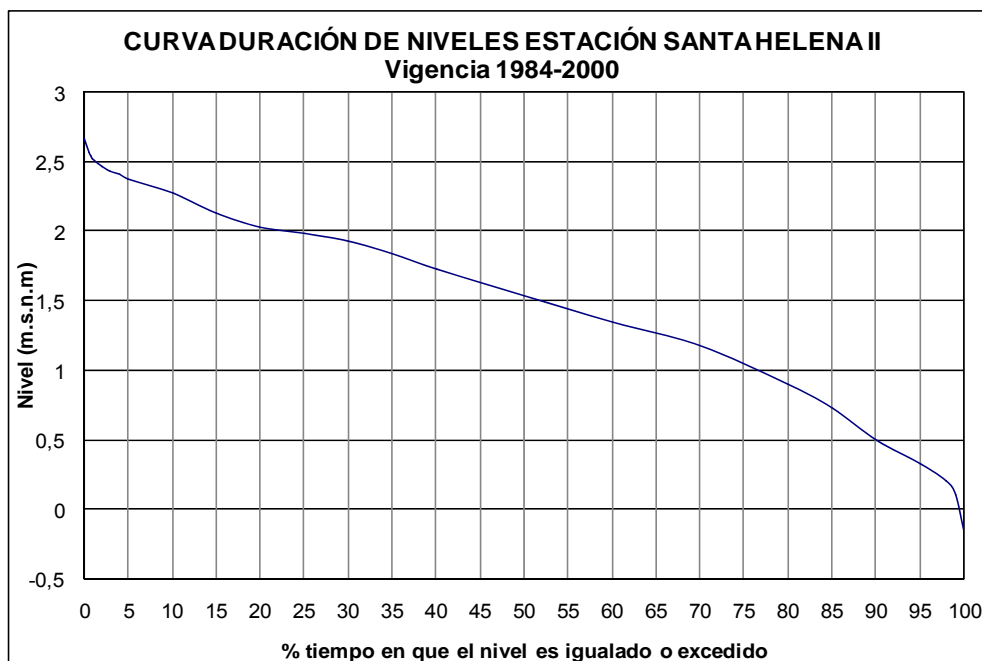


Figura A- 8-10: Curva de duración de niveles estación Santa Helena II, vigencia 1984-2000



A.8.1.8. Curvas de duración de caudales medios diarios

Los caudales medios diarios para el período 1984-2000 fueron generados a partir de las series de niveles diarios completas y consistentes, utilizando las curvas de calibración elaboradas por el LEH-UN en la Fase I de los estudios y presentadas en la Tabla A 4-2 de este anexo. Las curvas de duración de caudales obtenidas del análisis de los caudales medios diarios en cada una de las estaciones hidrométricas analizadas se muestran en la Figura A- 8-11 y Figura A- 8-12.

A.8.1.9. Estación Calamar

Para esta estación se analizaron los caudales desde 1984 hasta el año 2000, resultando un caudal medio de 7,363 m³/s. Asimismo durante el 50% del tiempo se presenta un caudal mayor a 6,992 m³/s (ver Figura A- 8-11)

A.8.1.10. Estación Incora

Para esta estación se calculó la curva de duración de caudales para el periodo 1984 – 2000 (ver Figura A- 8-12). El caudal medio es de 538.5 m³/s y el caudal durante el 50% tiempo es de 496.6 m³/s.

A.8.1.11. Estación Gambote

La curva de duración de caudales de esta estación, indica un caudal medio de 489.80 m³/s y un caudal mediano de 474.13 m³/s (ver Figura A- 8-13).

Al comparar las curvas de duración de caudales de las estaciones Gambote e Incora para el mismo periodo y estimar las áreas debajo de las mismas, se pueden determinar claramente las pérdidas de caudal en este tramo debidas a desbordes que se presentan en el tramo entre estas estaciones. Los desbordes promedio anuales estimados corresponden a 1533 millones de m³ (ver Figura A- 8-16).

A.8.1.12. Estación Santa Helena I

Según la curva de duración de caudales (ver Figura A- 8-14), el caudal medio en esta estación es de 435.8 m³/s y el caudal mediano de 449.2 m³/s.

A.8.1.13. Estación Santa Helena II

Para esta estación el cálculo del caudal medio indica un valor igual a 346.2 m³/s y un valor de caudal igualado excedido de 337.7 m³/s en el 50% del tiempo (ver Figura A- 8-15). La diferencia entre las curvas de duración de caudales de las estaciones Santa Helena I y II es un indicativo de los caudales derivados por el Caño Correa y otras ciénagas como Palotal y La Honda, que sugieren un valor de caudal derivado y desbordado promedio del orden de 90m³/s.

Figura A- 8-11: Curva de duración de caudales para la estación Calamar, periodo 1984-2000

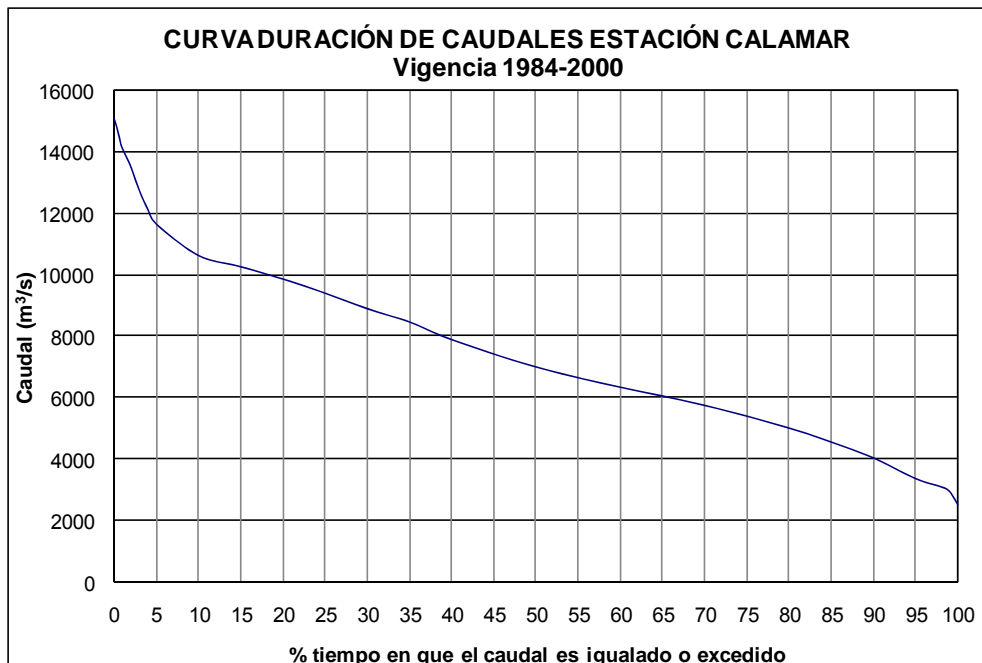


Figura A- 8-12: Curva de duración de caudales para la estación Incora, periodo 1984-2000

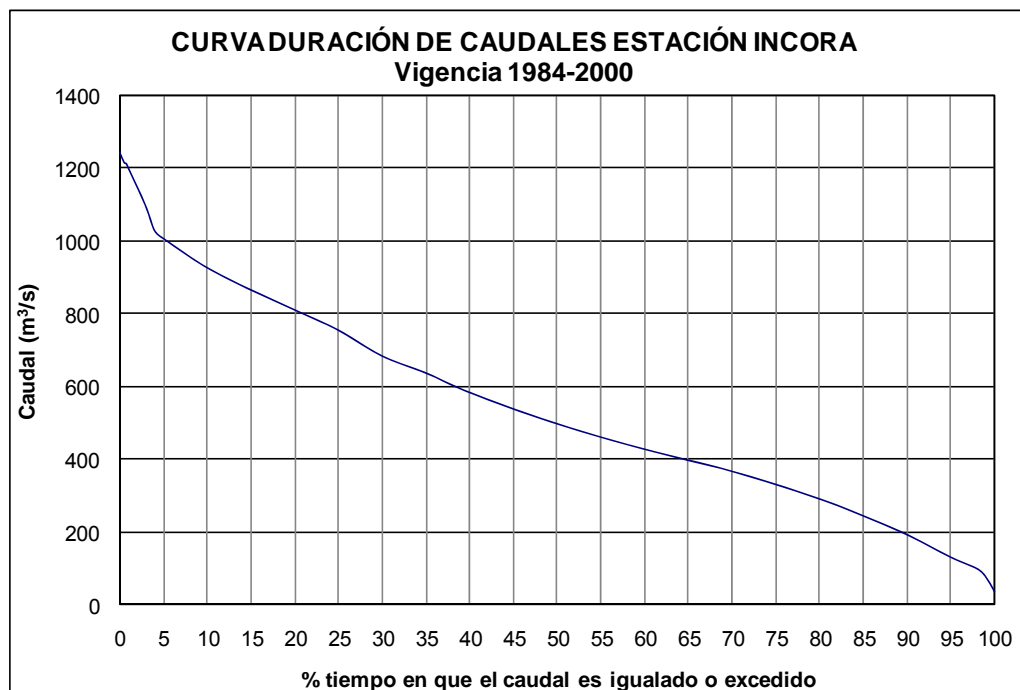


Figura A- 8-13: Curva de duración de caudales para la estación Gambote, periodo 1984-2000

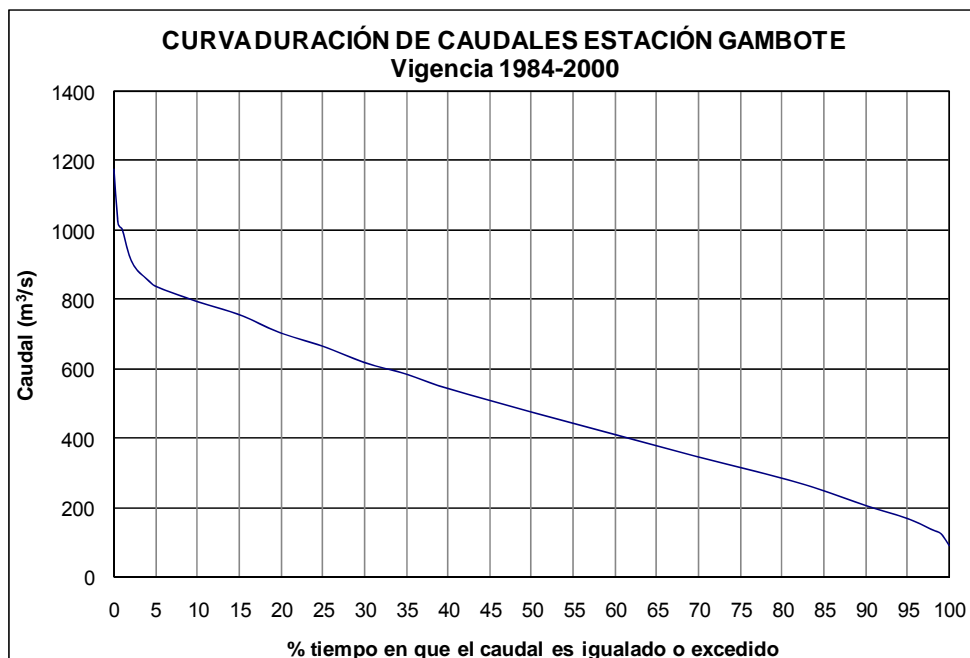


Figura A- 8-14: Curva de duración de caudales para la estación Santa Helena I, periodo 1984-2000

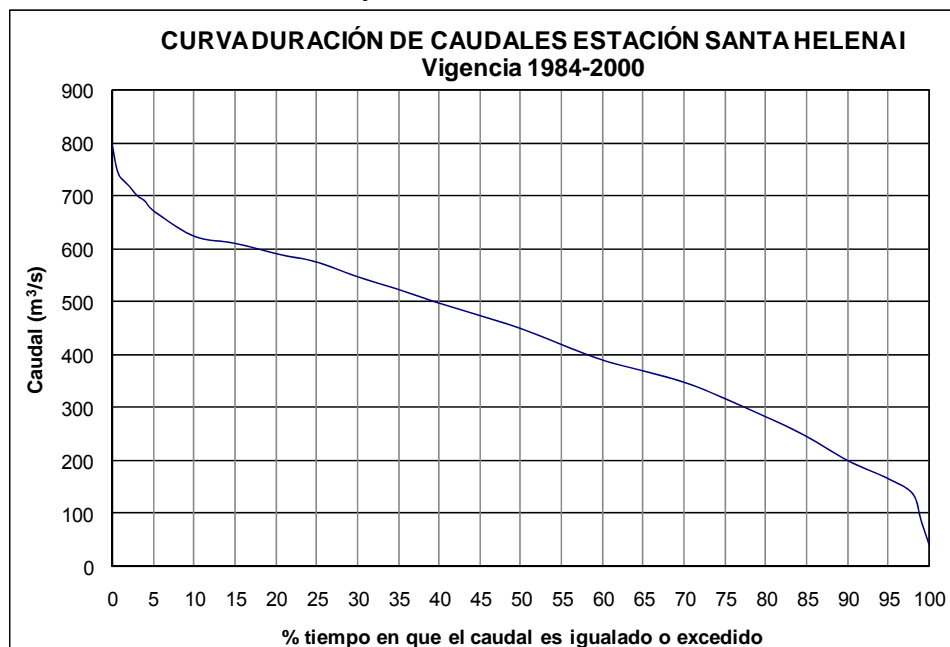


Figura A- 8-15: Curva de duración de caudales para la estación Santa Helena II, periodo 1984-2000

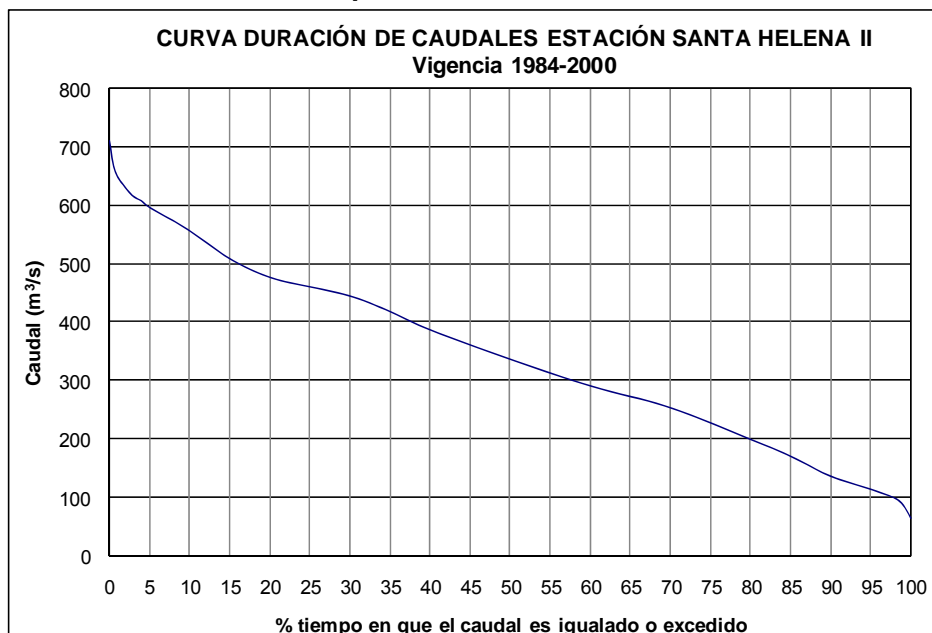
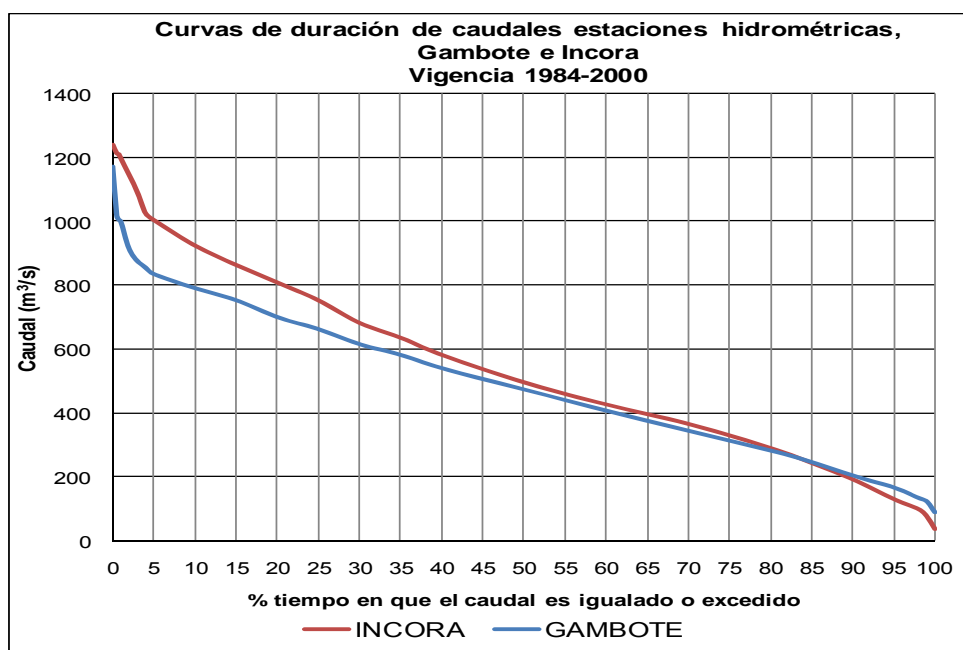


Figura A- 8-16: Curvas de duración de caudales, estaciones hidrométricas Gambote e Incora



A.8.1.14. Diferencia de caudales diarios entre estaciones hidrométricas vecinas para años promedio y seco

Las diferencias de caudales diarios entre estaciones hidrométricas vecinas mostradas en la Figura A- 8-17 a la Figura A- 8-19 indican que no basta con analizar el régimen hidrológico e hidráulico de la cuenca del Canal del Dique para eventos particulares o años seleccionados, sino que para comprender la dinámica del ecosistema del Canal del Dique es indispensable incluir en los análisis la variabilidad interanual. Claramente se evidencia en la Figura A- 8-17 a la Figura A- 8-19 la dinámica interanual del sistema ciénagas - canal, en la cual durante el año 1996 existe un desborde de aguas del canal hacia las ciénagas, volumen de agua que es almacenado en los cuerpos cenagosos del medio Canal del Dique, y posteriormente liberado a través de los caños de interconexión entre las ciénagas y el Canal durante los años secos (1997). Las características de los desbordes y aportes en estaciones vecinas durante el período de análisis se resumen en la Tabla A 8-1.

Figura A- 8-17: Diferencia entre caudales estaciones Gambote e Incora

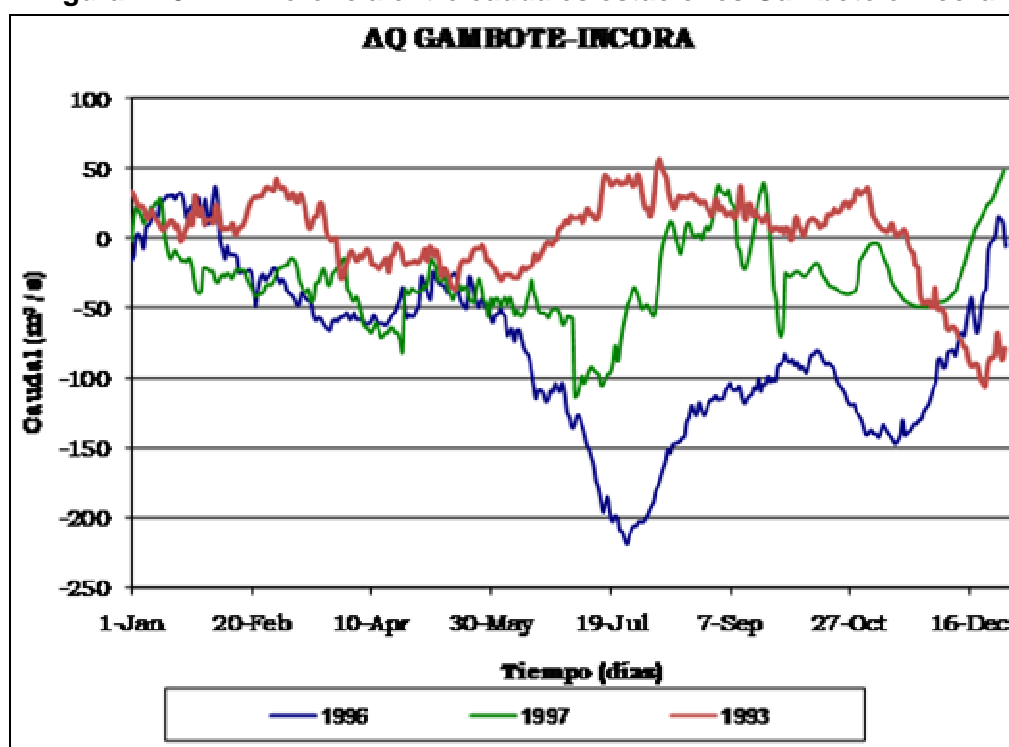


Figura A- 8-18: Diferencia entre caudales estaciones Santa Helena I y Gambote

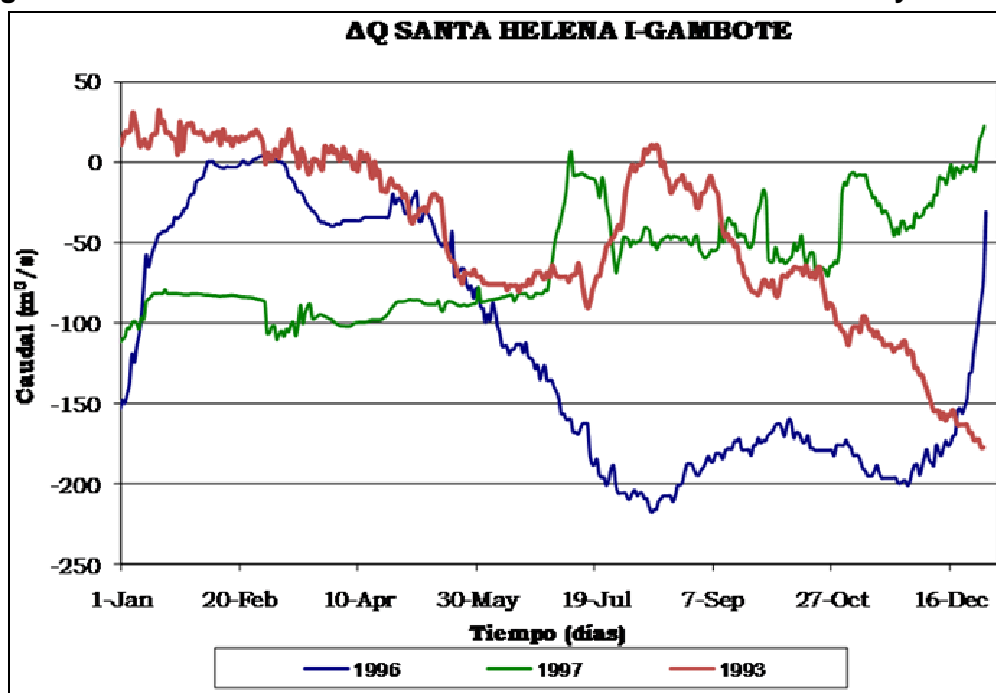


Figura A- 8-19: Diferencia entre caudales estaciones Santa Helena II y Santa Helena I

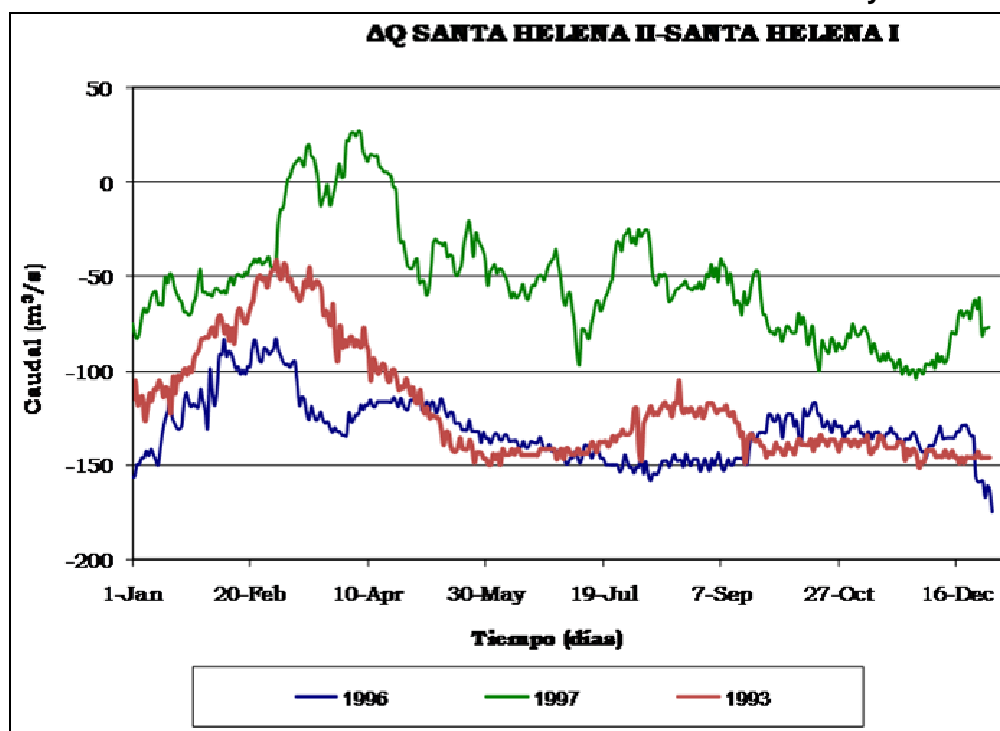


Tabla A 8-1: Resumen diferencia de caudales entre estaciones vecinas en el Canal del Dique

		m ³	m ³ /s	Q _{neto}
Gambote - INCORA				
1993	APORTE	1769047.0	20.47508146	-9.795276839
	DESBORDE	-2615359.0	-30.2703583	
1996	APORTE	1731273.1	20.03788355	-70.46889109
	DESBORDE	-7819785.3	-90.50677464	
1997	APORTE	1650210.0	19.09965233	-20.33744187
	DESBORDE	-3407364.9	-39.43709421	
Santa Helena I- Gambote				
1993	APORTE	1078640.5	12.48426476	-56.53055603
	DESBORDE	-5962880.5	-69.01482079	
1996	APORTE	167739.7	1.941431627	-117.1314256
	DESBORDE	-10287894.9	-119.0728572	
1997	APORTE	919828.6	10.64616409	-53.23503605
	DESBORDE	-5519335.7	-63.88120014	
Santa Helena II - Santa Helena I				
1993	APORTE	0.0	0	-118.9151697
	DESBORDE	-10274270.7	-118.9151697	
1996	APORTE	0.0	0	-130.7852491
	DESBORDE	-11299845.5	-130.7852491	
1997	APORTE	1074982.4	12.44192629	-47.18956029
	DESBORDE	-5152160.4	-59.63148658	

A.9. MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LAS CUENCAS APORTANTES A LOS PRINCIPALES CUERPOS CENAGOSOS

A.9.1. INTRODUCCIÓN

En el numeral 2.3 del Informe de Final (CM-513) se presenta, a manera de ejemplo, la modelación hidrológica implementada en la cuenca de la ciénaga de María La Baja, correspondiente a una modelación de tipo continuo diaria. Adicionalmente se menciona el procedimiento de calibración del modelo HEC-HMS seguido en la Fase I de los estudios utilizando los datos de precipitación y caudales diarios existentes para el año 1989 en la cuenca del Arroyo Corral, subcuenca de la Ciénaga de María La Baja, con un área de aproximadamente 100 km².

Para las otras ciénagas las características de datos de entrada del modelo han sido ampliadas para el periodo extendido de simulación 1988-1997, incluyendo precipitación y evapotranspiración, tal como se describe en detalle en este anexo. La topología utilizada en la modelación de cada cuenca aferente ha sido tomada de los modelos implementados en la Fase I de los estudios, incluyendo la división en subcuencas hidrológicamente homogéneas, con áreas del orden de 100 km² (similares al área de la cuenca utilizada en la calibración) y los resultados de caudales generados en cada cuenca, se presentan en este capítulo.

Los factores de ponderación para los registros puntuales de precipitación, temperatura y evaporación, tanto para los espejos de agua como para las cuencas aportantes a estos espejos de agua han sido obtenidos del Informe Hidrología Fase I y se describen a continuación.

A.9.2. PRECIPITACIÓN MENSUAL Y DIARIA PONDERADA SOBRE LA CUENCA APORTANTE A CADA CUERPO DE AGUA MODELADO

A partir de la localización de las estaciones con registros de precipitación consideradas en el análisis, se determinó la influencia de cada una de ellas sobre el área aferente a cada uno de los cuerpos cenagosos, según un factor de ponderación, tal como se muestra en la Tabla A 9-1.

Tabla A 9-1: Factores de Ponderación para series de precipitación sobre cuencas aportantes

Cuenca aferente a Ciénaga de	Ecuación
Aguas Claras	0.72 Arjona + 0.28 El Viso
Capote-Tupe-Zarzal	0.09 El Limón + 0.52 El Viso + 0.37 San Estanislao + 0.02 San Pedrito Alerta

Tabla A 9-1: Factores de Ponderación para series de precipitación sobre cuencas aportantes

Cuenca aferente a Ciénaga de	Ecuación
Guájaro	0.07 El Limón + 0.07 Loma Grande + 0.08 Normal Manatí + 0.26 Repelón + 0.20 Sabanalarga + 0.04 San Estanislao + 0.29 Usiacurí
Jobo	0.40 El Limón + 0.09 San Estanislao + 0.51 San Pedrito Alerta
Juan Gómez	0.29 Arjona + 0.03 El Níspero + 0.02 El Viso + 0.44 Puerto Santander + 0.23 Santa Ana
La Luisa	San Estanislao
María La Baja	0.17 El Níspero + 0.04 El Viso + 0.27 Miranda + 0.15 Nueva Florida + 0.16 Puerto Santander + 0.21 San Pablo
Matuya	0.69 El Viso + 0.31 San Pablo

Fuente: Informe Hidrología Fase I

De igual forma, y con el fin de establecer, tal como se discute en el Informe de Aspectos Hidroclimatológicos, el balance sobre cada espejo de agua, se estableció la influencia de cada estación con registros de precipitación sobre los espejos de agua correspondientes. Los factores de ponderación estimados se muestran en la Tabla A 9-2.

Tabla A 9-2: Factores de Ponderación para series de precipitación sobre espejos de agua

Espejo de agua	Ecuación
Aguas Claras	El Viso
Capote-Tupe-Zarzal	0.01 El Limón + 0.99 San Estanislao
Guájaro	0.12 El Limón + 0.37 Loma Grande + 0.22 Normal Manatí + 0.19 Repelón + 0.03 Sabanalarga + 0.06 San Estanislao
Jobo	El Limón
Juan Gómez	Puerto Santander
La Luisa	San Estanislao
María La Baja	0.81 Puerto Santander + 0.19 San Pablo
Matuya	El Viso

Fuente: Informe Hidrología Fase I

A.9.3. EVAPORACIÓN SOBRE ESPEJOS DE AGUA

Al igual que para el caso de precipitación, las series de evaporación sobre los diferentes espejos de agua fueron calculadas como un promedio ponderado de las series con influencia sobre el espejo de agua correspondiente. Los factores de ponderación de registros puntuales empleados se presentan en la Tabla A 9-3.

Tabla A 9-3: Factores de Ponderación para series de evaporación sobre espejos de agua

Espejo de Agua	Ecuación
Aguas Claras	San Pablo
Capote-Tupe-Zarzal	El Limón
Guájaro	0.36 El Limón + 0.64 Repelón
Jobo	El Limón
Juan Gómez	0.97 Nueva Florida + 0.03 San Pablo
La Luisa	El Limón
María La Baja	0.5 Nueva Florida + 0.5 San Pablo
Matuya	San Pablo

Fuente: Informe Hidrología Fase I

A.9.4. TEMPERATURA PARA LAS CUENCAS APORTANTES

Las series de temperatura fueron empleadas para estimar indirectamente la evapotranspiración potencial sobre las cuencas aferentes a las diferentes ciénagas. Para ello se aplicó la misma metodología discutida para las series de precipitación y evaporación. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla A 9-4.

Tabla A 9-4: Factores de Ponderación para series de temperatura sobre cuencas aferentes

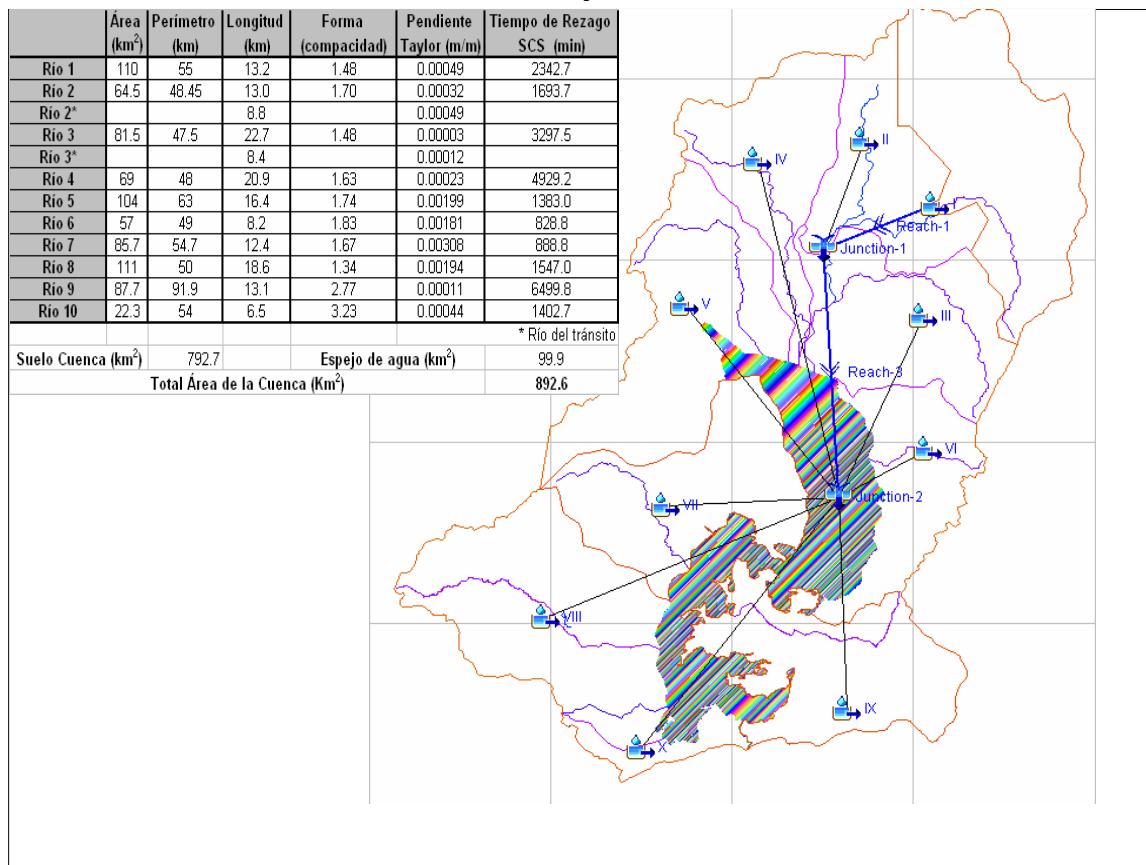
Cuenca	Ecuación
Aguas Claras	San Pablo
Capote-Tupe-Zarzal	0.56 El Limón + 0.44 San Pablo
Guájaro	0.08 El Limón + 0.33 Normal Manatí + 0.6 Repelón
Jobo	0.99 El Limón + 0.01 San Pablo
Juan Gómez	0.47 El Limón + 0.53 Nueva Florida
La Luisa	0.58 El Limón + 0.42 Repelón
María La Baja	0.67 Nueva Florida + 0.33 San Pablo
Matuya	San Pablo

Fuente: Informe Hidrología Fase I

A.9.5. TOPOLOGÍA EMPLEADA EN HEC-HMS PARA LA MODELACIÓN DE LAS CUENCAS AFERENTES A LAS PRINCIPALES CIÉNAGAS

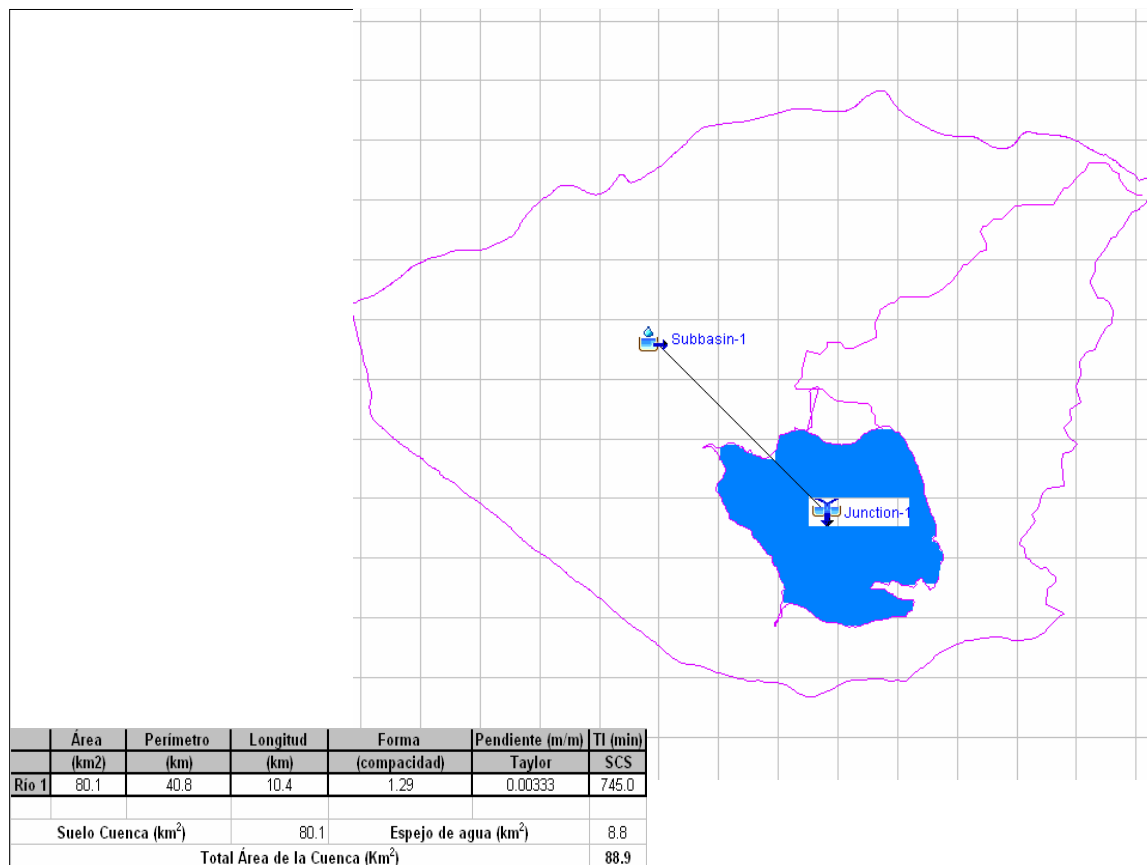
La Figura A- 9-1 y la Figura A- 9-2 muestran, a manera de ejemplo, la topología considerada para la modelación hidrológica con HEC-HMS de las ciénagas del Guájaro y Juan Gómez, tal como fueron implementadas en la Fase I de los estudios. La topología para las otras cuencas, así como las series diarias utilizadas y los resultados de la modelación efectuada pueden visualizarse directamente en los archivos de HEC-HMS incluidos en el anexo digital de este informe.

Figura A- 9-1: Esquema de modelación en HEC-HMS cuenca aportante al Embalse del Guájaro



Fuente: Informe Hidrología Fase I

Figura A- 9-2: Esquema de modelación en HEC-HMS cuenca aportante a la Ciénaga de Juan Gómez

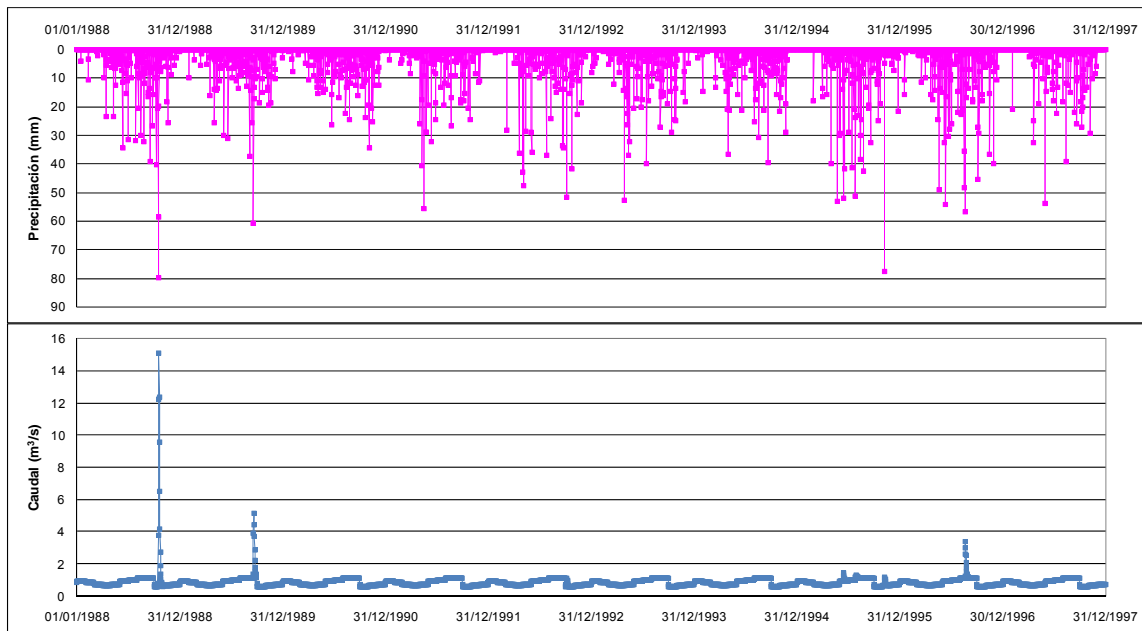


Fuente: Informe Hidrología Fase I

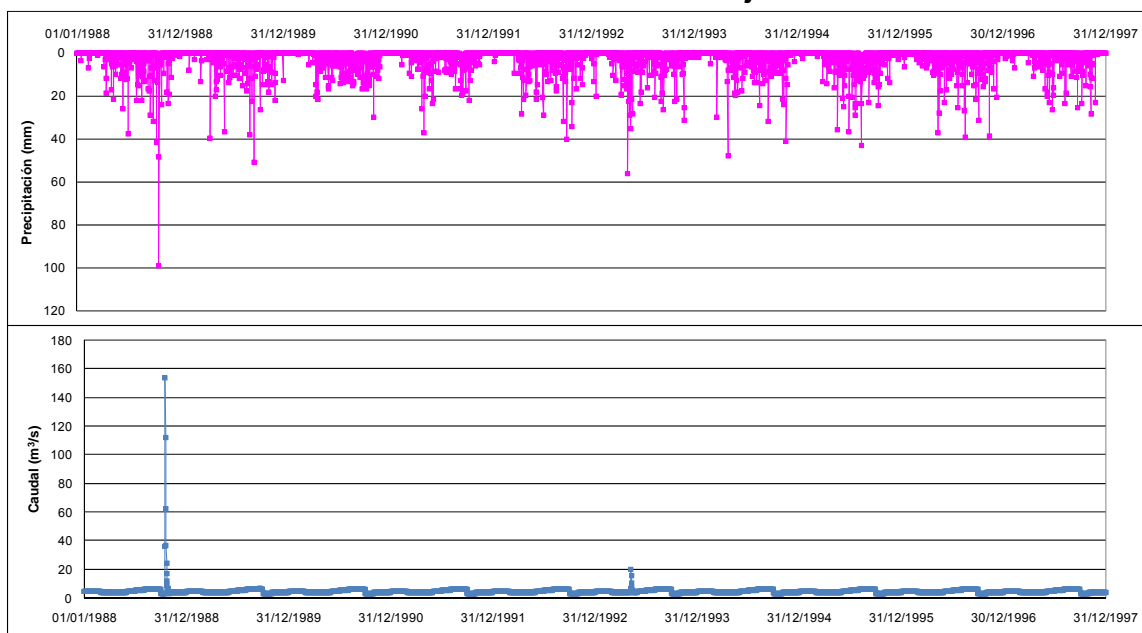
A.9.6. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN EFECTUADA

En la Figura A- 9-3 a la Figura A- 9-9 se presentan, para cada una de las cuencas modeladas, los resultados de la modelación diaria efectuada, incluyendo las series de precipitación y de caudales para el período extendido de análisis 1988-1997. Las tablas resumen con los resultados de la modelación efectuada se discuten en detalle en el Informe de Aspectos Hidroclimatológicos.

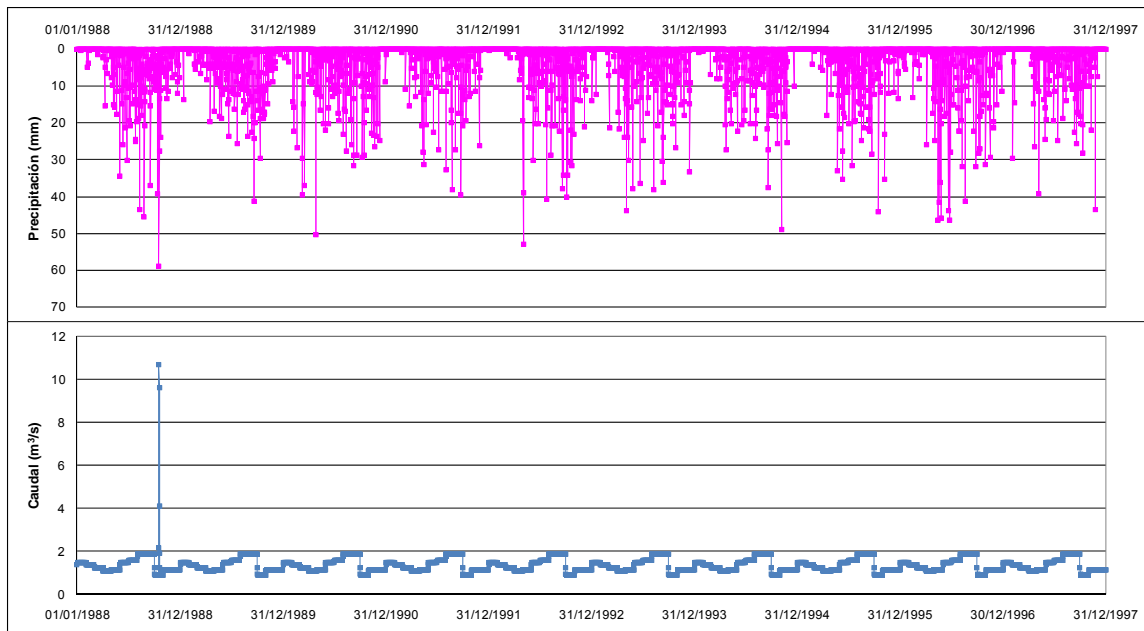
**Figura A- 9-3: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca
aférente a la Ciénaga del Jobo**



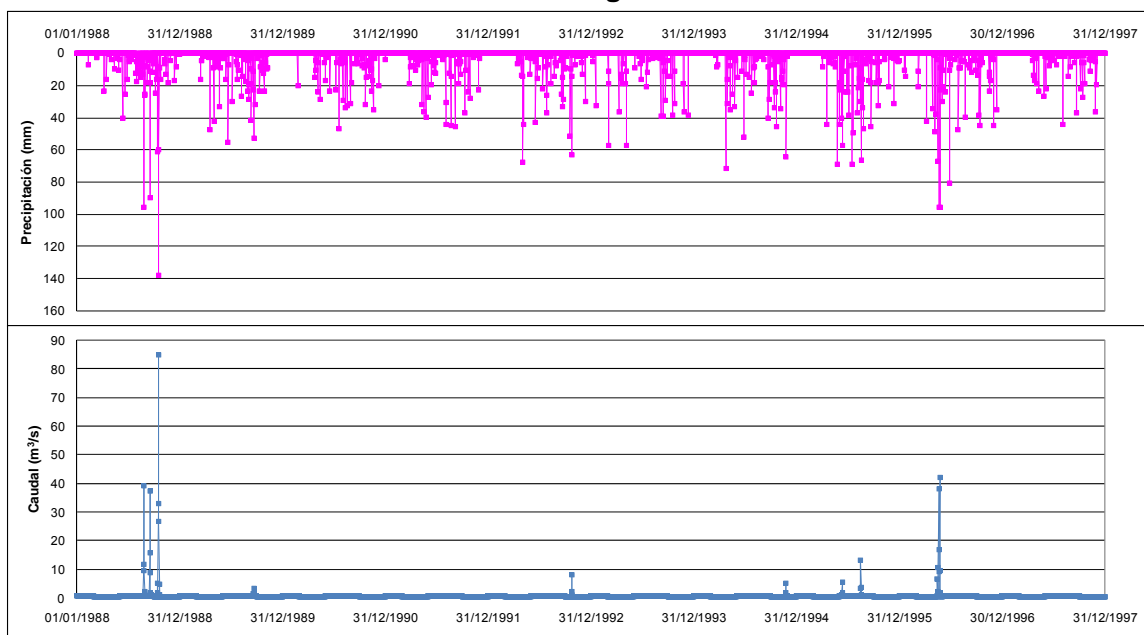
**Figura A- 9-4: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca
aférente al Embalse del Guájaro**



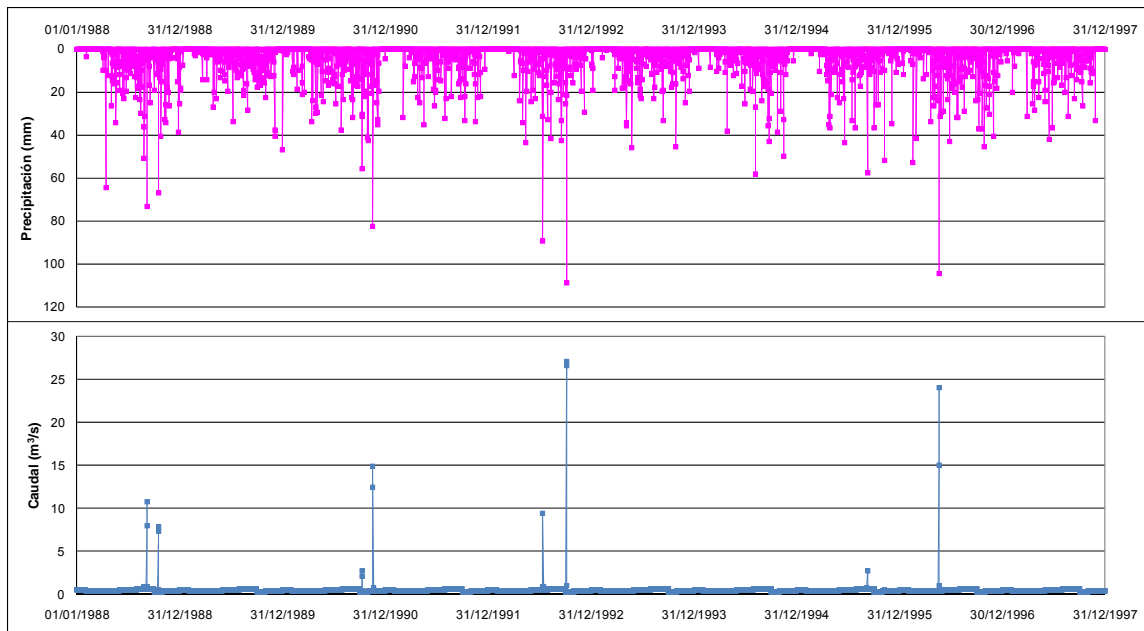
**Figura A- 9-5: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca
aférente al complejo cenagoso Tupe-Capote-Zarzal**



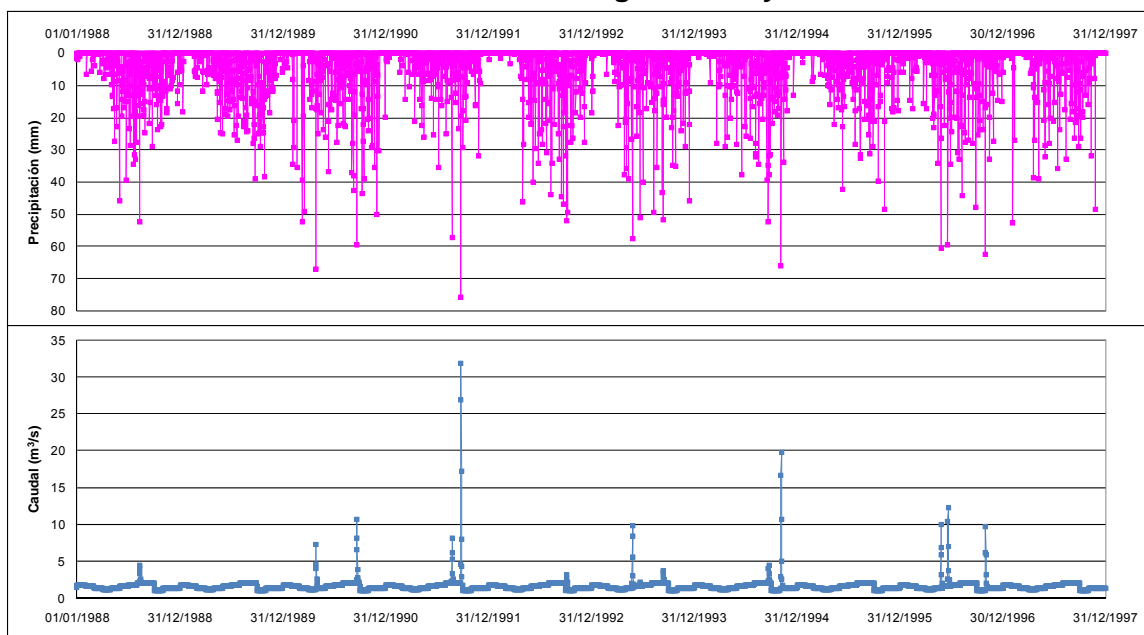
**Figura A- 9-6: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca
aférente a la ciénaga de La Luisa**



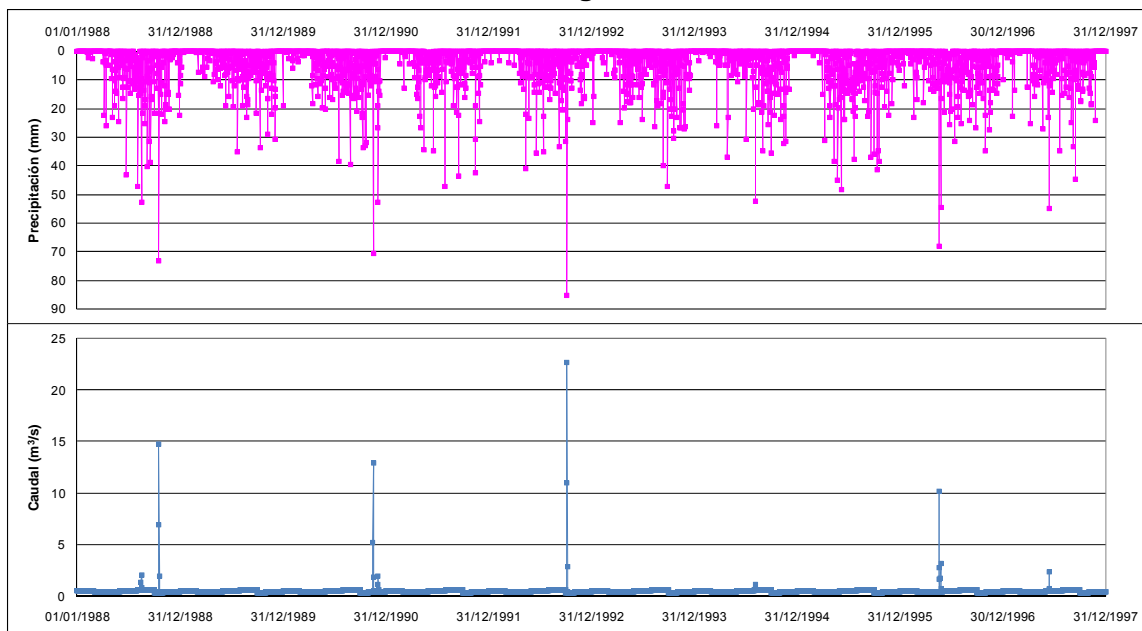
**Figura A- 9-7: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca
aférente a la ciénaga de Aguas Claras**



**Figura A- 9-8: Resultados modelación continua para el período 1988-1991 cuenca
aférente a la ciénaga de Matuya**



**Figura A- 9-9: Resultados modelación continua para el período 1988-1997 cuenca
aférente a la ciénaga de Juan Gómez**



BIBLIOGRAFÍA

ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice (1990). 70 Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements.

Estudios y Asesorías (2000). *Campañas Hidrosedimentológicas y de Calidad del Agua en el Canal del Dique*. Proyecto realizado para CARDIQUE, a través del FONADE, años 1999-2000

Gibbons, R. (1994). Statistical Methods for Groundwater Monitoring, John Wiley & Sons, New York.

Graphpad (1997). Grubb's Test for Detecting Outliers. GraphPad Insight Issue, No 14.

Priestley, C. and Taylor, R. (1972). On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather review, Vol. 100 No 2, 81-92.

Viessman, W., Knapp, J., Lewis, G. y Harbaugh, T. (1972). Introduction to Hydrology. Harper & Row, Publishers.